



УЧЕБНИКИ  
И УЧЕБНЫЕ  
ПОСОБИЯ  
ДЛЯ ВЫСШИХ  
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

631.17407

И.Ф. БОРОДИН  
Н.М. НЕДИЛЬКО

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Допущено Управлением высшего и среднего специального образования Государственного агропромышленного комитета СССР в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений по специальности «Автоматизация сельскохозяйственного производства»

8163209



МОСКВА АГРОПРОМИЗДАТ 1986

ББК 40.7

Б 83

УДК 631.3—52(075.8)

Рецензенты: доктор техн. наук *Ф. Я. Изаков* и кандидаты техн. наук *Н. А. Рысс*, *В. Г. Благий*, *А. О. Кундий*, *Г. А. Воронцов*, *А. Х. Ройтман*, *Б. В. Шмаков* (ЧИМЭСХ), *Н. И. Бозан* и *С. Н. Фурсенко* (БИМСХ).

571350

**Бородин И. Ф., Недилько Н. М.**

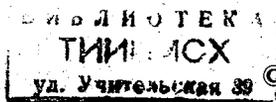
**Б 83** Автоматизация технологических процессов. — М.: Агропромиздат, 1986. — 368 с.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для высш. учеб. заведений).

Изложены научные и технологические основы автоматизации, рассмотрены типовые автоматизированные технологические процессы в растениеводстве, животноводстве и птицеводстве при выполнении ремонтных работ, получении теплоты и пара; переработке сельскохозяйственной продукции. Приведены технологические, функционально-технологические и принципиальные схемы автоматических систем.

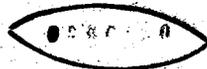
Для студентов по специальности «Автоматизация сельскохозяйственного производства».

Б 3802040100—452 140—86  
035(01)—86

ББК 40.7



© ВО «Агропромиздат», 1986



...Чтобы управлять, нужно быть компетентным, нужно полностью и до точности знать все условия производства, нужно знать технику этого производства на ее современной высоте, нужно иметь известное научное образование\*.

В. И. ЛЕНИН

## ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация технологических процессов — это этап комплексной механизации, характеризуемый освобождением человека от непосредственного выполнения функций управления технологическими процессами и передачей этих функций автоматическим устройствам. При автоматизации технологические процессы получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов и информации выполняются автоматически при помощи специальных технических средств и систем управления.

Существенными тенденциями современного сельскохозяйственного производства являются, с одной стороны, постоянный рост его масштабов, повышение количества и качества сельскохозяйственных продуктов, с другой — прогрессирующий дефицит рабочей силы, растущая непопулярность монотонного и тяжелого физического ручного труда в полеводстве и животноводстве. Важнейшим, а зачастую и единственным средством разрешения противоречий между ними является комплексная механизация и автоматизация производства.

Благодаря механизации и автоматизации резко растет производительность труда. Например, в промышленности за последние 40 лет она выросла в 8 раз. За этот же период объем валовой продукции сельского хозяйства увеличился в 2,5 раза при сокращении в 2...3 раза занятости рабочих, то есть производительность труда в сельском хозяйстве возросла в 5...7 раз.

Огромные и важные задачи поставлены перед агропромышленным комплексом в «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года». Предусмотрено увеличить среднегодовой объем валовой продукции на 14...16% и к 1990 г. поднять производительность труда в общественном секторе сельского хозяйства на 21...23%.

Дальнейшее повышение производительности труда в сельском хозяйстве, а следовательно, и эффективности производства возможно лишь при условии максимальной механизации и автоматизации при неуклонном сокращении доли ручного труда. Сокращение доли тяжелого и малоквалифицированного физического труда — неперемное условие дальнейшего экономического роста. КПСС и Советское правительство уделяют этой проблеме постоянное внимание, о чем свидетельствуют решения съездов партии, Пленумов ЦК КПСС, Конституция СССР.

\* В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 40, с. 215.

Статья 21 Конституции СССР гласит: «Государство заботится об улучшении условий и охране труда, его научной организации, о сокращении, а в дальнейшем и полном вытеснении тяжелого физического труда на основе комплексной механизации и автоматизации производственных процессов во всех отраслях народного хозяйства».

Быстрый рост технической и энергетической вооруженности сельскохозяйственного труда, бурное развитие научных исследований с использованием современной научной аппаратуры, широкое использование достижений полупроводниковой микроэлектроники и диспетчерского управления, 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 этой связи уместно напомнить замечательное утверждение К. Маркса: «...Человечество ставит себе всегда только такие задачи, которые оно может решить, так как при ближайшем рассмотрении всегда оказывается, что сама задача возникает лишь тогда, когда материальные условия ее решения уже имеются налицо, или, по крайней мере, находятся в процессе становления»\*.

Широкое внедрение средств автоматизации стало возможным только после осуществления комплексной механизации и электрификации сельскохозяйственного производства. В сельском хозяйстве развернута большая организационная и научно-исследовательская работа по созданию систем автоматики, приборов специфического назначения, которые в ближайшие годы дадут колоссальный экономический эффект.

С 1973 года открыта подготовка инженеров-электромехаников по автоматизации сельскохозяйственного производства. Практически во всех инженерных научно-исследовательских институтах агропромышленного комплекса открыты отделы и лаборатории по автоматизации, организованы специализированные советы по защите докторских и кандидатских диссертаций по специальности «Автоматизация технологических процессов» (по отрасли «Сельскохозяйственное производство») и расширен набор в аспирантуру по этой специальности.

ЦК КПСС и Совет Министров СССР приняли ряд постановлений по автоматизации агропромышленного комплекса, обеспечению его средствами автоматики и приборами, в том числе с использованием микропроцессорной техники, манипуляторов и агро-роботов. Для координации научно-исследовательских работ в ВАСХНИЛе образован совет по автоматизации в сельскохозяйственном производстве.

Выпускникам факультетов автоматизации сельскохозяйственного производства придется решать массу проблем научно-техни-

\* К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 13, с. 7.

ческого, организационно-технологического и социально-экономического характера.

Инженер-электромеханик 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 особенности комплексной механизации, электрификации и автоматизации технологических процессов. Специалист должен уметь научно обосновать решения технологических, технических и организационно-экономических задач автоматизации текущего и перспективного характера, направленных на повышение эффективности производства.

Автоматизация сельскохозяйственного производства повышает надежность и продлевает срок работы оборудования, облегчает и оздоравливает условия труда, повышает безопасность труда и делает его более престижным, сокращает текучесть рабочей силы и экономит затраты труда, увеличивает количество и повышает качество продукции, ускоряет процесс стирания различий между трудом умственным и физическим, промышленным и сельскохозяйственным.

Внедрению средств автоматики способствует научно-технический прогресс в сельском хозяйстве, заключающийся в быстром росте технической и энергетической вооруженности сельскохозяйственного труда, в бурном развитии научных исследований со всесторонним применением научной аппаратуры не только в электромеханизации и мелиорации, но и в области агроотехнического обслуживания и технико-экономических расчетов, в ускоренном развитии теории и практики использования автоматически действующих средств и систем для замены физического и умственного труда работников колхозов и совхозов, в широком использовании достижений средств связи и диспетчерского управления, позволяющих существенно улучшить организацию и эффективность труда специалистов и руководителей сельскохозяйственного производства.

# Раздел первый

## НАУЧНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Обеспечить решение ключевой политической и хозяйственной задачи — всемерно ускорить научно-технический прогресс.

Из Основных направлений экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года

### Глава 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

#### 1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ

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

**Автоматический контроль** включает в себя автоматические 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. 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 показаниям приборов судит о качестве технологического процесса или о режиме работы машин и агрегатов.

*Автоматическая сортировка* осуществляет контроль и разделение продукции 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 технологического процесса, 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 либо прекращают контролируемый производственный процесс (например, отключают определенные участки электроустановки при возникновении на них коротких замыканий), либо автоматически устраняют ненормальные режимы. Автоматическая защита тесно связана с автоматическим управлением и сигнализацией. Она воздействует на органы управления и оповещает обслуживающий персонал об осуществленной операции.

*Релейная защита*, выполненная на основе реле, широко применяется на электрических станциях, подстанциях, в сетях и различных электроустановках.

*Устройства автоблокировки*, входящие в автоматическую защиту, в основном предназначены для предотвращения неправильных включений и отключений и ошибочных действий обслуживающего персонала; они предупреждают возможные повреждения и аварии.

*Управление* — процесс осуществления совокупности воздействий, направленных на поддержание управляемого параметра в соответствии с заданным алгоритмом функционирования.

*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.

*Управляемым объектом* называют устройство, которое непосредственно осуществляет технологический процесс, нуждающийся в оказании специально организованных воздействий извне для выполнения его алгоритма.

*Дистанционное управление* объединяет методы и технические средства управления установками и сосредоточенными объектами на расстоянии. Импульсы на управление (команды) подаются обслуживающим персоналом по электрическим соединительным проводам при помощи соответствующих кнопок, ключей и другой командной аппаратуры.

*Автоматическое управление* включает в себя комплекс технических средств и методов по управлению объектами без участия обслуживающего персонала: пуск и остановку основных установок, включение и отключение вспомогательных устройств, обеспечение безаварийной работы, соблюдение требуемых значений параметров в соответствии с оптимальным ходом технологического процесса и т. д.

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

Разновидностью автоматического управления является *автоматическое регулирование*, под которым понимают процесс автоматического поддержания какого-либо параметра на заданном уровне или изменение его по определенному закону. Автоматическое регулирование осуществляется специальным устройством — *автоматическим регулятором*. Регулятор измеряет регулируемую величину и при ее отклонении от расчетного значения изменяет процесс работы объекта управления (регулирования) так, чтобы выполнялся заданный алгоритм функционирования. Автоматическая система, состоящая из регулятора и объекта управления, называется *системой автоматического регулирования (САР)*. В последующем изложении в общее понятие «автоматическое управление» входит также и понятие «автоматическое регулирование». Теория, свойства и методы расчета САУ рассматриваются в курсе «Теория автоматического управления».

**Телемеханика** — область науки и техники, охватывающая теорию и технические средства автоматической передачи на расстояние команд управления и информации о состоянии объекта. Телемеханические системы, позволяющие объединить в один технологический процесс работу большого числа машин и установок, расположенных друг от друга на значительных расстояниях, в зависимости от назначения принято разделять на системы телесигнализации, телеизмерения и телеуправления.

Все рассмотренные выше понятия и системы автоматизации объединяются в новое научно-техническое направление, которое получило название технической кибернетики.

**Кибернетика** — наука о целенаправленном управлении сложными развивающимися системами и процессами, изучающая общие математические законы управления объектами различной природы.

Термин «кибернетика» далеко не нов. Еще древнегреческий философ Платон назвал кибернетикой искусство управления кораблем. В переводе с древнегреческого слово «кибернетас» означает управляющий, рулевой, кормчий. Американский математик Н. Винер придал этому термину новый, современный смысл, назвав кибернетикой науку, изучающую законы управления процессами, происходящими в живых организмах и машинах. Советский ученый академик А. И. Берг объединил живые организмы и машины в одно общее понятие — система. В настоящее время кибернетика изучает процессы, которые происходят в технике, в промышленности, в живой природе, в человеческом обществе, и обеспечивает создание систем управления этими процессами в оптимальном варианте. Сфера действия кибернетики необычайно обширна. Она охватывает вопросы управления машинами и системами машин, производственными процессами и организованной деятельностью людей, физиологическими, биохимическими и биофизическими процессами.

В зависимости от степени автоматизации различают *ручное, автоматизированное и автоматическое управление*. При ручном все

функции управления выполняет человек-оператор. При автоматизированном управлении часть функций выполняет человек, а другую часть — автоматические устройства. При автоматическом все функции управления выполняют автоматические устройства. В соответствии с этими понятиями принято делить системы управления на автоматизированные и автоматические.

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 человеко-машинная система, обеспечивающая автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для организации управления в различных сферах, главным образом в организационно-экономической деятельности человека, например, управление хозяйственно-плановой деятельностью отрасли, предприятием, комплексом, территориальным регионом, то есть управление системой сельскохозяйственных подразделений.

АСУ ТП — это тоже человеко-машинная система, предназначенная для контроля режимов работы, сбора и обработки информации о протекании технологических процессов локальных производств. Обычно АСУ ТП охватывает отдельные цеха, животноводческие и птицеводческие фермы, хранилища, колхозы и совхозы. АСУ ТП в сочетании с ЭВМ помогает диспетчеру и руководителю предприятия оперативно находить решения по оптимальному управлению производственным процессом, опираясь на показатели отдельных технологических операций.

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

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

По степени автоматического управления производственными технологическими процессами различают частичную, комплексную и полную автоматизацию.

**Частичная автоматизация** распространяется только на отдельные производственные операции или установки. Она не освобождает человека от участия в производственном процессе, но существенно облегчает его труд. Примером может служить дистанционное управление электроприводами для раздачи корма, уборки навоза на фермах (гл. 11).

**Комплексная автоматизация** технологического процесса означает автоматическое выполнение всего комплекса операций и установок по обработке материалов и их транспортировке по заранее заданным программам при помощи различных автоматических

устройств, объединенных общей системой управления. В этом случае функции человека сводятся к наблюдению за ходом процесса, его анализу и изменению режима работы автоматических устройств с целью достижения наилучших технико-экономических показателей. В качестве примера можно привести управление послеуборочной очисткой и сушкой зерна, кормоприготовительными агрегатами (гл. 7 и 10).

Полная автоматизация в отличие от комплексной возлагает выполнение функций выбора и согласования режимов работы отдельных машин и агрегатов как при нормальном режиме, так и в аварийных ситуациях не на человека, а на специальные автоматические устройства. В этом случае все основные и вспомогательные установки способны работать в автоматическом режиме в течение длительного периода без непосредственного участия человека. За обслуживающим персоналом остаются функции периодического осмотра, профилактического ремонта и перестройки всей системы на новые режимы работы, например, системы управления микроклиматом в теплицах и овощехранилищах (гл. 8 и 9).

Опыт автоматизации промышленности показывает, что при частичной автоматизации затраты на средства автоматики составляют от 1 до 10% капитальных вложений на установку в целом, при комплексной — от 10 до 25% и при полной — свыше 25%. В сельском хозяйстве на средства автоматики и метрологические приборы расходуется менее 7%, хотя в теплицах они составляют 17...40% общей стоимости технологического оборудования.

## **1.2. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ И ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Экономическая эффективность автоматизации измеряется степенью уменьшения совокупного живого и прошлого труда, затрачиваемого на производство единицы продукции. При автоматизации сельскохозяйственных производственных процессов стоимость капитальных затрат обычно несколько возрастает, а эксплуатационные расходы на единицу продукции существенно сокращаются. Другими словами, количество прошлого труда возрастает в меньшей степени, чем уменьшаются затраты живого труда. Таким образом, эффективность автоматизации характеризуется суммарным сокращением затрат на производство единицы продукции.

Если автоматизацию какого-либо процесса можно осуществить различными способами, то надо выбрать самый эффективный вариант, который обеспечивает более интенсивное снижение стоимости и более высокий рост производительности общественного труда. При этом очень важно за базовый вариант принять наиболее передовой и совершенный способ механизированного производства, применяемый в отечественной или зарубежной практике, поскольку при сравнении с менее совершенным способом произ-

водства можно получить в расчетах завышенную экономию средств. Фактически этот же уровень может быть достигнут за счет более прогрессивной технологии машинного способа производства без привлечения автоматизации.

На технико-экономические показатели существенное влияние оказывают правильно сформулированные технические требования на автоматизацию технологического процесса. Например, повышенные требования к точности работы автоматизируемого процесса приводят к усложнению устройств автоматики и к существенному увеличению капитальных и эксплуатационных затрат.

Экономическая эффективность автоматизации складывается из энергетического, трудового, структурного и технологического эффектов.

*Энергетический эффект* определяется сокращением расхода топлива или энергии, увеличением надежности работы энергетического оборудования, увеличением экономичности работы электрических сетей, повышением КПД силовых установок и т. д.

*Трудовой эффект* связан с сокращением прямых затрат живого труда обслуживающего персонала на управление технологическими процессами сельскохозяйственного производства. При переходе на автоматизацию затраты живого труда существенно сокращаются при незначительном увеличении капитальных затрат на аппаратуру автоматики.

*Структурный эффект* обусловлен сокращением регулирующих и запасных емкостей, уменьшением служебных помещений и инженерных коммуникаций, снижением металлоемкости и стоимости оборудования, увеличением съема продукции с единицы площади или объема производственных зданий, повышением концентрации построек на территориях.

*Технологический эффект* обусловлен в основном увеличением производства сельскохозяйственной продукции за счет автоматизации технологических процессов, например, в животноводстве, птицеводстве, защищенном грунте — это создание благоприятных климатических условий путем автоматического управления микроклиматом в зависимости от времени суток, сезона, возраста животных, вида растений, а также связанное с автоматизацией сокращение расхода корма и повышение качества продукции.

В результате технико-экономических, социально-экономических и качественных сравнений автоматизированного и неавтоматизированного способов производства определяются основные показатели эффективности автоматизации: капитальные затраты, эксплуатационные годовые издержки, рентабельность, срок окупаемости, приведенные затраты и другие.

**Капитальные затраты** — одна из основных исходных величин при расчетах экономической эффективности автоматизации. Эти затраты складываются из стоимости  $K_c$  средств автоматики с учетом их доставки, монтажа и наладки, затрат  $K_m$  на модернизацию действующей техники и технологии, вызванную автоматизацией, стоимости  $K_z$  строительства и реконструкции зданий в связи с

внедрением автоматизации, остаточной стоимости  $K_0$  основных средств, подлежащих ликвидации при внедрении устройств автоматизации, за вычетом стоимости  $K_p$ , полученной от реализации части ликвидируемых основных средств, то есть

$$K = K_c + K_m + K_z + K_0 - K_p. \quad (1.1)$$

При исчислении капитальных затрат на автоматизацию следует учитывать лишь те дополнительные затраты на здания, оборудование и перестройку технологии, которые вызваны только внедрением средств автоматизации.

Годовые эксплуатационные издержки производства складываются в основном из амортизационных отчислений  $I_0$ , отчислений  $I_r$  на текущий ремонт, затрат  $I_z$  на зарплату обслуживающего персонала, стоимости  $I_э$  электроэнергии и стоимости  $I_c$  топлива и смазочных материалов, куда отнесены и некоторые другие годовые расходы:

$$I = I_0 + I_r + I_z + I_э + I_c. \quad (1.2)$$

Экономия годовых эксплуатационных издержек определяется по формуле

$$\mathcal{E}_н = I_н - I_a + D, \quad (1.3)$$

где  $I_н$  — годовые издержки при неавтоматизированном способе производства;  $I_a$  — то же, при автоматизированном способе производства;  $D$  — дополнительный доход за счет увеличения качества продукции, снижения потерь и т. п.

При автоматизации сельскохозяйственного производства дополнительный доход  $D$ , не учтенный в ранее приведенных выражениях, часто играет существенную роль. В ряде случаев, принимая во внимание этот доход, можно применять высоконадежные и дорогостоящие автоматизированные средства, получая при этом значительный экономический эффект.

Срок окупаемости капитальных затрат на автоматизацию при одинаковом годовом объеме производства находят по формуле

$$T_0 = \frac{K_a - K_н}{I_н - I_a + D}. \quad (1.4)$$

где  $K_н$  и  $K_a$  — капитальные затраты соответственно неавтоматизированного и автоматизированного производства ( $K_н < K_a$ );  $I_н$  и  $I_a$  — эксплуатационные годовые издержки соответственно неавтоматизированного и автоматизированного производства ( $I_н > I_a$ ).

Нормативный коэффициент экономической эффективности дополнительных капитальных затрат представляет собой величину, обратную нормативному сроку окупаемости  $T_{0,н}$ :

$$E = 1/T_{0,н}. \quad (1.5)$$

Производительность труда — важнейший показатель экономической эффективности. Она определяется количеством продукции, произведенной в единицу рабочего времени, или количеством рабочего времени, затраченного на производство единицы продукции.

Повышение производительности труда, которое произошло в результате автоматизации, отражает уменьшение затрат труда, выраженное в процентах:

$$Z_r = \frac{Z_n - Z_a}{Z_n} 100. \quad (1.6)$$

Экономия труда получается благодаря повышению его производительности:

$$\mathcal{E}_T = (Z_n - Z_a) A, \quad (1.7)$$

где  $Z_n$  — затраты труда на единицу продукции или вид работы при неавтоматизированном способе производства;  $Z_a$  — то же при автоматизированном способе производства;  $A$  — годовое производство продукции при автоматизированном способе производства.

Рентабельность производства связана с денежным измерением затрат труда и характеризует уровень доходности производства, то есть относительное значение чистой прибыли:

$$p = \frac{Ц - C}{C} 100, \quad (1.8)$$

где  $Ц$  — оптовая цена продукции, руб.;  $C$  — себестоимость продукции, руб.

При автоматизации технологического процесса следует вычислять показатель *дополнительной рентабельности*, не связанной с оптовой ценой продукции:

$$\Delta p = \frac{C_n - C_a}{C_n} 100, \quad (1.9)$$

где  $C_n$  — себестоимость продукции неавтоматизированного производства;  $C_a$  — себестоимость продукции автоматизированного производства.

Приведенные расчетные затраты на автоматизацию представляют собой сумму себестоимости и нормативной прибыли.

$$Z = C + EK, \quad (1.10)$$

где  $Z$  — приведенные затраты на единицу продукции (работы), р;  $C$  — себестоимость единицы продукции (работы), р;  $E = 0,15$  — расчетный нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;  $K$  — удельные капитальные вложения в производственные фонды при внедрении средств автоматизации, в рублях на единицу продукции (работы).

Годовой экономический эффект  $\mathcal{E}$  от автоматизации при выпуске одной и той же продукции

$$\mathcal{E} = (Z_1 - Z_2) A, \quad (1.11)$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  — приведенные затраты на единицу продукции (работы) до и после автоматизации;  $A$  — годовой объем производства продукции (работы) после автоматизации.

Годовой экономический эффект от использования средств автоматизации долговременного применения с улучшенными качественными характеристиками определяется по формуле

$$\mathcal{E} = \left[ Z_1 \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{P_1 + E}{P_2 + E} + \frac{(I_1 - I_2) - E(K_2 - K_1)}{P_2 + E} - Z_2 \right] A, \quad (1.12)$$

где  $B_1$  и  $B_2$  — годовые объемы продукции (работы), производимой одной установкой до и после ее автоматизации;  $P_1$  и  $P_2$  — доли отчислений на ре-

новацию (восстановление) от балансовой стоимости средств труда до и после автоматизации;  $I_1$  и  $I_2$  — годовые издержки на единицу продукции до и после автоматизации;  $K_1$  и  $K_2$  — сопутствующие удельные капитальные вложения без учета стоимости средств автоматики, до и после автоматизации.

Показатели экономической эффективности автоматизации необходимо рассчитывать для того, чтобы установить очередность автоматизации наиболее прогрессивных и экономически выгодных технологических процессов в сельскохозяйственном производстве, выбрать наиболее экономичные методы и технические средства автоматизации, определить технико-экономические показатели ее эффективности, подсчитать годовой экономический эффект, имея в виду последующее материальное стимулирование работников.

Примерную последовательность расчетов экономической эффективности автоматизации можно представить следующим образом: сбор и обобщение исходных данных, выбор базы сравнения, определение капитальных затрат, необходимых для приобретения и внедрения средств автоматики, подсчет годовых эксплуатационных издержек на содержание средств автоматики, исследование влияния автоматизации на технико-экономические и социально-экономические показатели производственного процесса, выявление ожидаемого экономического эффекта от внедрения автоматизации.

В общем виде основной критерий экономической эффективности применения средств автоматики в сельском хозяйстве определяется сокращением приведенных затрат  $Z$ .

Как упоминалось ранее, если какой-либо процесс можно автоматизировать различными способами, то следует сравнить технически равноценные варианты по приведенным затратам и выбрать тот, который сопровождается минимальными затратами. Следует отметить, что в процессе сравнения вариантов автоматизации может возникнуть такой случай, когда при внедрении новых устройств автоматизации удельные капитальные вложения  $K_2$  и себестоимость продукции  $C_2$  окажутся выше, чем аналогичные показатели  $K_1$  и  $C_1$  для старого варианта, но тем не менее второй вариант будет экономически эффективным за счет дополнительного дохода  $D$  (вследствие улучшения условий труда, уменьшения потерь кормов, улучшения качества продукции, сохранности поголовья и т. д.). В соответствии с этим приведем неравенство, по которому судят об эффективности нового варианта:

$$EK_1 + C_1 > EK_2 + C_2 - D. \quad (1.13)$$

Из последнего неравенства при учете выражения (1.5) легко определить соотношение нормативного и расчетного сроков окупаемости:

$$T_{o.n} > \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2 + D}. \quad (1.14)$$

Правая часть неравенства (1.14) представляет собой расчетный срок окупаемости  $T_o$  капитальных затрат второго варианта автоматизации с учетом дополнительного дохода  $D$ .

Таким образом, чем меньше расчетный срок окупаемости капитальных затрат по сравнению с нормативным, тем выше экономическая эффективность автоматизации по данному варианту. Из ряда вариантов выбирают тот, который дает минимальный срок окупаемости и, следовательно, наименьшие приведенные затраты.

### 1.3. ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Автоматизация сельского хозяйства опирается на богатый опыт промышленности. Вместе с тем к методам и средствам автоматизации, применяемым в животноводстве и растениеводстве, предъявляются специфические требования, обусловленные характерными особенностями сельскохозяйственного производства.

В отличие от промышленности в сельском хозяйстве наряду с техникой используются почва и живые организмы, машинная технология тесно переплетается и увязывается с биологическими процессами.

Производственные процессы в сельском хозяйстве сложны и многообразны, имеют большой объем технологической информации и тесную взаимосвязь. Это обуславливает большое разнообразие технологических процессов, исторически сложившихся в период использования живой тягловой силы и находящихся в стадии незавершенной перестройки на поточное машинное производство, а также большое число типов, конструкций, характеристик и режимов работы сельскохозяйственных машин и установок, многие из которых далеко не всегда приспособлены для применения на них даже простейших устройств автоматики.

Система машин, разработанная для сельского хозяйства на период до 1990 г., имеет около трех тысяч наименований по типам, почти 60% из которых предназначены для полеводства и около 30% — для животноводства и птицеводства.

Немаловажной особенностью является рассредоточенность сельскохозяйственной техники по большим площадям и удаленность ее от ремонтной базы, относительно малая мощность установок, тихоходность, низкая стоимость машин и невысокий уровень квалификации обслуживающего персонала, а также сезонность их работы в году и непродолжительное использование в течение суток. Даже в животноводстве, где операции совершаются и повторяются ежедневно по определенному циклу, общее число часов работы машин относительно мало. Следовательно, средства автоматики должны быть очень многообразными, относительно дешевыми, простыми по устройству и надежными в эксплуатации.

Основная особенность сельскохозяйственного производства заключается в неразрывной связи техники с биологическими объектами (животными и растениями), для которых характерна непрерывность процессов образования продукции и цикличность ее получения, невозможность увеличения выпуска продукции за счет

ускорения производства. В этих условиях автоматика должна работать весьма надежно, так как такой процесс нельзя прервать и практически невозможно наверстать упущенное путем интенсификации последующего периода. Например, автоматика в животноводстве должна обеспечить цикличность выполнения технологических операций в течение суток независимо от погодных условий.

Возмущающие воздействия имеют высокую степень неоднородности и случайности с широким изменением своих величин. Многие объекты сельскохозяйственной автоматики имеют контролируемые и регулируемые параметры, распределенные как по технологическому полю или даже большому объему, так и во времени. Например, в нагревательных установках и сушилках, зернохранилищах и овощехранилищах, теплицах и животноводческих помещениях необходимо по всему объекту контролировать параметры (температуру, влажность, газосодержание, освещение и т. п.) и управлять ими.

Для таких объектов системы автоматики должны иметь оптимальное число первичных преобразователей и исполнительных органов и в то же время обеспечить управление параметрами во всех рассредоточенных зонах с заданной точностью и надежностью.

Существенная особенность большинства сельскохозяйственных установок — их работа на открытом воздухе, где окружающая среда непостоянна: широкие пределы изменения влажности и температуры, наличие примесей, пыли, мякины, песка в полеводстве или агрессивных газов (аммиака, сероводорода и углекислого газа) в животноводстве, а также наличие значительных вибраций и толчков.

Условия работы средств автоматики в сельском хозяйстве очень тяжелые, и вероятность возникновения их неисправностей значительно выше, чем в ряде других отраслей народного хозяйства.

Вследствие перечисленных особенностей и ряда других причин методы и средства автоматизации и требования к ним в сельском хозяйстве значительно отличаются от промышленных.

При разработке устройств автоматики сельских установок их необходимо рассчитывать на широкие пределы изменения параметров окружающей среды. Это позволит получить высоконадежные средства, так как наиболее эффективным мероприятием борьбы за повышение надежности устройств автоматики является выбор элементов с малой опасностью отказов и различные способы увеличения надежности при проектировании. Указанные специфические особенности в первую очередь влияют на первичные преобразователи и исполнительные органы автоматики, устанавливаемые непосредственно на машинах и испытывающие все неблагоприятные условия окружающей среды. Остальные узлы автоматики можно располагать в отдельных помещениях или специальных шкафах, исключающих неблагоприятное действие окружающей среды.

...Осуществлять постепенный переход от автоматизации отдельных производственных процессов и операций к полной автоматизации цехов и сельскохозяйственных предприятий.

Из постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 31.01.1979 г. «О мерах по дальнейшему развитию электрификации сельского хозяйства»

## Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

### 2.1. ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Планомерная и последовательная интенсификация сельского хозяйства, повышение его технической оснащенности, комплексная механизация и электрификация, достижения науки и практики и общие успехи народного хозяйства подготовили необходимые условия для развития автоматизации сельскохозяйственного производства.

Автоматизация агропромышленного комплекса — одно из важнейших условий успешного выполнения Продовольственной программы СССР.

Созданный промышленный комплекс способствует более эффективному территориальному, отраслевому и программно-целевому планированию внедрения САУ.

Сельское хозяйство тесно связано со всеми отраслями страны, оно поставляет другим отраслям  $\frac{2}{3}$  своей продукции и потребляет около 60% средств производства, поступающих из обеспечивающих отраслей.

На село поступает все больше современных высокопроизводительных машин, которые создаются в соответствии с единой Системой машин по комплексной механизации сельскохозяйственного производства на период до 1990 г. с учетом передового отечественного и зарубежного опыта. Осваивается выпуск более 300 моделей новых сельскохозяйственных машин и других технических средств, отличающихся высокими технико-экономическими данными. Особое внимание уделяется выпуску оборудования для животноводческих и птицеводческих комплексов.

Новые комплекты машин в основном обеспечат комплексную механизацию и автоматизацию всех процессов на комплексах по производству мяса птицы, яиц, говядины и свинины.

На фермах крупного рогатого скота комплексной механизацией охвачено 60% производственных процессов, в свиноводстве — 70, в птицеводстве — более 85%. Завершается комплексная механизация полеводства, машинно-тракторный парк колхозов и совхо-

зов насчитывает более 2,6 млн. тракторов и 1,7 млн. автомобилей, 750 тыс. зерновых комбайнов.

В комплексе мер, направленных на последовательную интенсификацию растениеводства, главная роль отводится химизации сельского хозяйства, то есть использованию минеральных удобрений и средств защиты растений, обогащению химическими добавками кормовых рационов скота и птицы. На каждый рубль, затраченный на приобретение и внесение минеральных удобрений, хозяйства получают дополнительной продукции не менее чем на 3 руб.

Последние достижения науки и техники позволяют постепенно переходить от простого машинного сельскохозяйственного производства к комплексно механизированному и автоматизированному. Оптимизация условий выращивания растений, содержания и кормления животных с помощью средств автоматики расширяет биологические возможности увеличения производства продукции.

Широкое использование средств автоматики, оперативного управления, математических методов анализа с применением электронно-вычислительных машин закладывает научно-технические основы коммунистического способа производства индустриального сельского хозяйства.

## 2.2. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Автоматизация сельскохозяйственного производства, как указывается в решениях и постановлениях партии и правительства, имеет не только технико-экономическое, но и большое социально-политическое значение. Комплексная механизация и автоматизация позволяют повысить производительность и улучшить условия труда, увеличить количество и качество получаемой продукции, освободить работников от тяжелого физического труда и однообразного умственного, снизить потери и себестоимость продукции, повысить сроки службы сельскохозяйственной техники.

Для достижения указанных целей необходимо предусматривать следующее:

постоянное совершенствование сельскохозяйственных технологических процессов в направлении их перевода с периодических прерывистых в непрерывные с совмещенным или независимым транспортным движением;

научное обобщение мирового опыта автоматизации сельского хозяйства, установление оптимального объема и очередности автоматизации технологических процессов, выявление типовых решений и их аналогов в промышленности с целью разумного использования серийной аппаратуры автоматики, непрерывное совершенствование методов автоматизации и алгоритмов управления;

определение статических и динамических характеристик сельскохозяйственных объектов автоматизации, математическое описание объектов управления (моделирование);

изучение и установление функциональных зависимостей между контролируемыми параметрами сельскохозяйственной продукции и ее физическими свойствами (электрическими, оптическими, акустическими, тепловыми, механическими и др.) с целью их использования для построения измерительных преобразователей специфических для сельского хозяйства неэлектрических величин;

разработка новых агрегатов и установок системы машин для сельского хозяйства с учетом требований и возможности их автоматизации;

совершенствование методов оптимального проектирования и расчета средств автоматики с учетом расширения их функциональных задач и повышения аппаратурной и эксплуатационной надежности.

Большие задачи стоят в области механизации и автоматизации ручного труда. Почти 50% операций в сельском хозяйстве выполняется с применением ручного труда. В системе машин для сельского хозяйства предусмотрено механизировать и автоматизировать около 300 операций, выполняемых вручную.

Существенное сокращение ручного труда обеспечивает применение манипуляторов и промышленных роботов. *Манипулятор* — это отдельный механизм, выполняющий под управлением оператора действия (манипуляции), аналогичные действиям рук человека. *Промышленный робот* — это автоматически программно-управляемый манипулятор. Промышленные роботы знаменуют собой качественно новую ступень в развитии автоматизации промышленного и сельскохозяйственного производства, существенно изменяют роль человека в производственном процессе. От традиционных автоматических систем они отличаются тем, что способны выполнять за человека универсальные ручные операции со сложными пространственными перемещениями.

С внедрением манипуляторов и роботов в корне меняется вся организация технологического процесса, поскольку многие ручные операции при существующей технологии невозможно автоматизировать традиционными средствами.

Только с введением роботов в технологический процесс удается полностью устранить утомительный и часто опасный ручной труд.

### 2.3. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Производственный процесс**, то есть совокупность технологических процессов, направленных на создание конечного продукта, берут за основу при разработке систем автоматики. Сельскохозяйственный производственный процесс разделяют на технологические процессы, которые, в свою очередь, делятся на рабочие операции.

На рисунке 2.1 приведена функциональная схема автоматизированного производственного процесса, на которой показаны мес-

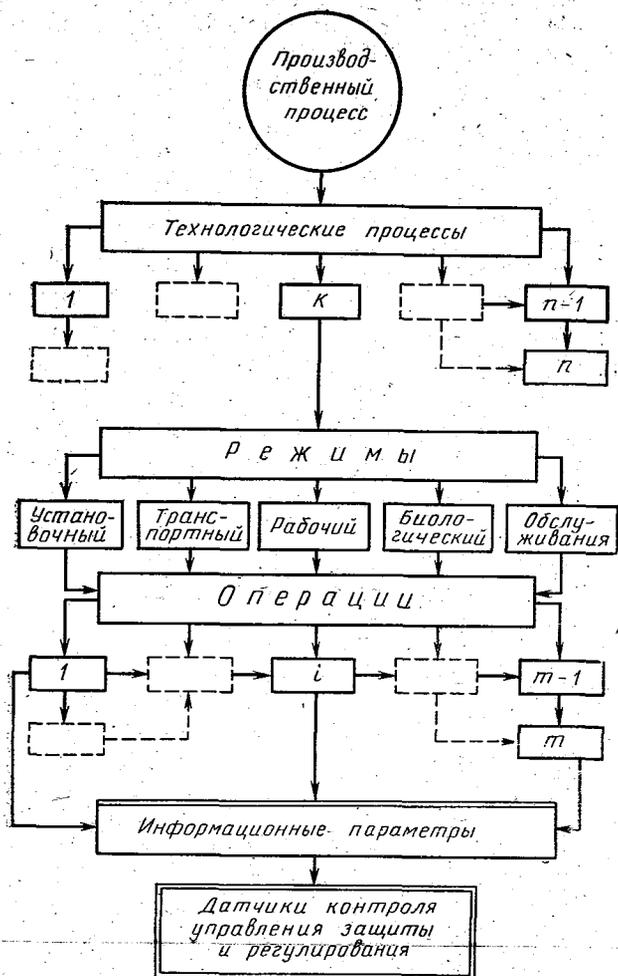


Рис. 2.1. Функциональная схема автоматизированного производственного процесса.

то и взаимосвязь технологических процессов, их режимов, операций с датчиками информационных параметров.

Производственные процессы делят по отличительным признакам отраслевой принадлежности, например, процесс возделывания и уборки зерновых культур, процесс послеуборочной обработки зерна, процесс хранения овощей, процесс откорма животных и получения от них продукции.

Технологический процесс представляет собой совокупность приемов и операций, целесообразно направленных на перевод материала или продукта из исходного состояния к необходимому конечному состоянию. Технологические процессы могут совер-

паться параллельно или последовательно во времени, что отражено на рисунке 2.1 квадратами 1,  $k$  и  $n-1$ .

Технологический процесс характеризуется режимами функционирования: установочным, связанным с подготовкой машин и объектов к выполнению их основных функций; рабочим, обусловленным взаимодействием объекта или машины с материалом или рабочей средой; биологическим (или физико-химическим), связанным с длительным естественным процессом накопления внутри объекта растительной или животноводческой продукции; транспортным режимом, включающим перемещение машин, рабочих органов, животных или материала, и режимом обслуживания, представляющим собой, например, технический уход за машиной, зоотехническое обслуживание животных и агротехническое обеспечение жизнедеятельности растений.

В сельскохозяйственном производстве наиболее специфически являются биологические режимы, для которых характерна непрерывность физиологических процессов образования продукции и цикличность ее получения. Такой процесс нельзя прервать и практически невозможно наверстать упущенное путем интенсификации последующего периода. Несмотря на специфичность и разнообразность биологических режимов, задача автоматизации их в сельском хозяйстве остается неизменной: обеспечить ход физиологических процессов таким образом, чтобы в кратчайший срок при минимальных затратах живого и прошлого труда получить наибольшее количество продукции хорошего качества.

**Технологическая операция** представляет собой определенную совокупность организационных и технологических действий, обуславливающих нормальное протекание всего процесса. Разделение технологического процесса на технологические операции позволяет выявить длительность операции, очередность ее проведения, цикличность, то есть алгоритмизировать технологический процесс.

Контроль и управление режимами и операциями осуществляются по информационным параметрам, измеряемым первичными преобразователями различных датчиков.

Операции выполняются одновременно (параллельно) или последовательно. Контроль выполнения всех операций не обязателен. Контролируются только основные операции и режимы, которые характеризуют в целом качественно и количественно выполнение производственного процесса.

**Классификация объектов при расширении работ по автоматизации сельскохозяйственных технологических процессов и операций** облегчает определение объема и очередности автоматизации, разработку типовых решений в области технологии автоматизированного поточного производства и создание технических средств автоматизации. В классификацию должны входить не только существующие процессы и объекты автоматизации, но и те, которые могут быть предложены в дальнейшем. Классификация позволяет точнее сформулировать требования к техническим средствам, выбрать рациональные принципы построения систем автоматизации

сельскохозяйственных объектов и разработать общие показатели и методы определения технико-экономической эффективности автоматизации. Без научной классификации сельскохозяйственных объектов и процессов в них невозможны широкие теоретические обобщения, технико-экономические сравнения и практические оценки.

Исходя из задач проектирования систем автоматизации и создания средств автоматики, сельскохозяйственные объекты целесообразно классифицировать по пяти существенным признакам: типу технологических процессов; взаимосвязи технологического и транспортного движения; виду технологического цикла; динамическим свойствам объекта и по агрегатному состоянию обрабатываемого материала (рис. 2.2).

Классификация по типу технологических процессов дает возможность разработать общий подход к решению задачи автоматизации всего класса, несмотря на технологическую специфику. Уместно подчеркнуть, что приведенное деление технологических процессов на механические, тепловые, электрические, биологические, химические и гидравлические отражает основное определяющее явление в объекте, в котором могут протекать одновременно и другие процессы, играющие второстепенную роль.

По взаимосвязи технологического и транспортного движений объекты делятся на три класса: с несовмещенным, совмещенным и независимым движением. В объектах с несовмещенным движением одни установки предназначены только для транспортирования материала без его обработки, а другие осуществляют его технологическую обработку. Эти объекты следует отнести к низшему классу с точки зрения экономической эффективности автоматизации. К более высокому классу относятся объекты, у которых транспортное и технологическое движение совмещены и находятся в тесной взаимосвязи: обработка или переработка материалов происходит во время их транспортировки. Для этого класса установок автоматизация позволяет существенно повысить их производительность и обеспечить оптимальный режим работы.

Объекты высшего класса имеют независимое движение. Транспортное движение может быть сделано ими во время обработки, а технологическое движение — совершено во время транспортировки. Автоматизация этого класса объектов обеспечивает непрерывность производственного процесса и наибольшую производительность.

Агрегатное состояние обрабатываемого материала оказывает существенное влияние на выбор исполнительных и первичных преобразователей систем автоматики. 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 автоматики сельскохозяйственного назначения.

Автоматизации легче поддаются объекты с непрерывным технологическим циклом и несколько сложнее — с периодическими

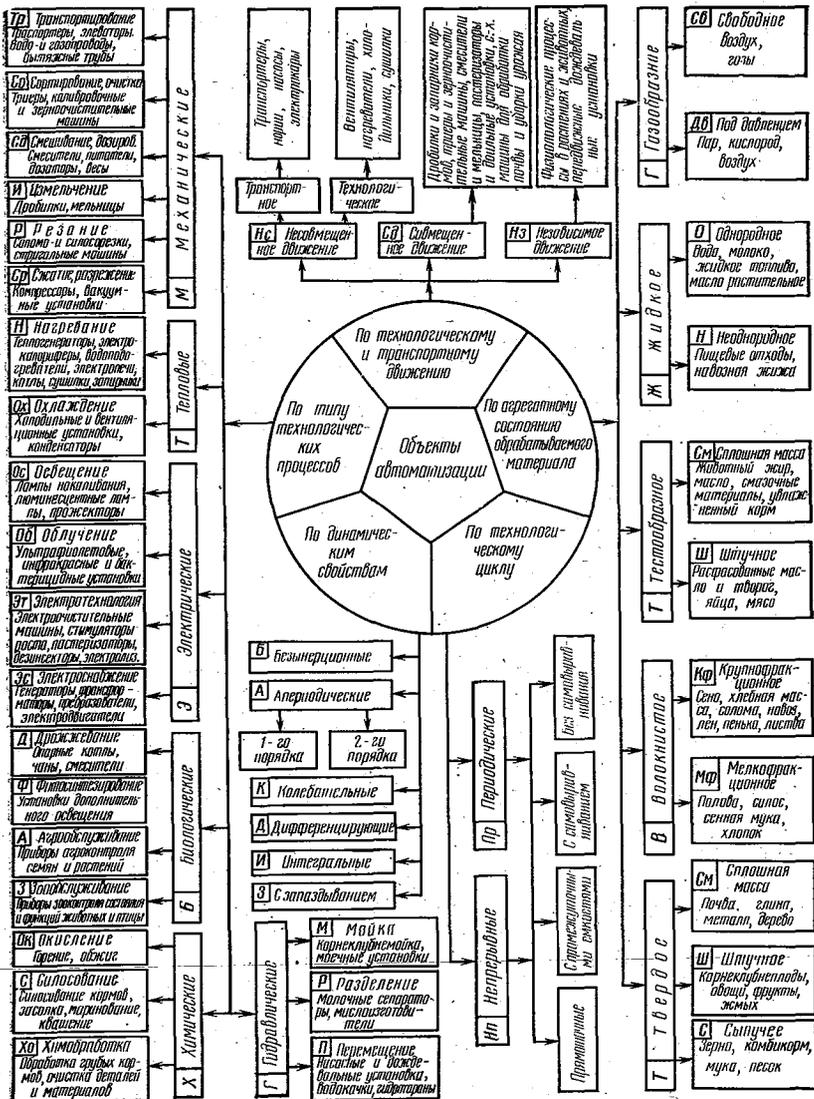


Рис. 2.2. Классификация сельскохозяйственных объектов автоматизации.

процессами, особенно не имеющими самовыравнивания. У объектов с самовыравниванием отклонение между заданным и действительным значениями управляемого параметра возрастает очень медленно благодаря изменению какого-либо другого параметра, например, при отказе воздушных калориферов в системе регулирования температуры воздуха в теплице температура снижается медленно за счет перехода теплоты от почвы к воздуху. Промежу-

точные емкости так же, как и самовыравнивание, способствуют улучшению автоматического управления процессом.

Для автоматического управления объектом важно знать его динамические свойства, которые существенно влияют на устойчивость и качество регулирования. По динамическим свойствам сельскохозяйственные объекты автоматизации можно разделить на семь основных типов. Изучение динамических свойств сельскохозяйственных объектов началось сравнительно недавно.

По мере развития уровня сельскохозяйственного производства число технологических процессов и операций, а также средств контроля и управления неуклонно растет. Поэтому необходимо постоянно совершенствовать и расширять классификацию сельскохозяйственных объектов с учетом особенностей и требований автоматизации.

Классификация должна отражать общие главные взаимосвязи и закономерности, возможно большее число основных качественных признаков и аналогичных свойств по классам и группам. Она должна быть полезной в научном и практическом отношении, способствовать получению обобщений и выводов, давать не только отчетливое представление о существующих объектах автоматизации, но и о тех, которые могут быть предложены в дальнейшем.

Классификация должна способствовать выработке общих требований к техническим средствам, выбору рациональных принципов построения систем и средств автоматизации, разработке общих показателей и методов определения технико-экономической эффективности автоматизации.

Внедрять автоматизированные системы в различные сферы хозяйственной деятельности, и в первую очередь в проектирование, управление оборудованием и технологическими процессами.

Из Основных направлений экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года

## Глава 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ КАК ОБЪЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

### 3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

К технологическим относятся процессы и объекты в структурной системе материального производства, которые имеют непосредственное отношение к образованию (формированию), хранению или перемещению производимой продукции.

Технологический объект автоматизации — это сочетание технологического оборудования (машин, механизмов) и реализуемых на нем технологических процессов и операций. Технологический процесс представляет собой совокупность организованных воздействий на предмет производства с целью придания ему каких-то новых, обусловленных потребительскими требованиями свойств и качеств. Единичное воздействие, приводящее к изменению формы, структуры, состава или состояния предмета производства, называется технологической операцией, а воздействие, вызывающее изменение пространственного положения предмета производства, — транспортной операцией. Технологические процессы и операции иногда обобщенно называют технологическим движением, а операции по перемещению вещества — транспортным движением.

В современном сельскохозяйственном производстве этому общему определению полностью соответствует технологическое движение, относящееся к вспомогательному и подсобному производству. Это процессы кормоприготовления, первичной обработки или переработки продукции, уборки и утилизации экскрементов, добычи и обработки воды, производства и распределения тепловой и других видов энергии и т. п.

Отличительная особенность основного сельскохозяйственного производства заключается в том, что в образовании продукции (прироста, приплода) обязательно участвуют различные виды сельскохозяйственных растений, продуктивных животных, птицы. Сельскохозяйственные технологические объекты включают, как правило, в свою структуру продуктивные растения или стада животных вместе с производственными помещениями.

Технология производства объединяет набор процессов и операций, необходимых для получения завершеного, готового к реализации продукта, а также определяет общие принципы, способы и режимы осуществления воздействий. Так, технология производ-

ства молока определяет способы содержания коров (привязный или беспривязный) и кормления (гранулированными полноценными кормами или влажными мешанками), а также режимы кормления (двух- или трехразовое).

Технология производства постоянно совершенствуется. Новейшая технология наиболее полно использует имеющийся на данный момент научно-технический потенциал и передовой опыт, обеспечивает высокую экономическую эффективность, количественные и качественные показатели производства. Основой для постоянного развития и совершенствования технологии является углубление индустриализации, концентрация и специализация сельскохозяйственного производства, перевод некоторых видов производства на промышленную основу, развитие комплексной механизации, электрификации и автоматизации технологических процессов.

### **3.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

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

В связи с тем что сельское хозяйство характеризуется многообразием отраслей производства и разнообразием технологических процессов, разработка оптимального технологического процесса в каждом конкретном случае представляет собой весьма сложную задачу. Развитие унифицированных процессов сельскохозяйственного производства способствует успеху разработки оптимальных, пригодных для автоматизации технологических процессов. Поэтому весьма актуальной, особенно в условиях перевода сельского хозяйства на промышленную основу, оказывается проблема типизации, универсализации и даже стандартизации сельскохозяйственных технологических процессов и техники.

Перевод сельского хозяйства на промышленную основу тесно связан с процессами концентрации и интенсификации производства. В этих условиях, когда наряду с большими потоками сырья, энергии, труда идет обширный поток взаимозависимой информации, точное и правильное осмысление этой информации, принятие соответствующих оптимальных решений и вообще полноценное управление производством возможны только при использовании методов и средств автоматизации. Однако применение достижений автоматизации требует определенной технологической подготовки производственных процессов.

Опыт перевооружения ведущих отраслей народного хозяйства показывает, что эффективность автоматизации зависит от взаимосвязанного решения трех основных задач: 1) разработки новых

технологических процессов и типизации их; 2) создания технологического оборудования, обеспечивающего качественное выполнение типизированного технологического процесса; 3) выработки алгоритмов эффективного управления технологическими процессами, операциями и оборудованием при помощи технических средств автоматизики.

Решение первой задачи требует специальных знаний и необходимого опыта по определению заданных параметров точности, производительности, способов обработки, транспортировки, хранения, по созданию методов типизации технологических процессов и т. п., то есть здесь нужны знания и опыт специалистов-технологов сельскохозяйственного производства, в полной мере владеющих основами технологической науки.

Типизацию технологического процесса в сельскохозяйственном производстве целесообразно начинать с составления так называемой *технологической цепочки*.

Технологическая цепочка отражает взаимосвязь технологических процессов, отдельных операций и режимов машин, участвующих в их выполнении. Например, технологическая цепочка послеуборочной обработки зерна в потоке включает следующие операции: доставку зерна от комбайна, взвешивание зерна, его разгрузку, транспортировку нориями, первичную очистку от крупных примесей на ветрорешетных машинах, транспортировку норией, сушку, охлаждение, транспортировку норией, вторичную очистку от мелких примесей, транспортировку шнеком, сортировку на триерах, сбор в бункер, взвешивание, транспортировку на склад, взвешивание и складирование.

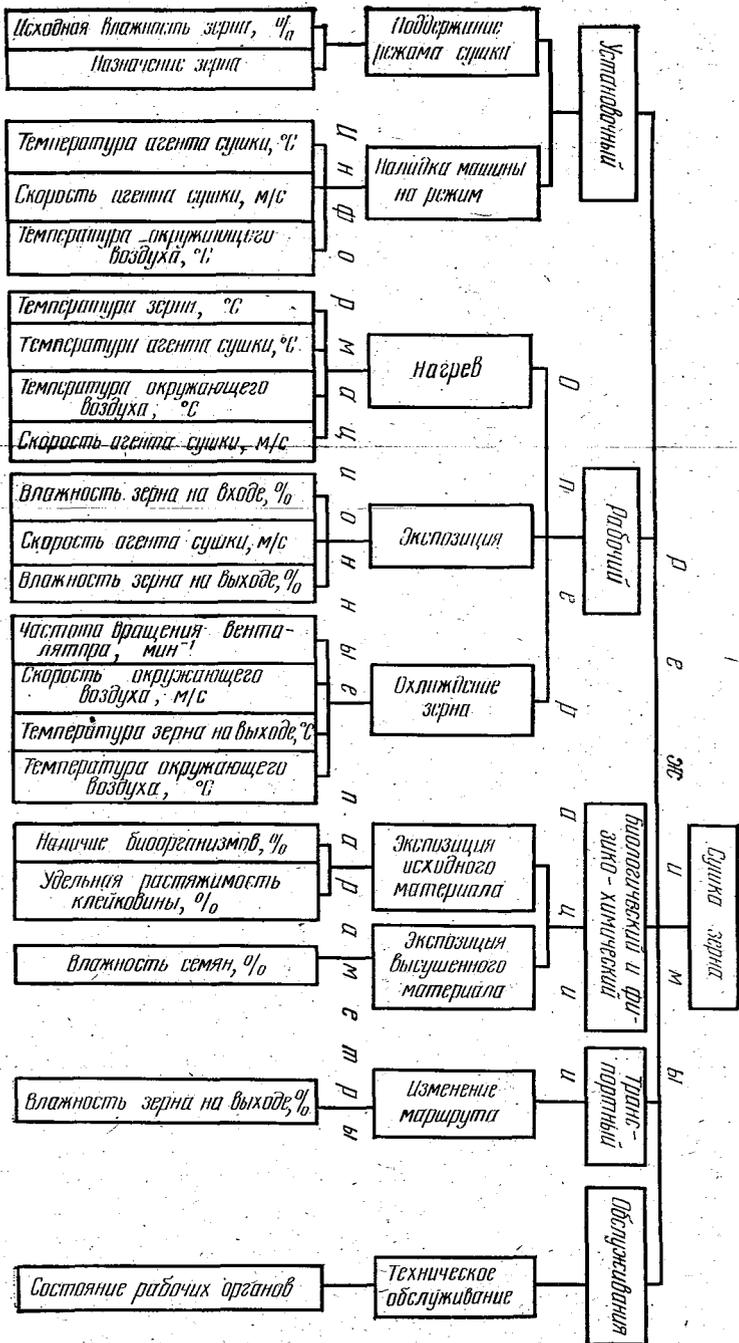
Технологическая цепочка позволяет выявить порядок действия машин в соответствии с требованиями процесса, объем работ по операциям, необходимое число машин, установить оптимальное агрегатирование и допустимую степень типизации технологических процессов. Таким образом, технологическая цепочка дает возможность глубоко проникнуть в самую технологию процесса во всех его аспектах.

Приступая к разработке систем автоматического управления, разработчик должен хорошо изучить объект автоматизации, полностью уяснить все возможные режимы работы.

Следует иметь в виду, что разрабатывать автоматические системы управления объектом часто приходится для производства разных уровней развития. В связи с этим степень автоматизации и совокупность операций и режимов обусловлены уровнем развития самого производства. Следовательно, любой технологический процесс можно разделить на операции по-разному. Но при этом разделении разработчик всегда должен себе ответить на следующие основные вопросы.

1. Каковы цель и задача системы автоматического управления?
2. Какие блоки составляют объект управления?
3. Какие функциональные и управляющие связи имеются между блоками, определяющими будущую систему?

Рис. 3-1. Классификация процесса сушки зерна по информационным параметрам.



4. Каковы режимы объекта управления и его блоков и сколько технологически допустимых переходов между этими режимами?

5. Какими конкретными алгоритмами описывается тот или иной режим?

6. Какие датчики и исполнительные элементы могут быть применены для данной системы?

7. Какие математические уравнения описывают взаимодействие управляющих и возмущающих сигналов, характеризующих тот или иной режим работы систем?

После анализа технологических процессов или отдельных операций необходимо установить весь объем характеризующих технологию информационных параметров и все их взаимосвязи.

Накопленная в соответствии с поставленными вопросами информация должна быть отражена в компактной и удобной для дальнейшей работы форме. Именно это дает возможность выявить перечень информационных параметров. На рисунке 3.1 в качестве примера показана классификация процесса сушки зерна по информационным параметрам.

Классификация информационных параметров и технологическая цепочка позволяют составить структурную схему системы управления, представляющую собой совокупность объекта управления и управляющего устройства.

Следует иметь в виду, что неполная и неточная обработка всей информации приводит к ее искажению на последующих уровнях, к запаздыванию в принятии решений и мер по согласованию действий установок, поточных линий, цехов и в итоге к увеличению затрат на производство, снижению рентабельности, порче продукции и т. д.

Для решения задачи управления средствами автоматизации структуру САУ необходимо формализовать, то есть описать математически. Зависимости, характеризующие свойства объекта управления, могут быть выражены уравнениями, неравенствами, таблицами или графиками. В общем виде взаимосвязь параметров объекта может быть представлена следующим образом:

$$y_i = \Phi [z_i, f(t), g_i, t],$$

где  $y_i$  — выходной управляемый  $i$ -й параметр;  $f(t)$  — возмущающее воздействие;  $z_i$  — управляющее воздействие;  $t$  — время;  $g_i$  — задающее воздействие.

Один и тот же объект может иметь различные математические описания в зависимости от управляемой величины  $y_i$ , от схемы включения и типа управляющих устройств. Если же схема включения управляющих устройств выбрана, то математические уравнения будут соответствовать принципу действия управляющего устройства на объект управления.

### 3.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ КАК ОБЪЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Объект автоматизации (условное обозначение  $OA$ ) — это реальная технологическая установка, функционирование которой характеризуется некоторыми показателями качества — технологическими параметрами, являющимися выходными координатами, а также искусственно создаваемыми входными воздействиями, прямо или косвенно влияющими на состояние параметров.

Простейшие объекты автоматизации имеют одну выходную величину и соответственно одно входное воздействие. Например, у водонагревателя-термоса выходной величиной (параметром) является температура воды, а регулирующим воздействием — электрическое напряжение  $U_c$ , подаваемое на электронагреватели (рис. 3.2).

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 свиарниках при смешивании комбикорма с водой и другими добавками вполне допустимо процессы заполнения смесителя водой, комбикормом и т. д. рассматривать отдельно (рис. 3.3).

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, в свою очередь, испарение повышает влажность и понижает температуру (рис. 3.4).

При небольшом количестве взаимосвязанных координат обычно удается установить главные для данного процесса параметры, которым следует отдать предпочтение в процессе регулирования, тогда остальные можно рассматривать как второстепенные (зависимые).



Рис. 3.2. Структура водонагревателя-термоса как объекта регулирования температуры воды:

$\alpha$  — входная координата — электрическое напряжение  $U_c$ ;  $y$  — выходная координата — температура воды  $\theta_B$ .

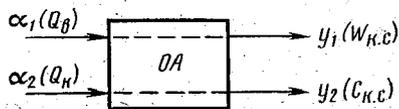


Рис. 3.3. Структура кормосмесителя в свиарнике как объекта управления загрузкой:

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — входные воздействия — подача воды  $Q_B$  и комбикорма  $Q_K$  в смеситель;  $y_1$  и  $y_2$  — выходные величины — влажностное содержание  $W_{K.C}$  и концентрация корма  $C_{K.C}$  кормосмеси.

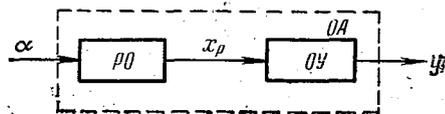
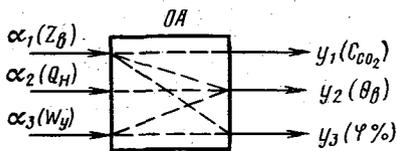


Рис. 3.4. Структура птичника как объекта регулирования микроклимата:

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  — входные координаты — вентиляция  $L_B$ , обогрев  $Q_n$ , увлажнение  $W_y$ ;  $y_1, y_2, y_3$  — выходные координаты — концентрация углекислого газа  $C_{CO_2}$ , температура  $\theta_B$  и влажность  $\phi\%$  воздуха.

Рис. 3.5. Структура простейшего объекта автоматизации.

Однако в современном сельскохозяйственном производстве много технологических объектов, гораздо более сложных по структуре взаимосвязей. Например, птичник с птицей представляет собой объект с множеством выходных координат (которыми являются параметры микроклимата, кормления и освещения, уборки помета и сбора яиц, поения и санитарного состояния) и целым рядом управляемых воздействий по обслуживанию поголовья птицы, то есть входными координатами. Между этими координатами существуют определенные связи и взаимозависимости.

Все рассмотренные объекты автоматизации имеют сложную внутреннюю структуру и могут быть представлены рядом элементарных функциональных звеньев, определенным образом соединенных между собой. В простейшем случае в структуре объекта автоматизации можно выделить объект управления ОУ — технологический процесс, рассматриваемый изолированно, и регулирующий орган РО — устройство, обеспечивающее целенаправленное воздействие на объект управления (рис. 3.5).

Объекты управления (рис. 3.6) характеризуются тремя обобщенными координатами. Первая координата — выходная величина, или параметр процесса  $y$ , характеризующий либо наличие в объекте вещества, либо его энергетический потенциал. Вторая координата — возмущение  $x_b$ , представляющее собой суммарный (результатирующий) поток вещества или энергии, обусловленный ходом процесса (нагрузка  $x_n$ ) и влиянием среды (помехи  $x_p$ ).

Очевидно,  $x_b = \sum_{i=1}^n x_{ni} + \sum_{i=1}^m x_{pi}$ , здесь  $\sum_{i=1}^n x_{ni}$  и  $\sum_{i=1}^m x_{pi}$  — суммарные нагрузки и помехи. И наконец, третья координата — регулирующее входное воздействие  $x_p$  — величина искусственно образованного воздействия, призванного компенсировать действие возмущения и обеспечить нормальное функционирование процесса. Чтобы объект находился в равновесии, должно быть соблюдено условие  $x_p = x_b$  или  $x_p - x_b = 0$ . Наличие  $\Delta x = x_p - x_b$  позволяет возвращать объект к оптимальному значению параметра после его естественного отклонения.

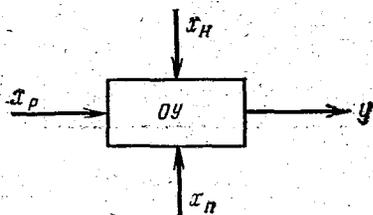


Рис. 3.6. Структура простейшего объекта управления.

Регулирующее входное воздействие на объект  $x_p$  одновременно является выходной координатой регулирующего органа РО, входом которого служит воздействие, прикладываемаемое к нему при ручном управлении, — открытие заслонок или задвижек, подача электрического напряжения на электроприводы, электротепловые или осветительные установки, включение скоростей, муфт, трансмиссий и т. п.

Наличие регулирующего органа — неперенное условие и требование управляемости технологического объекта. В качестве примера можно рассмотреть камеру инкубатора как объект регулирования влажности воздуха (рис. 3.7). Объект управления в ней — воздушная среда внутри камеры, регулирующий орган — клапан подачи воды на увлажнитель, параметр — относительная влажность воздуха, возмущение — выброс влаги с вентиляционным воздухом, регулирующее ручное воздействие — подача напряжения на соленоид электроклапана.

Взаимосвязь между обобщенными координатами объектов управления выражается статическими и динамическими характеристиками. Статическая характеристика объектов управления представляет собой зависимость между выходной координатой (параметром процесса)  $y$  и результирующим значением входной координаты — воздействием  $x$  при установившихся режимах, то есть функцию  $y = f(x)$  (рис. 3.8).

Как видно из графика, статическая характеристика может быть линейной 1 и нелинейной 2, 3 в различной степени. Следует иметь в виду, что статическую характеристику может иметь только ста-

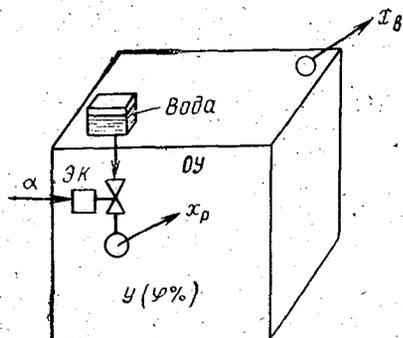


Рис. 3.7. Камера инкубатора как объект регулирования влажности.

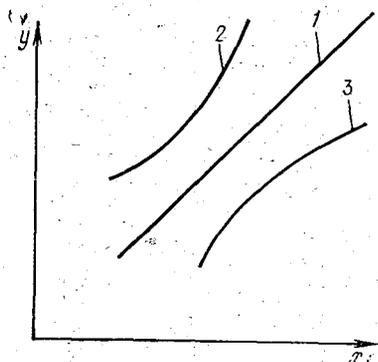


Рис. 3.8. Статические характеристики объектов управления.

тический объект, то есть такой, который при любом значении  $x$  имеет определенное установившееся положение и соответствующее ему значение  $y$ .

Динамическая характеристика отражает реакцию объекта по выходной координате  $y = f(x)$  на изменение входного воздействия  $\Delta x$ , то есть представляет собой функцию  $y = f(t)$  при  $x = x_0 + \Delta x(t)$ .

Из графика, изображенного на рис. 3.9, видно, что скачкообразному изменению входного воздействия  $\Delta x$  соответствует плавное изменение до нового установившегося значения выходной координаты  $y_0 + \Delta y = y_{уст}$ .

Динамику переходного процесса аналитически можно описать переходной  $h(t)$  и передаточной  $W_p$  функциями объекта управления.

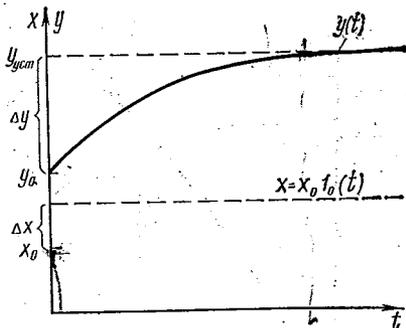


Рис. 3.9. Динамика переходного процесса.

#### 3.4. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ КАК ОБЪЕКТАХ УПРАВЛЕНИЯ

При решении задач автоматизации управления технологическими процессами требуется иметь исходную информацию, характеризующую следующее:

- а) данные о емкостях объектов автоматизации и связях между ними;
- б) требования к показателям качества (параметрам) технологических процессов;
- в) значение, интенсивность изменения во времени и место приложения возмущений;
- г) значение регулирующего воздействия и передаточные свойства регулирующих органов.

Каждый участок, где может накапливаться вещество или энергия в объекте (емкость), должен быть охарактеризован отдельно и должны быть представлены данные о соединениях между всеми емкостями: сопротивления перетокам, характеристика упругих элементов и т. п.

Если емкости объекта зависят от его параметров или времени, необходимо по возможности представить эти зависимости.

Требования к показателям качества технологических процессов (параметрам) можно выразить в описательной или графической форме (рис. 3.10).

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

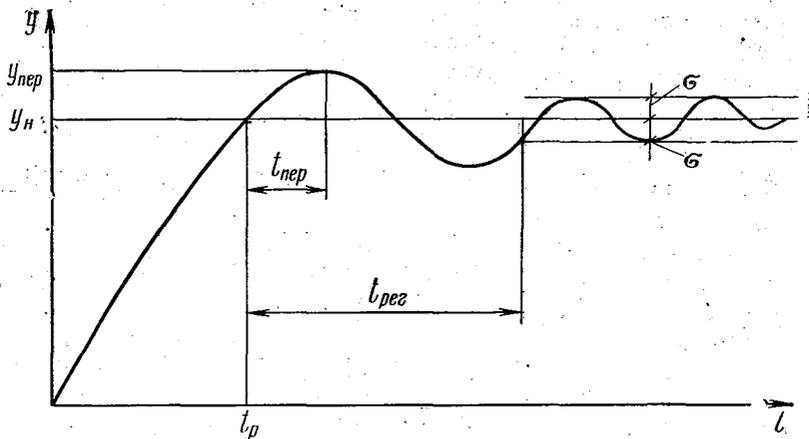


Рис. 3.10. Величины, характеризующие качество процесса регулирования.

Длительно допустимое отклонение параметра от нормы называют допустимой статической ошибкой, выражаемой  $\sigma_d$ . Очевидно, для параметра можно записать  $y = y_n \pm \sigma_d$  или  $y = y_n + \sigma_d$  и  $y = y_n - \sigma_d$ . Положительное и отрицательное значения отклонения  $\sigma_d$  не всегда равнозначны.

Допустимое кратковременное отклонение от номинального значения регулируемой величины называют перерегулированием  $y_{пер}$ , которое по условиям технологии иногда требуется ограничить как в сторону повышения  $y_{пер(max)}$ , так и в сторону понижения  $y_{пер(min)}$ . Также можно ограничить интегральную оценку параметра во времени  $\int y^2 dt$ , если накопление в объекте последствий кратковременных отклонений регулируемой величины нежелательно.

Время разгона объекта  $t_p$  характеризует период вывода регулируемой величины от исходного до номинального для данного процесса значения.

Время регулирования  $t_{рег}$  — это время, в течение которого регулируемая величина устанавливается в допустимые пределы отклонения после внесения кратковременного возмущения.

Время перерегулирования  $t_{пер}$  — это время действия амплитуды перерегулирования.

Каждый из вышеприведенных видов временных характеристик регулирования можно ограничивать для тех или других технологических процессов.

Для решения задач автоматизации важны всесторонние сведения о возмущениях. Прежде всего это количественная характеристика всех потоков вещества или энергии рассматриваемого объекта управления, как участвующих в технологическом процессе (нагрузки), так и вызываемых внешними факторами (помехи). Эти сведения могут быть представлены максимальными, мини-

мальными или усредненными значениями самих потоков или зависимостями, их характеризующими, а также вероятностью сочетания различных факторов.

Например, тепловой поток от животных может быть определен в расчете на единицу массы животных, а поток теплоты через ограждения — посредством расчетного значения температуры внешней среды и т. п.

В одноемкостных объектах возмущения могут быть приложены на стороне подачи или расхода, в многоемкостных — к различным емкостям, а в объектах с рассредоточенными параметрами — к определенным участкам.

Сведения о регулирующих органах, через которые осуществляется регулирующее воздействие на объект управления, берут из паспортных данных устройств, осуществляющих эти воздействия.

### 3.5. ОБЩИЙ ПОРЯДОК АНАЛИЗА И СИНТЕЗА АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Общий порядок анализа и синтеза автоматических систем включает:

изучение технологического объекта автоматизации и определение оптимальных показателей его функционирования (состояния параметров, характеристики возмущений, емкостных данных объектов, прикладываемых регулирующих воздействий и т. п.);

исследование динамических свойств и характеристик отдельных структурных звеньев и объекта в целом;

выбор закона управления и типа автоматического устройства с определением динамических характеристик отдельных звеньев и показателей настройки автоматических устройств;

исследование автоматической системы на устойчивость и точность функционирования с введением необходимых корректирующих звеньев и связей.

В результате изучения и исследования технологического объекта получают сведения, называемые алгоритмом функционирования, который представляет собой совокупность предписаний, устанавливающих качество и порядок ведения процесса или его динамические свойства и характеристики, выраженные передаточными и переходными функциями.

В процессе анализа и синтеза автоматических систем для определения передаточных функций отдельных звеньев можно применять аналитическое решение задач на основе уравнений динамики процессов и математического аппарата теории автоматического управления, экспериментальные исследования, данные производственного опыта, моделирование и идентификацию.

Наличие общих методов исследований позволяет упростить задачу получения динамических характеристик технологических объектов, несмотря на их значительное разнообразие, которым изобилует современное сельскохозяйственное производство.

Перейти на индустриальные, интенсивные технологии в растениеводстве и животноводстве, широко использовать методы биотехнологии и генной инженерии.

Из Основных направлений экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года

## Глава 4. СТАТИКА И ДИНАМИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

### 4.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ КАК ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ

Динамика физических процессов. 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 следующими однотипными дифференциальными уравнениями:

для поступательного движения

$$m dv/dt = F, \quad (4.1)$$

где  $m$  — масса движущегося тела;  $v$  — линейная скорость;  $F$  — результирующая действующая сила;

для вращательного движения

$$J d\omega/dt = M, \quad (4.2)$$

где  $J$  — момент инерции вращающегося тела;  $\omega$  — угловая скорость вращения;  $M$  — результирующий приложенный момент;

для жидкостей в сосудах

$$S dh/dt = Q, \quad (4.3)$$

где  $S$  — площадь основания сосуда;  $h$  — уровень жидкости в сосуде;  $Q$  — объемный поток жидкости;

для газовых сосудов

$$(V/R\theta) (dP/dt) = Q\rho = M, \quad (4.4)$$

где  $V$  — объем рассматриваемого сосуда;  $R$ ,  $\theta$  — газовая постоянная и абсолютная температура газа;  $P$ ,  $\rho$  — давление и плотность газа;  $M$ ,  $Q$  — массовый и объемный поток газа;

для нагревания (охлаждения) тел

$$mcd\theta/dt = Q, \quad (4.5)$$

где  $m$  — масса нагреваемого тела;  $c$  — удельная теплоемкость;  $\theta$  — температура тела;  $Q$  — тепловой поток;

для увлажнения (и сушки) тел

$$m_c d\omega/dt = W, \quad (4.6)$$

где  $m_c$  — масса сухого вещества в теле;  $\omega$  — относительная влажность вещества;  $W$  — поток влаги;

для образования растворов и суспензий

$$Vdn/dt = G, \quad (4.7)$$

где  $V$  — объем растворителя;  $n$  — концентрация растворяемого вещества;  $G$  — поток растворяемого вещества;

для выпаривания

$$m_c \frac{d\varepsilon}{dt} = W_{ж} = aQ, \quad (4.8)$$

где  $m_c$  — масса растворенного абсолютно сухого вещества;  $\varepsilon$  — жидкостный коэффициент вещества;  $W_{ж}$  — количество испаряемой жидкости в единицу времени;  $Q, a$  — подводимая теплота и коэффициент пропорциональности.

Аналогичные уравнения можно написать для многих других физических процессов. Так, для зарядки электрического конденсатора

$$c \frac{dU_c}{dt} = I_c, \quad (4.9)$$

где  $c$  — емкость конденсатора;  $U_c$  — напряжение на конденсаторе;  $I_c$  — ток зарядки (разрядки) конденсатора.

Математические аналоговые модели процессов. Практически все встречающиеся в технологических объектах процессы можно описать однотипными математическими уравнениями динамики, обобщенный аналог которых может быть представлен в виде

$$Ldy/dt = x, \quad (4.10)$$

где  $L$  — емкостный коэффициент объекта;  $y$  — выходная координата объекта (параметр);  $x$  — обобщенная входная координата — результирующее входное воздействие.

В качестве примера можно представить, как наиболее наглядную, модель простого одноемкостного гидравлического объекта (рис. 4.1). На этой модели  $ab = s$  — емкостный коэффициент, представляющий собой площадь основания сосуда.

Такой моделью-аналогом может быть представлен любой простейший одноемкостный объект, связь между координатами которого выражается обобщенной формулой (4.10).

Эта же модель весьма просто выражается электрической цепочкой (рис. 4.2).

Величины, характеризующие физические процессы. Выходная координата  $y$  представляет собой абстрактный аналог ряда физи-

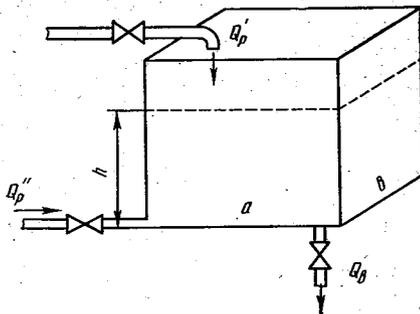


Рис. 4.1. Модель простого одноемкостного гидравлического объекта управления:  
 $h$  — уровень жидкости в сосуде;  $Q'_p$ ,  $Q''_p$  — регулирующее воздействие;  $Q_v$  — обобщенное возмущение.

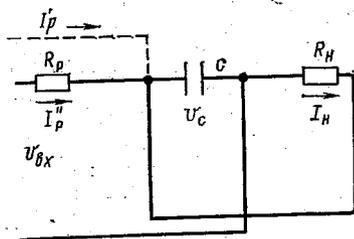


Рис. 4.2. Электрическая модель-аналог простого одноемкостного объекта:  
 $U_c$  — выходная координата, представляющая собой напряжение на обкладках конденсатора;  $I'_p$ ,  $I''_p$  — ток питания цепи;  $I_H$  — общий ток нагрузки;  $c$  — емкость конденсатора;  $R_H$ ,  $R_p$  — сопротивления нагрузки и регулирующей цепи.

ческих величин: линейной скорости  $v$ , окружной скорости  $\omega$ , температуры  $\theta$ , влажности  $\phi$ , концентрации вещества  $\eta$  и т. п. Практически это есть либо потенциал энергии, либо показатель запаса вещества в объекте.

В технологических объектах этими величинами характеризует-ся 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 (4.10) в виде

$$dy = (1/L) x dt \quad (4.11)$$

и проинтегрировать его

$$y = (1/L) \int x dt, \quad (4.12)$$

то можно увидеть, что величина, обратная емкостному коэффициенту  $1/L$ , есть коэффициент пропорциональности между элементарными изменениями выходной координаты  $y$  и импульсом входного воздействия  $x dt$ . Таким воздействием может быть импульс силы  $P dt$ , импульс момента  $M dt$ , импульс подачи какого-либо вещества или тепловой энергии  $\theta dt$  и т. п.

В итоге можно заключить, что емкостный коэффициент есть мера инерционности, а его обратная величина  $1/L$  — мера чувствительности объекта.

Каждому значению выходной величины  $y$  соответствует определенный запас вещества или энергии  $G$ , накопленных в объекте:

$$G = \int_0^t x dt = \int_{y_1}^{y_2} L dy. \quad (4.13)$$

Очевидно, что при постоянном емкостном коэффициенте

$$G = Ly, \quad (4.14)$$

где  $y = y_2 - y_1$  — показатель избытка вещества или энергии в сравнении с некоторым исходным состоянием, характеризуемым значением параметра  $y_1$ .

Для номинального значения параметра  $y_n$  обобщенная координата  $G_n$  характеризует номинальную емкость рассматриваемого объекта.

В частном случае, когда входное воздействие  $x$  постоянно во времени ( $x = \text{const}$ ), справедливо будет уравнение

$$G = xt, \quad (4.15)$$

откуда время наполнения (разгона) объекта  $t_p$  может быть определено из соотношения

$$t_p = G/x = Ly/x. \quad (4.16)$$

Обобщенная входная координата  $x$  в данном случае выражает разницу между суммарным притоком ( $x_n$ ) и суммарным расходом  $x_p$ , то есть

$$x = x_n - x_p. \quad (4.17)$$

Необходимо иметь в виду, что все рассматриваемые входные величины должны быть одной и той же физической природы; например, сила  $F$  — для линейной скорости  $v$ , момент  $M$  — для окружной скорости  $\omega$ , поток теплоты  $Q$  — для температуры  $\theta$  и т. п.

Входные воздействия  $Q'_p$  и  $Q''_p$  (рис. 4.1) могут существенным образом отличаться местом приложения, что обязательно следует учитывать в расчетах динамики процессов.

Емкостный коэффициент — не всегда постоянная величина. В некоторых реальных объектах он может изменяться в зависимости от значения других величин, входящих в уравнение динамики ( $x, y, t$ ). Такие объекты называют нестационарными, а при математическом описании их в уравнения вносят соответствующие уточнения. Например, емкостный коэффициент  $L$  может изменяться с изменением выходной координаты объекта  $y$ , как это происходит в конусных емкостях (рис. 4.3) с регулируемым уровнем. Очевидно, что площадь основания в них на каждом уровне будет различной, то есть  $s = f(H)$  или соответственно для общего уравнения  $L = f_L(y)$ . Тогда уравнение (4.10) примет вид

$$f_L(y) dy/dt = x. \quad (4.18)$$

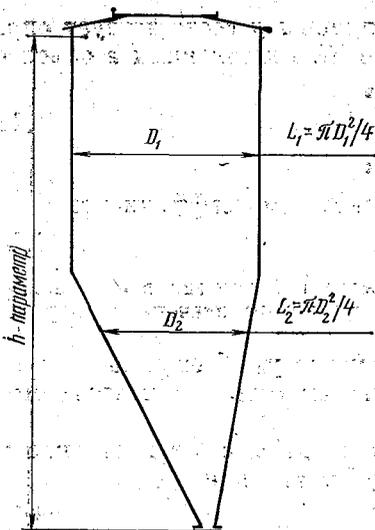


Рис. 4.3. Бункер Б-8 как пример нестационарности объекта.

**Рассредоточенность 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 на них. В первом случае рассматриваемые параметры имеют одно и то же значение по всей рассматриваемой емкости и в любой момент времени. Такие объекты называют *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 рассредоточенными параметрами*.

В сельскохозяйственном производстве можно встретить множество объектов с сосредоточенными и рассредоточенными параметрами. Так, при регулировании уровня наполнения резервуаров возможны оба варианта объектов. Если мы имеем дело с жидкостью типа воды, то ее уровень по поверхности практически одинаков, а объект имеет сосредоточенный параметр. Когда емкости наполняют сыпучими материалами типа концкорма или комбикорма, то поверхность его бугристая, значение уровня в разных ее точках весьма существенно отличается, и, следовательно, объект имеет рассредоточенные параметры.

Аналогичную картину можно встретить и в объемных объектах. Так, давление в ресиверах, независимо от того, где приложена подача или расход, всегда одинаково в любой точке поверхности и объема. В то же время температура, влажность или концентрация веществ в объемах могут существенно отличаться в различных точках 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 прибега-

ют к уменьшению пространственных координат объекта; например путем деления помещения 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 выравненные их параметры уже рассматриваются 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 фактическое принимается либо средневзвешенное значение параметра, либо его значение в определенной технологической 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.

В отдельную группу следует выделить так называемые многоемкостные объекты, в которых вещество или энергия концентрируется в нескольких (двух и более) имеющих свои параметры емкостях, между которыми существует определенная взаимосвязь. В реальных технологических объектах таких емкостей может быть много (до десяти и более), но в их числе обычно до 80...90% общей емкости приходится на несколько (от двух до четырех) крупных емкостей. Остальными мелкими емкостями без существенного ущерба для результатов анализа обычно пренебрегают.

Для математического описания динамики многоемкостных физических процессов можно применять различные известные математические методы.

Метод раздельного описания динамики отдельных емкостей и совместного решения уравнений рассмотрен ниже — в п. 4.6.

#### 4.2. ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ КАК ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ

Химизация — одно из основных направлений дальнейшего развития важнейшей народнохозяйственной отрасли — производства продуктов питания. Химические процессы — эффективное средство улучшения плодородия грунтов и почвы в теплично-парниковом хозяйстве, питательных свойств кормов, воз-

действия на вредителей сельскохозяйственных культур или возбудителей болезней и т. д.

Сельское хозяйство нашей страны потребляет миллионы тонн химического сырья в виде удобрений, ядохимикатов, кормовых добавок и других препаратов. Однако лишь малая часть этих химикатов используется по назначению. Значительно больше смывается дождями в реки или уходит в канализацию, вызывая загрязнение грунтовых вод и водоемов, то есть нанося ощутимый вред окружающей среде.

В ряде технологий сельскохозяйственного производства уже сейчас актуален вопрос управления скоростью химических превращений. Например, интенсификация процесса расщепления клетчатки карбамидами для приготовления грубых кормов или замедление химического взаимодействия между микроэлементами в гранулах комбикормов и т. д.

Таким образом, вместе с увеличением объемов потребления и расширением сферы применения химикатов в сельском хозяйстве предстоит решать не менее важные задачи управления химическими процессами.

В решении этих задач наряду с совершенствованием технологических способов и повышением уровня механизации химических процессов столь же важно внедрение совершенных средств контроля и автоматического управления скоростью химических превращений.

При исследовании химических процессов как объектов управления целесообразно использовать известные нам уравнения кинетики, которые как для гомогенного, так и для гетерогенного хода реакций в принципе аналогичны. Но при интенсифицированных каталитических и других реакциях на их скорость может влиять транспортное запаздывание веществ при диффузионном, кинетическом или адсорбционном их движении в зону превращений и из нее. Тогда в уравнения кинетики вносятся соответствующие уточнения.

Рассмотрим кинетику самой простой и наиболее распространенной гомогенной химической реакции

$$\omega = kC_L^l C_M^m, \quad (4.19)$$

где  $\omega$  — скорость химической реакции, выраженная количеством прореагировавшего вещества во времени;  $k$  — константа скорости реакции, которая для каждой химической реакции имеет свое значение, определенное экспериментально при базовой температуре;  $C_L^l$ ,  $C_M^m$  — концентрации веществ  $L$  и  $M$ , участвующих в реакции, при  $l$  и  $m$  порядках реакций.

Из общего уравнения кинетики (4.19) можно получить простые выражения статики и динамики изменения концентрации однокомпонентных продуктов реакций при различных порядках  $n$  реакций.

При  $n=0$

$$\left. \begin{aligned} \omega &= -dC/dt = k, \\ C/C_0 &= 1 - (k/C_0)t, \\ \tau &= C_0/2k. \end{aligned} \right\} \quad (4.20)$$

При  $n=1$

$$\left. \begin{aligned} \omega &= -dC/dt = kC, \\ C/C_0 &= e^{-kt}, \\ \tau &= \ln 2/k. \end{aligned} \right\} \quad (4.21)$$

При  $n=2$

$$\left. \begin{aligned} \omega &= -dC/dt = kC^2, \\ C/C_0 &= 1/(1 + C_0kt), \\ \tau &= 1/C_0k, \end{aligned} \right\} \quad (4.22)$$

где  $C$ ,  $C_0$  — текущая и начальная концентрации рассматриваемого вещества соответственно;  $k$  — константа скорости реакции;  $t$  — время;  $\tau$  — постоянная времени реакции (время полураспада).

При определении соотношения  $C/C_0$  интегрирование проводят в предположении изотермического хода реакций.

Очевидно, что уравнения (4.20...4.22) соответствуют идеализированным условиям гомогенных реакций. Все их коэффициенты могут быть получены для каждого вида реакций в лаборатории опытным путем.

Анализируя приведенные выше аналитические выражения, можно сделать вывод, что при нулевом порядке реакции ( $n=0$ ) скорость реакции и время полураспада не зависят от концентрации веществ, а значит, не могут быть управляемыми этого рода воздействиями.

При более высоких порядках реакций ( $n=1, 2$  и т. д.) зависимость скорости химических превращений от концентрации становится более ощутимой и выражается показательной функцией степени  $n$ .

Константа скорости реакции  $k$  входит в уравнения кинетики реакций всех без исключения порядков в одной и той же степени. Но величина  $k_1$  является действительно константой только при определенной (будем называть базовой) температуре  $\theta_1$ . Тогда для текущего значения температуры  $\theta_2$  константа  $k_2$  будет определяться известным соотношением

$$k_{\theta_1}/k_{\theta_2} = e^{\frac{E}{k_B} \cdot \frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_2 \theta_1}} \quad (4.23)$$

или

$$\ln k_{\theta_1}/k_{\theta_2} = \frac{E}{k_B} \cdot \frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_2 \theta_1}, \quad (4.24)$$

где  $E$  — энергия активации — постоянная для данного вида реакции величина;  $k_B$  — постоянная Больцмана;  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  — абсолютная температура, базовая и текущая.

Очевидно, что для реакций с большей энергией активации функциональная зависимость между коэффициентом скорости и температурой среды становится более ощутимой. Учитывая наличие этой зависимости и прямой связи константы скорости со

скоростью химических превращений, следует заключить, что изменением температуры (воздействием теплотой) можно эффективно управлять химическими процессами.

Для некоторых распространенных химических реакций константы скорости реакций и значения энергии активации приводятся в справочной литературе.

Поскольку  $k_{\theta_1}$  есть величина постоянная, то из выражения (4.23) можно установить взаимосвязь между текущим значением константы скорости  $k_{\theta_2}$  и температурой  $\theta_2$ , то есть

$$k_{\theta_2} = k_{\theta_1} e^{-\frac{E}{k_B} \frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_2 \theta_1}} \quad (4.25)$$

С учетом выражения (4.21) скорость химической реакции первого порядка в зависимости от температуры составит

$$\omega = -dC/dt = Ck_{\theta_1} e^{-\frac{E}{k_B} \frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_2 \theta_1}} \quad (4.26)$$

Подставив это выражение в уравнение динамики объекта управления, получим исходное выражение для управления химическим процессом в функции температуры, то есть, если объем реакции выразим через  $V$ , а движение реагируемых масс веществ через  $dM/dt$ , получим

$$Vd\omega/dt = dM/dt. \quad (4.27)$$

Тогда при постоянной концентрации и изменяемой температуре с учетом (4.26) получим

$$VCk_{\theta_1} e^{-\frac{E}{k_B} \frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_2 \theta_1}} \left( d e^{-\frac{E}{k_B} \frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_2 \theta_1}} \right) / dt = dM/dt. \quad (4.28)$$

Если процесс управляется изменением концентрации вещества  $C$ , то из уравнений кинетики гомогенных реакций можно записать

$$C = \sqrt[n]{\omega/k}. \quad (4.29)$$

Уравнение динамики технологического процесса в этом случае таково:

$$VdC/dt = G, \quad (4.30)$$

где  $G$  — результирующий поток вещества.

Тогда с учетом (4.29):

$$V \left( d \sqrt[n]{\omega/k} \right) / dt = G. \quad (4.31)$$

Между реагентами, находящимися в ионном состоянии, химические реакции протекают практически мгновенно. Поэтому скорость реакций в жидкостях зависит только от интенсивности ее механического перемешивания. Количественно эти зависимости в каждом случае определяются опытным путем.

Управлять химическими процессами в газообразных средах можно также изменением давления. При этом фактически изменяется концентрация веществ, что можно выразить общеизвестными физическими зависимостями.

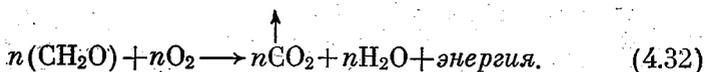
Интенсификация химических реакций путем образования свободных радикалов или ионизации исходных компонентов обычно осуществляется электростатическими, магнитными или радиационными воздействиями.

Таким образом, химическое начало в природе реакций обычно выражается в каждом конкретном случае рядом констант. Скорость превращений веществ в химических процессах взаимосвязана только с определенными физическими факторами, изменяя которые можно управлять процессами.

### 4.3. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ КАК ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ

К биологическим относятся все известные процессы, которые протекают в живых клетках и организмах в порядке их жизнедеятельности. Эти процессы весьма сложны и многообразны. Поэтому нас будут интересовать в первую очередь только те из них, которые непосредственно связаны с продуктивностью (урожайностью) и поддаются контролю или управлению извне.

Из биохимических процессов прежде всего следует обратить внимание на присущее всему живому миру разложение углеводов, сопровождаемое образованием углекислого газа, воды и выделением некоторого количества энергии:



Эта реакция идет при потреблении извне кислорода и выделении в окружающую среду углекислого газа, по потоку которых можно судить об интенсивности процессов жизнедеятельности.

Поток углекислого газа  $G_{(\text{CO}_2)V}$  будет воздействовать на показатель концентрации углекислого газа  $c_{(\text{CO}_2)V}$  в рассматриваемом ограниченном пространстве. Динамика этого процесса при наличии контролируемого притока  $\text{CO}_2$  из внешней среды  $G_{(\text{CO}_2)ВН}$  будет выражаться известным уравнением

$$Vdc_{(\text{CO}_2)V}/dt = G_{(\text{CO}_2)V} - G_{(\text{CO}_2)ВН}. \quad (4.33)$$

Поток кислорода по сравнению с потоком углекислого газа имеет противоположное направление. Динамику этого процесса можно выразить уравнением

$$Vdc_{(\text{O}_2)V}/dt = G_{(\text{O}_2)ВН} - G_{(\text{O}_2)V}. \quad (4.34)$$

Выделяемая при разложении углеводов энергия называется общей теплопродукцией организмов. Однако энергия эта расходуется в жизненных процессах организмов не полностью. Опреде-

ленная часть ее рассеивается в окружающую среду в виде так называемой свободной теплоты.

Поскольку процесс разложения углеводов для всего живого является непрерывным, то и потоки теплоты из организмов в окружающую среду при стабильности температурных градиентов также непрерывны. Они могут менять свое направление только в переходных режимах, и то кратковременно.

По потоку свободной теплоты можно судить об интенсивности движений в живых организмах. Так, если общий поток теплоты от всех организмов выразить через  $Q_{св}$ , а суммарное рассеяние через  $Q_p$ , то динамика температурного градиента  $\theta_{ср}$  ограниченного пространства, где обитают живые организмы, выразится дифференциальным уравнением

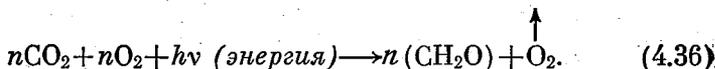
$$m_{ср}c_{ср}d\theta_{ср}/dt = Q_{св} - Q_p. \quad (4.35)$$

где  $m_{ср}$ ,  $c_{ср}$  — масса и удельная теплоемкость ограниченной среды обитания.

Очевидно, что при постоянстве других величин, входящих в уравнение (4.35), изменение температуры среды  $d\theta_{ср}/dt$  во времени будет пропорционально потоку свободной теплоты.

Трудности получения достоверности информации по этому показателю связаны с наличием ряда других мощных потоков теплоты, вызывающих помехи в реальных объектах, а также нестабильностью теплопродукции и коэффициента ее использования в организмах. Но в определенных условиях, как, например, в овощехранилищах, по показателю температуры можно точно установить момент начала массовой вегетации — прорастание корнеклубнеплодов — или определить опасную активность патогенной микрофлоры.

Факторы взаимосвязи клеток и организмов с окружающей их средой могут быть использованы также для получения информации и решения задач оптимального управления продуктивностью (урожайностью). Так, в процессе активного фотосинтеза растения ассимилируют углекислый газ из окружающей среды значительно интенсивнее, чем выделяют ее клетки в процессе разложения углеводов. Тогда идет биохимическая реакция образования углеводов по формуле



Если усвоение углекислого газа в живых организмах по формуле (4.36) происходит быстрее, чем выделение ее по формуле (4.32), то ее результирующий поток направлен из окружающей среды в сторону живых клеток организмов, и уравнение динамики (4.33) принимает вид

$$V(dc_{(CO_2)V})/dt = G_{(CO_2)вн} - G_{(CO_2)в}. \quad (4.37)$$

В качестве критерия интенсивности биологических процессов, протекающих в живых организмах, могут быть также использованы многие другие проявления взаимосвязи организмов с окру-

Разность от случайной функции  $x(t)$  и ее математического ожидания называют центрированной случайной функцией

$$\tilde{x}(t) = x(t) - m_x(t). \quad (4.45)$$

Математическое ожидание центрированной случайной функции равно нулю, то есть

$$M[x(t)] - m_x(t) = 0. \quad (4.46)$$

В дальнейшем рассматриваются только центрированные случайные процессы, но кружочек над  $x$  опускается для простоты.

Практически математическое ожидание может быть определено по  $n$  реализациям. Для этого фиксируются значения аргумента  $t_1, t_2, \dots, t_n$ , в каждом из сечений которых будут свои значения реализаций, например, при  $t = t_1$  случайная функция будет представлена реализациями  $x_1(t_1), x_2(t_1), x_3(t_1), \dots, x_n(t_1)$  и т. п. Тогда в сечении  $t_i$  математическое ожидание будет

$$m_x(t_i) = (1/N) \sum_{v=1}^n x_v(t_i), \quad (4.47)$$

где  $N$  — число реализаций;  $i = 1, 2, \dots, n$  —  $i$ -е сечение;  $v$  — номер реализации.

На основании расчетов для различных  $t = t_i$  сечений случайного процесса строят графическое изображение математического ожидания  $m_x(t)$ .

Однако усредненное значение  $m_x(t)$  далеко не полностью характеризует случайный процесс, в частности не дает никакой информации о значении возможных отклонений случайной величины от ее математического ожидания. Для этого вводится понятие дисперсии случайной функции  $x(t)$ , являющей собой неслучайную и положительную функцию  $D_x(t)$  и представляющую среднее значение квадрата разности между случайной функцией и ее средним значением, или

$$D_x(t) = M\{[x(t) - m_x(t)]^2\} = \int_{-\infty}^{\infty} \{[x(t) - m_x(t)]^2\} p_1(x, t) dt. \quad (4.48)$$

Практический интерес представляет среднеквадратическое отклонение случайной функции  $\sigma_x(t)$ , которое определяется как корень квадратный с дисперсии

$$\sigma_x(t) = \sqrt{D_x(t)}. \quad (4.49)$$

Приближенно дисперсию случайной величины можно определить из выражения

$$D_x(t_i) = \sigma_x^2(t_i) = \frac{\sum_{v=1}^N [x_v(t_i) - m_x(t_i)]^2}{N - 1}. \quad (4.50)$$

Если известна двумерная функция распределения (в сечениях  $t_1$  и  $t_2$ ), можно определить не только  $m_x(t)$  и  $D_x(t)$ , но и момент второго порядка — корреляционную функцию  $R_x(t_1, t_2)$ , характеризующую связь между значениями случайной функции в различные моменты времени:

$$R_x(t_1, t_2) = M[x(t_1)x(t_2)] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} [x_1(t_1)x_2(t_2)] p_2(x_1t_1, x_2t_2) dx_1 dx_2. \quad (4.51)$$

Корреляционная (или автокорреляционная) функция — это математическое ожидание произведения значений центрированной случайной функции, взятых при двух смежных моментах времени  $t_1$  и  $t_2$ .

При условии, что аргументы корреляционной функции равны между собой ( $t_1 = t_2 = t$ ), можно записать

$$R_x(t_1, t_2) = M[x^2(t)] \quad (4.52)$$

и соответственно для центрированной случайной функции

$$M[x^2(t)] = D_x(t), \quad (4.53)$$

то есть корреляционная функция равна дисперсии случайной функции.

Следовательно, автокорреляционная функция в зависимости от промежутка времени  $\tau = t_2 - t_1$  изменяется от дисперсии для бесконечно малого  $\tau$  до нуля при достаточно большом его значении.

При изучении действия двух случайных потоков на один и тот же объект пользуются понятиями совместного распределения вероятностей и взаимной корреляционной функции. Так, взаимная корреляция определяется функциональной зависимостью

$$R_{f\varphi}(t_1, t_2) = M[f(t_1)\varphi(t_2)]. \quad (4.54)$$

Если взаимная корреляционная функция равна нулю, то случайные процессы называют некоррелированными.

Характеристики случайных процессов могут существенно отличаться, соответственно могут изменяться и методы их анализа. В этом отношении прежде всего различают стационарные и нестационарные процессы.

Стационарными в широком смысле слова называют случайные процессы, математическое ожидание которых  $m_x(t)$  — постоянное при любых значениях аргумента  $t$ , а корреляционная функция  $R_x(t_1, t_2)$  зависит только от разности временного диапазона  $\tau = t_2 - t_1$  (рис. 4.7), причем

$$M[x(t)] = m_x(t) = m_x = \text{const}, \quad (4.55)$$

$$D_x(t) = R_x(0) = D_x = \sigma_x^2 = \text{const}, \quad (4.56)$$

$$R_x(t_1, t_2) = R_x(t_2 - t_1) = R_x(\tau). \quad (4.57)$$

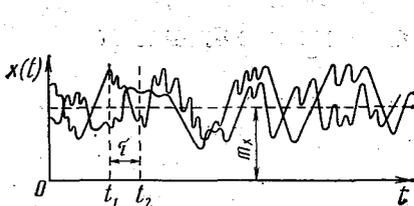


Рис. 4.7. График случайного процесса с участком исследования корреляционной функции.

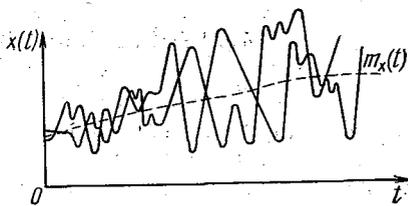


Рис. 4.8. График нестационарного случайного процесса.

Стационарные случайные процессы обладают свойством эргодичности, если статистические характеристики, полученные осреднением одной (достаточно большого интервала) реализации, приближенно совпадают с характеристиками по множеству реализаций, то есть при фиксированном времени. И, с другой стороны, стационарная случайная функция эргодична, если ее корреляционная функция  $R_x(\tau)$  неограниченно убывает по модулю при  $|\tau| \rightarrow \infty$ .

Основные статистические характеристики стационарной случайной функции  $x(t)$ , обладающей эргодическим свойством, определяются выражениями

$$m_x = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) p(x) dx = \bar{x} = \lim_{T \rightarrow \infty} 1/2T \int_{-T}^T x_T(t) dt, \quad (4.58)$$

$$D_x = \lim_{T \rightarrow \infty} 1/2T \int_{-T}^T x_T^2(t) dt = \sigma_x^2, \quad (4.59)$$

$$R_x = \lim_{T \rightarrow \infty} 1/2T \int_{-T}^T x_T^2(t) x_T(t + \tau) dt. \quad (4.60)$$

Если случайный процесс нестационарный (рис. 4.8), то все или отдельные его статистические характеристики изменяют свое значение во времени. При этом математическое ожидание  $m_x(t)$  может характеризоваться некоторым геометрическим местом точек, определяемым в интересующем нас интервале графического выражения нестационарного случайного процесса. Дисперсия и корреляционная функция этого процесса для того же интервала времени отражают колебательность процесса.

Полученные характеристики случайных процессов используют при решении задач автоматизации технологических процессов. Так, математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение необходимы для расчетов регулирующих воздействий и органов, а дисперсия и корреляционная функция, являющиеся показателями динамики, — при определении закона регулирования.

#### 4.5. ПРОСТЕЙШИЕ ОДНОЕМКОСТНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Передаточная функция статического объекта управления. Изменение во времени выходной координаты одноемкостного процесса, как было показано выше (п. 4.1), характеризуется обобщенным уравнением (4.10):

$$Ldy/dt = x.$$

Очевидно, условием постоянства выходной координаты объекта ( $y = \text{const}$ ) является равенство результирующего входного воздействия  $x$  нулю:

$$dy/dt = (1/L)x = 0. \quad (4.61)$$

Это условие характеризует установившийся (на определенном уровне) режим объекта — индекс «нуль».

В общем случае результирующий мгновенный поток вещества или энергии — входное воздействие объектов — состоит из разницы между суммарным притоком  $[x_n = \sum_{i=1}^n x_{ni}]$  и суммарным расходом  $[x_p = \sum_{i=1}^m x_{pi}]$ , то есть

$$x = x_n - x_p = \sum_{i=1}^n x_{ni} - \sum_{v=1}^m x_{pv}. \quad (4.62)$$

Следовательно, при установившемся режиме объекта, то есть при  $y = y_0 = \text{const}$

$$x_{n(0)} - x_{p(0)} = 0 \quad (4.63)$$

или

$$x_{n(0)} = x_{p(0)} = x_0. \quad (4.64)$$

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)  $\Delta x$ , которое должно вывести объект из установившегося состояния. Если воздействие приложено на стороне притока, то параметр должен возрастать, 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  $\Delta x_n$ , то есть

$$x_n = x_{n(0)} + \Delta x_n, \quad (4.65)$$

а расход останется прежним

$$x_p = x_{p(0)}. \quad (4.66)$$

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:  $x_n = f_1(y)$  и (или)  $x_p = f_2(y)$ .

Например, нетрудно представить, что с изменением температуры воздуха в помещении (выходной координаты) соответственно будут изменяться приток теплоты от отопительных батарей и расход ее через окна и ограждения (входные величины).

Эти зависимости могут быть линейными или различной степени нелинейности. В общем случае, воспользовавшись формулой Тейлора для разложения в ряд функции одного независимого переменного и учитывая лишь два его первых члена, можно записать

$$x_n \approx x_{n(0)} + (dx_n/dy)_0 \Delta y + \Delta x_n, \quad (4.67)$$

$$x_p \approx x_{p(0)} + (dx_p/dy)_0 \Delta y, \quad (4.68)$$

где  $\Delta y$  — отклонение выходной координаты от исходного установившегося (нулевого) значения.

Величина  $\Delta y$  — 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  $y \approx y_n$ .

Необходимо заметить, что выполняемая нами линеаризация функций по методу касательной дает хорошие результаты для малых отклонений  $\Delta y$ . Эту операцию можно выполнять иначе, например методом усреднения (наименьших квадратов).

Подставив значения текущих координат  $x_n$  и  $x_p$  из формул (4.67) и (4.68) в обобщенное уравнение динамики (4.10), с учетом выражения (4.64) получим

$$L dy/dt = x_{n(0)} + (dx_n/dy)_0 \Delta y + \Delta x_n - x_{p(0)} - (dx_p/dy)_0 \Delta y, \quad (4.69)$$

а с учетом (4.67) и (4.68) будем иметь

$$L dy/dt = [(dx_n/dy)_0 - (dx_p/dy)_0] \Delta y + \Delta x_n. \quad (4.70)$$

Теперь перейдем к безразмерному выражению

$$\Delta y/y_0 = \varphi, \quad (4.71)$$

откуда  $\Delta y = \varphi y_0$ ;  $dy = y_0 d\varphi$ ;

$$\mu = \Delta x_n/x_0 = \nu, \quad (4.72)$$

следовательно,  $\Delta x = \mu x_0 = \mu x_{n(0)} = \mu x_{p(0)}$ ,

где  $\nu$  — относительное дополнительное воздействие в начальный момент времени  $t=0$ .

Подставив относительные значения координат в (4.70), получим

$$y_0 L d\varphi/dt = [(dx_{II}/dy)_0 - (dx_p/dy)_0] y_0 \varphi + \mu x_0 \quad (4.73)$$

или

$$(Ly_0/x_0) (d\varphi/dt) + y_0/x_0 [(dx_p/dy)_0 - (dx_{II}/dy)_0] \varphi = \mu. \quad (4.74)$$

Нетрудно видеть, что коэффициент у первого члена уравнения есть время  $T_a$  (с, мин, ч), необходимое для заполнения емкости при полной нагрузке. Его называют еще временем астатического разгона объекта:

$$T_a = Ly_0/x_0. \quad (4.75)$$

Величина, обратная времени  $T_a$ :

$$\xi = 1/T_a = x_0/(Ly_0) \quad (4.76)$$

характеризует скорость относительного изменения выходной координаты  $y$  процесса при  $x_{II} = x_{II(0)} = x_0$  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  $\varphi$  левой части уравнения (4.74) безразмерный, так как сомножители имеют противоположные размерности. Его называют *коэффициентом статизма*, или *самовыравнивания объекта* (процесса):

$$(y_0/x_0) [(dx_p/dy)_0 - (dx_{II}/dy)_0] = \delta. \quad (4.77)$$

Как видно, этот коэффициент характеризует зависимость входных воздействий объекта от выходной координаты.

Окончательно уравнение динамики, описывающее поведение простого одноемкостного объекта во времени при наличии некомпенсированного входного воздействия, приобретает вид

$$T_a d\varphi/dt + \delta\varphi = \mu. \quad (4.78)$$

Форма уравнения, в которой коэффициент при входной координате есть единица, впервые была предложена известным специалистом инженером А. Стодолой и получила название *уравнения А. Стодоль*.

Часто пользуются другой (так называемой канонической) формой уравнения динамики процесса, когда коэффициент при  $\varphi$  равен единице:

$$(T_a |\delta|) (d\varphi/dt) \pm \varphi = (1/|\delta|) \mu, \quad (4.79)$$

где знак «+» для  $\delta > 0$  и знак «-» для  $\delta < 0$ .

Поскольку  $|\delta|$  — величина безразмерная, то при делении времени разгона  $T_a$  на  $\delta$  получаем *постоянную времени объекта* (процесса):

$$T = L/[(dx_p/dy)_0 - (dx_{II}/dy)_0]. \quad (4.80)$$

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  $1/|\delta|$ , называют коэффициентом передачи или усиления объекта и обозначают через  $k$ , то есть  $k = 1/|\delta|$ , или

$$k = \frac{1}{y_0/x_0 [(dx_p/dy)_0 - (dx_n/dy)_0]} \quad (4.81)$$

При наличии самовыравнивания объекта ( $\delta \neq 0$ ) можно записать

$$T d\varphi/dt \pm \varphi = k\mu. \quad (4.82)$$

Перейдя к изображениям функции (4.82) по Лапласу и выполнив элементарные преобразования, получим передаточную функцию в операторной форме для одноемкостного статического объекта:

$$W(p)_{0,y} = k/(Tp + 1), \quad (4.83)$$

где  $p$  — оператор Лапласа.

Переходная характеристика статического объекта управления. Общим решением линейного дифференциального уравнения первого порядка (4.78) будет сумма интеграла  $\varphi_I$  соответствующего ему однородного уравнения с нулевой правой частью (свободное движение объекта):

$$T_a d\varphi/dt + \delta\varphi = 0 \quad (4.84)$$

и любого частного решения  $\varphi_{II}$  исходного уравнения при наличии нескомпенсированного возмущения  $x_n$  (вынужденное движение объекта).

Находим общее решение однородного уравнения в виде

$$\varphi_I = Ce^{\lambda t}. \quad (4.85)$$

При этом из характеристического уравнения имеем  $T_a \lambda + \delta = 0$ ;  $\lambda = -\delta/T_a$  и тогда

$$\varphi_I = Ce^{-(\delta/T) t}. \quad (4.86)$$

Частное решение зависит от значения внешнего воздействия в течение переходного периода.

Рассмотрим важнейший случай, когда приложенное скачком внешнее воздействие (рис. 4.9) сохраняется постоянным во времени [ $v = \mu_0 = 1_0(t) = \text{const}$ ]. Соответствующая этому условию кривая изменения выходной координаты процесса [то есть функция  $y(t)$  или  $\varphi(t)$ ] называется *кривой разгона объекта*. При этом

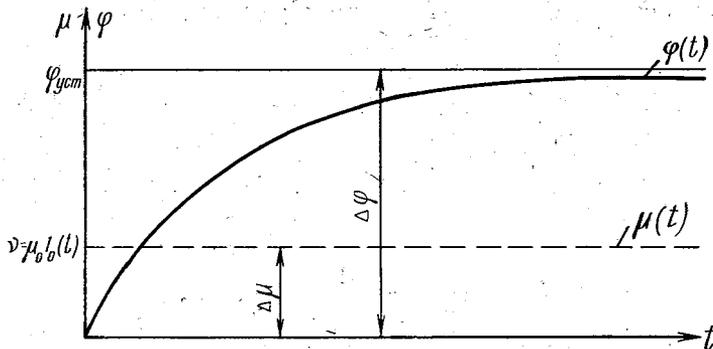


Рис. 4.9. Переходный процесс статического объекта.

получим частное решение ( $\varphi_{II} = \mu_0/\delta$ ;  $d\varphi_{II}/dt = 0$ ) при вынужденном режиме:

$$T_a d\varphi_{II}/dt + \delta\varphi_{II} \equiv \mu_0. \quad (4.87)$$

Тогда общее решение исходного дифференциального уравнения примет вид

$$\varphi = \varphi_I + \varphi_{II} = Ce^{-(\delta/T_a)t} + \mu_0/\delta. \quad (4.88)$$

В начальный момент ( $t=0$ ) выходная координата  $y=y_0$ ,  $\Delta y=0$  и  $\varphi=0$ . Следовательно,  $C = -\mu_0/\delta$  и окончательно получим

$$\varphi = (\mu_0/\delta) (1 - e^{-(\delta/T_a)t}). \quad (4.89)$$

Переходная функция при  $\nu = \mu_0 = 1_0(t)$ , приведенная на рисунке 4.9, выразится

$$h(t) = (1/\delta) (1 - e^{-(\delta/T_a)t}). \quad (4.90)$$

Исследуя уравнение (4.89), характеризующее относительное отклонение выходной координаты процесса во времени в зависимости от собственных свойств объекта, определяющихся  $\delta$  и  $T_a$ , и от внешних воздействий  $\mu$ , находим, что при положительном самовыравнивании ( $\delta > 0$ ) переходный процесс идет по экспоненте и стремится к пределу:

$$\varphi(\infty) \delta > 0 = \mu_0/\delta = k\mu_0. \quad (4.91)$$

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  $\varphi$  не возрастает безгранично, а уже через промежуток времени  $t = T_a/\delta = T$  ( $T$  — постоянная времени) достигает 0,632 от будущего предель-

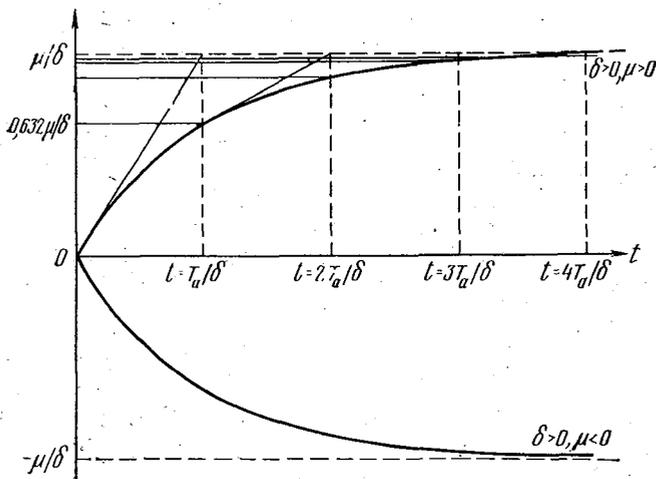


Рис. 4.10. Графический анализ динамических характеристик статического объекта.

ного отклонения, а при  $t=3T$  достигает 95% нового установившегося значения (рис. 4.10):

$$\varphi = (\mu_0/\delta) (1 - e^{-(\delta/T_a)t})_{t=3T} = (\mu_0/\delta) (1 - e^{-3}) \approx 0,95\mu_0/\delta.$$

То обстоятельство, что при  $\delta > 0$  выходная величина неизбежно приходит к новому установившемуся значению, позволяет называть такие объекты *статическими*.

**Астатические объекты управления.** В отличие от вышеизложенного положения ( $\delta > 0$ ) самовыравнивание объектов может принимать нулевое и даже отрицательное значение.

Нулевое самовыравнивание ( $\delta = 0$ ) теоретически возможно в двух случаях [см. (4.77)]: либо когда оба дифференциала в скобках равны нулю (входные воздействия не зависят от значения параметра), либо при равенстве и одинаковых знаках самовыравнивания со стороны поступления  $(dx_p/dy)_0$  и со стороны расхода  $(dx_p/dy)_0$  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.

При отсутствии самовыравнивания объект называют *нейтральным* или *астатическим*.

При нулевом самовыравнивании второй член в левой части уравнения (4.78) отсутствует и выражение принимает вид

$$T_a d\varphi/dt = \mu \quad (4.92)$$

или

$$d\varphi/dt = k_a \mu, \quad (4.93)$$

где  $k_a = 1/T_a$  — коэффициент передачи или усиления астатического объекта,  $c^{-1}$ .

Передаточная функция в операторной форме для астатического объекта может быть записана

$$W(p)_{0,y} = 1/(T_a p) = k_a/p. \quad (4.94)$$

Выражение переходной функции для объектов без самовывравнивания (4.89) становится неопределенным. Действительно:

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \varphi = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\mu_0 (1 - e^{-(\delta/T_a)t})}{\delta} = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{(t/T_a) e^{-(\delta/T_a)t}}{1} = (\mu_0/T_a) t, \quad (4.95)$$

и при  $\delta = 0$  выходная координата  $\varphi$  процесса безгранично возрастает во времени по линейному закону с угловым коэффициентом, равным  $\mu_0/T_a$ . За время  $t = T_a$  относительное отклонение выходной координаты достигает значения соответствующего ему относительного возмущения  $\mu_0$ , то есть  $\varphi \equiv \mu_0$ .

Выражение переходной функции  $h(t)$  (4.90) для астатического объекта принимает вид

$$h(t) = (1/T_a) t = k_a t, \quad (4.96)$$

а решение уравнения (4.78) А. Стодолы можно записать так:

$$\varphi = 1/T_a \int \mu dt = k_a \int \mu dt. \quad (4.97)$$

Последнее выражение справедливо для любого вида входных воздействий  $v = \mu$ , в то время как функция  $h(t)$  определима только при  $v = \mu_0 1_0(t) = \text{const}$ .

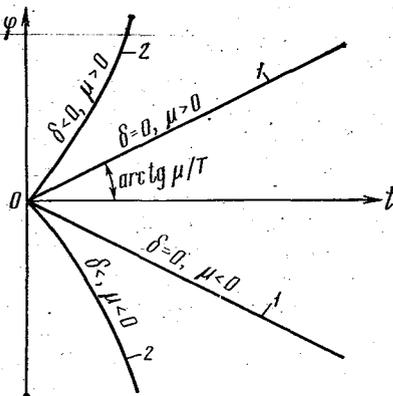


Рис. 4.11. Графическое выражение характеристик нейтрального 1 и неустойчивого 2 объектов.

Таким образом, если объект нейтрален, то с внесением возмущения на его вход выходная координата будет изменяться (возрастать или убывать) по линейному закону (рис. 4.11). Скорость этого изменения зависит от свойств объекта, характеризуемых 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  $\varphi$  (кривая 2, рис. 4.11) 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.

При отрицательном коэффициенте самовыравнивания второй член левой части уравнения (4.82) в канонической форме имеет отрицательный знак «-»:

$$(T_a / |\delta|) (d\varphi/dt) - \varphi = (1/|\delta|) \mu, \quad (4.98)$$

а передаточная функция в операторной форме соответственно принимает вид

$$W(p)_{o.y} = k/(Tp - 1). \quad (4.99)$$

**Безынерционные объекты управления.** Время разгона объектов  $T_a$  является характеристикой их 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 (4.78) вырождается в алгебраическое  $\delta\varphi = \mu$  или  $\varphi = (1/|\delta|)\mu = k\mu$ . При этом выходная координата пропорциональна входной как в переходном, так и в установившемся режимах. Передаточная функция такого объекта управления аппроксимируется уравнением

$$W(p)_{o.y} = k = \varphi/\mu = 1/|\delta|. \quad (4.100)$$

**Примеры исследования простейших объектов управления.** Рассмотрим весьма простой и наглядный объект управления — систему водоснабжения с водонапорной башней как объект регулирования уровня воды в водонапорном баке. Рассмотрим характерные случаи.

**Случай 1.** Приток воды от насоса выполнен над уровнем бака (рис. 4.12), а потребителем воды является ферма КРС с автопоилками.

В этом случае подача ( $m^3/c$ ) насоса выражается формулой

$$Q_n = Q_n = \frac{P \eta_n \eta_{п} 10^3}{\rho g H_c},$$

где  $P$  — мощность, подаваемая на вал насоса, кВт;  $\eta_n, \eta_{п}$  — КПД насоса и передачи;  $\rho$  — плотность воды,  $kg/m^3$ ;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  — ускорение свободного падения;  $H_c$  — суммарный напор воды, м.

В приведенном соотношении все величины, кроме напора  $H_c$ , являются конструктивными данными насосной установки. Суммарный напор  $H_c$  системы подачи воды от насоса в бак — величина постоянная независимо от уровня воды в баке, а следовательно, постоянна подача насоса  $Q_n$ , дифференцирование которой по напору  $H_c$  дает нулевой результат и соответственно самовыравнивание на стороне притока  $\delta_n = 0$ .

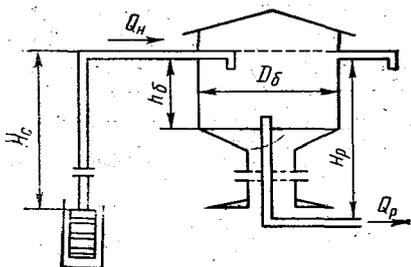


Рис. 4.12. Схема водонапорной установки с переливом на притоке.

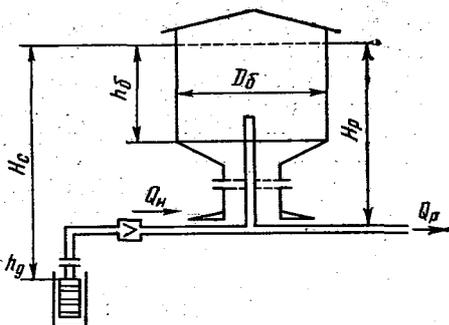


Рис. 4.13. Схема водонапорной установки с общим водопроводом притока и расхода.

Расход воды на ферме КРС при использовании автопоилок  $Q_p$  определяется нормами потребления воды животными:

$$x_p = Q_p = q_{ж} N / \eta,$$

где  $q_{ж}$  — норма потребления одного животного, л/сут;  $N$  — число животных на ферме;  $\eta$  — коэффициент использования воды.

Продифференцировав последнее уравнение по уровню воды над поилками, получим нуль, поскольку уровень  $H_p$  не входит в формулу водопотребления. Самовыравнивание на стороне расхода  $\delta_p = 0$ .

Таким образом, самовыравнивание объекта в целом ( $\delta = \delta_p + \delta_n = 0$ ) равно нулю, значит, объект астатический (нейтральный) и аппроксимируется передаточной функцией

$$W(p)_{o.y} = 1 / (T_a p).$$

Единственным неизвестным коэффициентом здесь является время разгона  $T_a$ , которое определяется из соотношения

$$T_a = S h_{\delta} / Q_n,$$

где  $S$  — емкостной коэффициент — площадь основания бака (для бака круглого сечения  $S = \pi D_{\delta}^2 / 4$ ,  $D_{\delta}$  — диаметр основания бака),  $m^2$ ;  $h_{\delta}$  — параметр — высота уровня воды в баке,  $m$ ;  $Q_n$  — подача насоса при напоре  $H_c$  (по  $Q$ - $H$ -характеристике),  $m^3/c$ .

Случай 2. Приток воды от насоса выполнен через обратный клапан и введен непосредственно в систему водоснабжения (рис. 4.13). Потребитель воды — птицеферма с проточными автопоилками желобкового типа.

Поступление воды в бак от насоса в этом случае в некоторой степени зависит от суммарного напора воды  $H_c$ . В пределах регулируемого значения уровня воды в баке  $h_{\delta(n)}$  величина  $H_c$  постоянная. Подачу насоса  $Q_{n(0)}$  можно определить по  $Q$ - $H$ -характеристике насоса, предположив, что уровень воды в баке равен номинальному значению  $h_{\delta(0)}$ . По  $Q$ - $H$ -характеристике в точке пересечения  $Q_{n(0)}$  и  $H_{c(0)}$  определим угол наклона  $\alpha$  касательной к

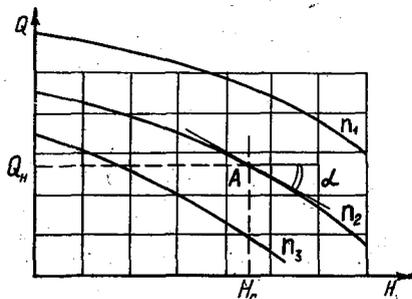


Рис. 4.14. Определение самовыравнивания по  $Q$ - $H$ -характеристике.

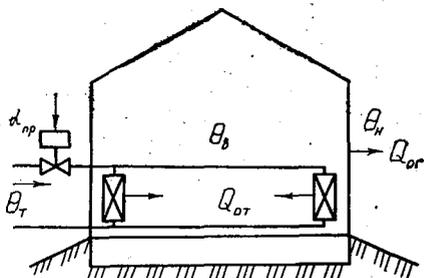


Рис. 4.15. Схема обогрева теплицы стационарными теплообменниками.

кривой (рис. 4.14), а затем найдем тангенс этого угла, представляющий собой величину  $(dQ_H/dH_c)_0$ , характеризующую самовыравнивание на стороне поступления.

Расход воды зависит от степени открытия вентилей (кранов) на проточных поилках и уровня воды в баке:

$$Q_p = 4,43\eta_p f_{\text{тр}} \sqrt{H_p},$$

где  $\eta_p$  — коэффициент расхода;  $f_{\text{тр}}$  — суммарная площадь сечения вентилей (кранов), установленных на поилках,  $\text{м}^2$ ;  $H_p$  — уровень воды над поилками, м.

Дифференцируем это уравнение:

$$(dQ_p/dH_p)_0 = 4,43\eta_p f_{\text{тр}} \frac{1}{2\sqrt{H_{p(0)}}} = \frac{2,22\eta_p f_{\text{тр}}}{\sqrt{H_{p(0)}}},$$

где  $H_{p(0)}$  — значение уровня над поилками при номинальном уровне в баке, принятом за нулевой.

Таким образом, общее самовыравнивание объекта

$$\delta = \delta_p + \delta_n = \frac{2,22\eta_p f_{\text{тр}}}{\sqrt{H_{p(0)}}} \frac{H_{p(0)}}{Q_{H(0)}} + \frac{H_{c(0)}}{Q_{H(0)}} \text{tg } \alpha.$$

Следовательно, объект имеет самовыравнивание, является статическим и аппроксимируется соответствующей передаточной функцией

$$W(p)_{o.y} = k/(Tp + 1).$$

Коэффициент усиления по (4.81):

$$k = 1/|\delta| = \frac{1}{\frac{2,22\eta_p f_{\text{тр}}}{\sqrt{H_{p(0)}}} \frac{H_{p(0)}}{Q_{H(0)}} + \frac{H_{c(0)}}{Q_{H(0)}} \text{tg } \alpha}$$

или

$$k = \frac{Q_{H(0)}}{2,22\eta_p f_{\text{тр}} \sqrt{H_{p(0)}} + H_{c(0)} \text{tg } \alpha}.$$

Постоянная времени из соотношения (4.80):

$$T = \frac{S_6}{\frac{2,22\eta_{\text{п}}f_{\text{тп}}}{\sqrt{H_{\text{п}(0)}}} + \text{tg } \alpha} = \frac{\pi D_6^2 \sqrt{H_{\text{п}(0)}}}{4(2,22\eta_{\text{п}}f_{\text{тп}} + \sqrt{H_{\text{п}(0)}} \text{tg } \alpha)}$$

В том случае, когда выходная координата выражается в уравнениях, характеризующих входные воздействия в первой степени, то при дифференцировании она исчезает и уравнение вырождается в линейную зависимость, что упрощает ход решения задачи.

Например, рассмотрим теплицу как объект регулирования температуры воздуха стационарными отопительными батареями с принудительной циркуляцией горячей воды, обеспечивающей регулирование теплоотдачи отопительных батарей (рис. 4.15).

Теплота, поступающая в теплицу:

$$Q_{\text{от}} = \alpha_6 S_6 (\theta_6 - \theta_в) = \alpha_6 S_6 \theta_6 - \alpha_6 S_6 \theta_в,$$

а потери через ограждения

$$Q_{\text{ог}} = \alpha_{\text{ог}} S_{\text{ог}} (\theta_в - \theta_н) = \alpha_{\text{ог}} S_{\text{ог}} \theta_в - \alpha_{\text{ог}} S_{\text{ог}} \theta_н,$$

где  $\alpha_6$ ,  $\alpha_{\text{ог}}$  — коэффициент теплопередачи от батарей и ограждений, (Вт·м<sup>2</sup>)/°С;  $S_6$ ,  $S_{\text{ог}}$  — площадь поверхности батарей и ограждений, м<sup>2</sup>;  $\theta_6$ ,  $\theta_н$ ,  $\theta_в$  — температура батарей, наружного и внутреннего воздуха, °С.

После дифференцирования по  $\theta_в$  выражений  $Q_{\text{от}}$  и  $Q_{\text{ог}}$  получим

$$(dQ_{\text{от}}/d\theta_в)_0 = \alpha_6 S_6 \quad \text{и} \quad (dQ_{\text{ог}}/d\theta_в)_0 = \alpha_{\text{ог}} S_{\text{ог}}.$$

Коэффициент самовыравнивания объекта

$$\delta = \theta_{в(0)}/Q_0 [\alpha_{\text{ог}} S_{\text{ог}} - (-\alpha_6 S_6)] = \theta_{в(0)}/Q_0 (\alpha_{\text{ог}} S_{\text{ог}} + \alpha_6 S_6).$$

Поскольку в квадратных скобках отсутствует выходная величина, то значение  $\delta$  можно определять для любого известного нам установившегося режима. Как частный случай, можем записать

$$\delta = \theta_в/Q_{\text{п}} (\alpha_{\text{ог}} S_{\text{ог}} + \alpha_6 S_6).$$

Коэффициент усиления (передачи)

$$k = Q_{\text{ог}}/[\theta_в (\alpha_{\text{ог}} S_{\text{ог}} + \alpha_6 S_6)]$$

и постоянная времени

$$T = \frac{c_в m_в}{\alpha_{\text{ог}} S_{\text{ог}} + \alpha_6 S_6},$$

где  $c_в$ ,  $m_в$  — коэффициент емкости (удельная теплоемкость и масса нагреваемого воздуха).

В качестве примера безынерционного объекта управления рассмотрим процесс регулирования температуры воздуха в подающем воздуховоде, широко практикуемый в типовых овощехранилищах, животноводческих и птицеводческих помещениях (рис. 4.16).

Воздух с температурой наружной среды поступает на регулирующее устройство, где подогревается пароводяным калорифером до установленной температуры, затем он подается в производственное помещение при помощи вентилятора.

Возмущением является недостаток теплоты в подаваемом воздухе, выражаемый формулой

$$Q_H = L_B \rho_B c_B (\theta_H - \theta_B),$$

где  $L_B$  — объем подаваемого воздуха, м<sup>3</sup>;  $\rho_B$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $c_B$  — удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С);  $\theta_B, \theta_H$  — температура воздуха после воздуховода и наружного, °С.

Дифференцирование  $Q_H$  по  $\theta_B$  дает

$$(dQ_H/d\theta_B)_0 = -L_B \rho_B c_B.$$

Поток теплоты от калорифера можно определить зависимостью

$$Q_K = \alpha_K S_K (\theta_T - \theta_B),$$

где  $\alpha_K$  — теплопередача от калорифера к воздуху, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $S_K$  — площадь теплопередающей поверхности калорифера, м<sup>2</sup>;  $\theta_T$  — температура теплоносителя, °С.

Дифференцирование  $Q_{от}$  по  $\theta_B$  дает нулевой результат — самовыравнивание на стороне подачи отсутствует.

Тогда общее самовыравнивание

$$\delta = \delta_p + \delta_n = \theta_{B(0)}/Q_0 [0 - (-L_B \rho_B c_B)] = (\theta_{B(0)}/Q_0) L_B \rho_B c_B.$$

Коэффициент усиления

$$k = 1/|\delta| = Q_0/(\theta_{B(0)} L_B \rho_B c_B).$$

Передаточная функция безъемкостного объекта с линейной зависимостью  $\theta_B$  от  $Q$ , поэтому

$$W(p)_{0,y} = k = Q/(\theta_B L_B \rho_B c_B).$$

Индекс «ноль» отсутствует, поскольку при дифференцировании исключался параметр  $\theta_B$ , следовательно, выражение дифференциала справедливо при любых начальных условиях.

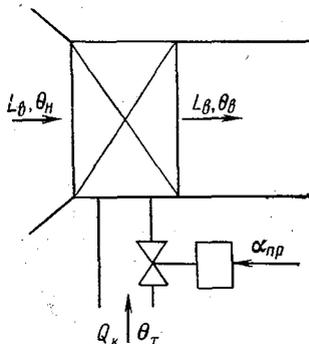


Рис. 4.16. Схема установки подогрева воздуха на притоке.

#### 4.6. СЛОЖНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Передаточная функция многоемкостного объекта управления. Выше было рассмотрено поведение простейших одноемкостного и безъемкостного объектов с одной только степенью свободы. Однако многие объекты располагают двумя или несколькими участками — емкостями, где накапливается вещество или энергия, каналы связей между которыми имеют определенные

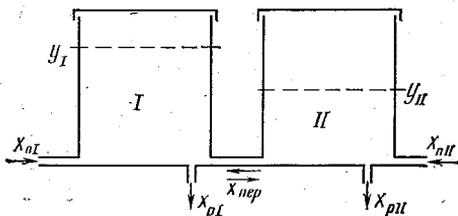


Рис. 4.17. Гидравлический аналог двух-емкостного объекта управления.

описание и определение передаточных функций таких процессов значительно усложняются.

Рассмотрим возможные случаи поведения объекта, располагающего двумя соединенными между собой емкостями I и II (рис. 4.17).

**Первый случай.** Предположим, что поступление и удаление вещества или энергии приложено к емкости I, а вторая емкость как бы является действующим резервом.

В установившемся режиме  $x_{пI} - x_{рI} = 0$  выходная величина первой емкости  $y_I$  постоянная, во второй емкости  $y_{II} = y_I = \text{const}$ . Однако при наличии результирующего воздействия  $x_{пI} - x_{рI} \neq 0$  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

$$v = \varphi_{гр} \sqrt{2g} \sqrt{y_I - y_{II}},$$

где  $\varphi_{гр}$  — коэффициент скорости перетока соединительного трубопровода.

Соответственно переток между емкостями

$$x_{пер} = vS_c,$$

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.

**Второй случай.** Поступление происходит в первую емкость, а расход — со второй. В установившемся состоянии ( $x_{пI} - x_{рII} = 0$ ) оба параметра  $y_I$  и  $y_{II}$  постоянны, но не равны ( $y_I - y_{II} = \Delta y$ ) причем  $\Delta y$  представляет собой значение потерь напора на сопротивлении перетока. Здесь  $\Delta y$  зависит от нагрузки. При возникновении разницы потоков ( $x_{пI} - x_{рII} \neq 0$ ) будет наблюдаться изменение уровней в обеих емкостях, причем во второй с некоторым опозданием, как в первом случае.

**Третий случай.** Это случай наиболее общий. Полагаем, что поступление, и расход осуществляются в обеих емкостях: в пе-

геометрические размеры, об-ладают сопротивлениями пе-ретокам, демпфирующими свойствами (пружины, ван-тусы, индуктивные катушки и т. д.).

Кроме того, соединени-е между собой перечисленны-х выше элементов может быт-ь самым разнообразным. Со-ответственно аналитическо-

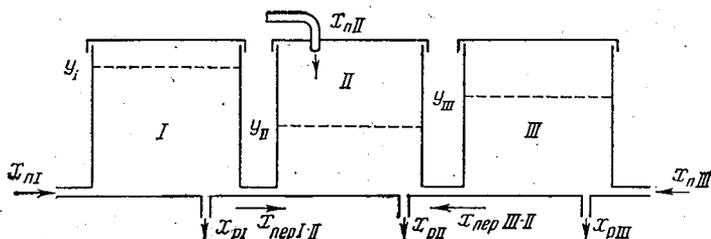


Рис. 4.18. Гидравлический аналог трехемкостного объекта.

вой приток  $x_{nI}$  и расход  $x_{pI}$ , во второй приток  $x_{nII}$  и расход  $x_{pII}$ . Тогда результирующее воздействие на емкости

$$x_I = x_{nI} - x_{pI}, \quad (4.101)$$

$$x_{II} = x_{nII} - x_{pII}. \quad (4.102)$$

Только в условиях, когда  $x_I = x_{II} = 0$ , перетока не будет и  $y_I = y_{II}$ . Если  $x_I = 0$ , а  $x_{II} \neq 0$  или, наоборот,  $x_{II} = 0$ , а  $x_I \neq 0$ , то имеем случай, аналогичный первому.

Если же  $x_I \neq 0$  и  $x_{II} \neq 0$ , то по соединительному каналу переток  $x_{пер}$  будет зависеть от нагрузки обоих сосудов и тогда

$$\left. \begin{aligned} y_I &= f_1(x_{nI}, x_{pI}, x_{пер}), \\ y_{II} &= f_2(x_{nII}, x_{pII}, x_{пер}), \\ x_{пер} &= f(y_I, y_{II}) = f_3(x_{nI}, x_{pI}, x_{nII}, x_{pII}). \end{aligned} \right\} \quad (4.103)$$

Очевидно, что на основе изложенных зависимостей для наиболее общего последнего случая можно составить дифференциальные уравнения первого порядка каждой из емкостей.

Для системы из трех последовательно соединенных емкостей (рис. 4.18) можно вывести уравнение динамики, рассматривая каждую из емкостей изолированно и введя в правую часть уравнений воздействия от смежных емкостей. Учитывая, что характеристика связей между емкостями в общем случае также может быть нелинейной, после линеаризации и выбора соответствующей системы отсчета можно записать

$$\Delta x_{pI} \approx (dx_{pI}/dy_I)_0 \Delta y_I + (dx_{pI}/dy_{II})_0 \Delta y_{II}, \quad (4.104)$$

или в безразмерном исчислении

$$\begin{aligned} \Delta x_{pI}/x_{I(0)} &\approx (y_{I(0)}/x_{I(0)}) (dx_{pI}/dy_I)_0 (\Delta y_I/y_{I(0)}) + \\ &+ (y_{II(0)}/x_{I(0)}) (dx_{pI}/dy_{II})_0 (\Delta y_{II}/y_{II(0)}), \end{aligned} \quad (4.105)$$

или

$$\Delta x_{pI}/x_{I(0)} \approx \delta_{pI} \Phi_I + \gamma_{pI} \Phi_{II}, \quad (4.106)$$

где  $\delta_{pI}$  — коэффициент самовыравнивания на стороне расхода из первой емкости;  $\gamma_{pI} = (y_{II(0)}/x_{I(0)}) (dx_{pI}/dy_{II})_0$  — коэффициент перетока в первую емкость из второй.

Соответственно для второй емкости на притоке

$$\Delta x_{\text{PII}}/x_{\text{PI}(0)} \approx -\delta_{\text{PII}}\Phi_{\text{II}} + \gamma_{\text{PII}}\Phi_{\text{I}} \quad (4.107)$$

и на стороне расхода

$$\Delta x_{\text{PII}}/x_{\text{PI}(0)} \approx \delta_{\text{PII}}\Phi_{\text{II}} + \gamma_{\text{PII}}\Phi_{\text{PI}}, \quad (4.108)$$

где  
и

$$\gamma_{\text{PII}} = (y_{\text{I}(0)}/x_{\text{PI}(0)}) (dx_{\text{PII}}/dy_{\text{I}})_0$$

$$\gamma_{\text{PII}} = (y_{\text{PI}(0)}/x_{\text{PI}(0)}) (dx_{\text{PII}}/dy_{\text{PI}})_0.$$

Аналогично можно выразить воздействия для любого множества емкостей. Только в последней емкости будет одно воздействие на стороне притока от предыдущей, а в первой — от последующей емкости.

В общем случае можно считать, что на вход любой емкости (индекс «i») поступает ее внешнее воздействие  $v_i$  и воздействия от всех смежных емкостей: от предыдущей  $\gamma_{\text{PI}}\Phi_{i-1}$  и последующей  $\gamma_{\text{PI}}\Phi_{i+1}$ . Иначе говоря, можно записать

$$\mu_i = v_i + \gamma_{\text{PI}}\Phi_{i-1} - \gamma_{\text{PI}}\Phi_{i+1}. \quad (4.109)$$

Например, для каждой емкости двухемкостного объекта управления (рис. 4.19) уравнения А. Стодолы имеют следующий вид:

$$T_{\text{I}}d\Phi_{\text{I}}/dt + \delta_{\text{I}}\Phi_{\text{I}} = v_{\text{I}} - \gamma_{\text{PI}}\Phi_{\text{II}}, \quad (4.110)$$

$$T_{\text{II}}d\Phi_{\text{II}}/dt + \delta_{\text{II}}\Phi_{\text{II}} = v_{\text{II}} + \gamma_{\text{PII}}\Phi_{\text{I}}. \quad (4.111)$$

Решим уравнения относительно  $\Phi_{\text{I}}$  методом последовательного исключения неизвестных. Из уравнения (4.111) находим

$$\Phi_{\text{I}} = (1/\gamma_{\text{PII}}) (T_{\text{II}}d\Phi_{\text{II}}/dt + \delta_{\text{II}}\Phi_{\text{II}} - v_{\text{II}}), \quad (4.112)$$

$$d\Phi_{\text{I}}/dt = (1/\gamma_{\text{PII}}) (T_{\text{II}}d^2\Phi_{\text{II}}/dt^2 + \delta_{\text{II}}d\Phi_{\text{II}}/dt) \quad (4.113)$$

и, подставив значения  $\Phi_{\text{I}}$  и  $d\Phi_{\text{I}}/dt$  в уравнение (4.110), получим

$$T_{\text{I}}T_{\text{II}}(d^2\Phi_{\text{II}}/dt^2) + (T_{\text{I}}\delta_{\text{II}} + T_{\text{II}}\delta_{\text{I}})d\Phi_{\text{II}}/dt + (\delta_{\text{I}}\delta_{\text{II}} + \gamma_{\text{PI}}\gamma_{\text{PII}})\Phi_{\text{II}} = \gamma_{\text{PII}}v_{\text{I}} + \delta_{\text{I}}v_{\text{II}}. \quad (4.114)$$

Благодаря симметричности уравнений аналогичное выражение можно получить относительно выходной координаты  $\Phi_{\text{I}}$ , если последняя является управляемой величиной.

Как видно из приведенного примера, порядок уравнения динамики многоемкостного объекта строго соответствует числу емкостей объекта.

Самовыравнивание многоемкостного объекта численно равно алгебраической сумме коэффициентов самовыравнивания на стороне поступления в

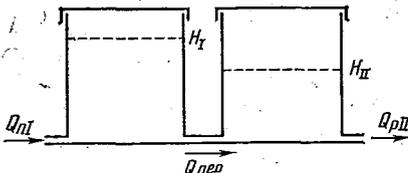


Рис. 4.19. Схема объекта с двумя гидравлическими емкостями.

первую емкость и на стороне расхода из последней (индекс «n»), то есть

$$\delta = \delta_{\text{пI}} + \delta_{\text{рп}} \quad (4.115)$$

или

$$\delta = -(y_{1(0)}/x_{1(0)}) (dx_{\text{пI}}/dy_1)_0 + (y_{n(0)}/x_{n(0)}) (dx_{\text{рп}}/dy_n)_0 \quad (4.116)$$

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 двухъемкостного объекта управления будет иметь вид

$$W(p)_{0,y} = \frac{k}{(T_{01}^2 p^2 + T_{02} p + 1)}, \quad (4.117)$$

что нетрудно получить из (4.114).

Примеры исследования многоемкостных объектов управления. Наглядным примером двухъемкостного объекта является система из двух гидравлических емкостей, приведенная на рисунке 4.19.

Для данной системы емкостей

$$Q_{\text{рI}} = Q_{\text{пI}} = Q_{\text{пер}} = \varphi_{\text{тр}} S_{\text{тр}} \sqrt{2g} \sqrt{H_1 - H_{\text{пI}}} = \beta_1 \sqrt{\Delta H},$$

где  $\beta_1 = \varphi_{\text{тр}} S_{\text{тр}} \sqrt{2g} = \text{const}$ ;  $\Delta H = H_1 - H_{\text{пI}}$ .

При установившемся (индекс «0») состоянии объекта относительные возмущения емкостей

$$v_1 = \Delta Q_{\text{пI}}/Q_0; \quad v_{\text{пI}} = -\Delta Q_{\text{рII}}/Q_0;$$

$$\text{при } Q_{\text{пI}(0)} = Q_{\text{рII}(0)} = Q_{\text{пII}(0)} = Q_0.$$

Определим самовывравнивание первой емкости. На стороне расхода с учетом вышеприведенных уравнений

$$\begin{aligned} \delta_{\text{рI}} &= (H_{1(0)}/Q_0) (dQ_{\text{рI}}/dH_1)_0 = (H_{1(0)}/Q_0) \beta_1 (d\sqrt{\Delta H}/dH_1)_0 = \\ &= (H_{1(0)}/2Q_0) \beta_1 / \sqrt{\Delta H_0}. \end{aligned}$$

Если приток в первую емкость обеспечивает насос, то самовывравнивание на поступлении будет определяться по  $Q_{\text{н}}-H_{\text{н}}$ -характеристике насоса как  $\text{tg } \alpha = dQ_{\text{н}}/dH_{\text{н}}$  и

$$\delta_{\text{пI}} = (dQ_{\text{н}}/dH_{\text{н}}) (H_{1(0)}/Q_0).$$

Тогда для первой емкости

$$\delta_1 = \delta_{\text{рI}} + \delta_{\text{пI}} = (H_{1(0)}/Q_0) \{ [\beta_1 / (2\sqrt{\Delta H_0})] + \text{tg } \alpha \}.$$

Коэффициент перетока первой емкости

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{рI}} &= (H_{\text{пII}(0)}/Q_0) (dQ_{\text{рI}}/dH_{\text{пI}}) = (H_{\text{пII}(0)}/Q_0) \beta_1 (d\sqrt{\Delta H_0}/dH_{\text{пI}})_0 = \\ &= -(H_{\text{пII}(0)}/Q_0) [\beta_1 / (2\sqrt{\Delta H_0})]. \end{aligned}$$

Уравнение динамики первой емкости

$$T_I d\varphi_I/dt + \{ (H_{I(0)}/Q_0) [\beta_I/(2\sqrt{\Delta H_0}) + \operatorname{tg} \alpha] \} \varphi_I = \\ = v_I + [ (H_{II(0)}/2Q_0) (\beta_I/\sqrt{\Delta H_0}) ] \varphi_{II}.$$

Аналогично для второй емкости

$$\delta_{\text{III}} = - (H_{II(0)}/Q_0) (dQ_{\text{III}}/dH_{II})_0 = - (H_{II(0)}/2Q_0) (\beta_I/\sqrt{\Delta H_0}).$$

Расход из второй емкости

$$Q_{II} = \varphi_P S_P \sqrt{2g} \sqrt{H_{II}}; \quad \beta_{II} = \varphi_P S_P \sqrt{2g},$$

тогда

$$(dQ_{\text{рII}}/dH_{II})_0 = \beta_{II}/2\sqrt{H_{II(0)}}; \quad \delta_{\text{рII}} = (H_{II(0)}/2Q_0) (\beta_{II}/\sqrt{H_{II(0)}}).$$

Самовывравнивание второй емкости

$$\delta_{II} = \delta_{\text{рII}} + \delta_{\text{III}} = (H_{II(0)}/2Q_0) (\beta_{II}/\sqrt{H_{II(0)}} + \beta_I/\sqrt{\Delta H_0}).$$

и коэффициент перетока

$$\gamma_{\text{III}} = (H_{I(0)}/Q_0) (dQ_{\text{III}}/dH_I)_0 = (H_{I(0)}/Q_0) \beta_I (d\sqrt{\Delta H}/dH_I)_0 = \\ = (H_{I(0)}/2Q_0) (\beta_I/\sqrt{\Delta H_0}),$$

тогда

$$T_{II} (d\varphi_{II}/dt) + (H_{II(0)}/2Q_0) (\beta_{II}/\sqrt{H_{II(0)}} + \beta_I/\sqrt{\Delta H_0}) \varphi_{II} = \\ = v_{II} + [ (H_{I(0)}/2Q_0) (\beta_I/\sqrt{\Delta H_0}) ] \varphi_I.$$

Учитывая, что  $T_I = S_I H_{I(0)}/Q_0$  и  $T_{II} = S_{II} H_{II(0)}/Q_0$ , можно легко получить решение задачи относительно параметра либо первой емкости  $\varphi_I$ , либо второй  $\varphi_{II}$  ( $S_I, S_{II}$  — площади оснований емкостей).

В качестве примера двухемкостного объекта с линейными зависимостями входных воздействий от параметра рассмотрим животноводческое помещение как объект регулирования температуры в отопительный период (рис. 4.20, а).

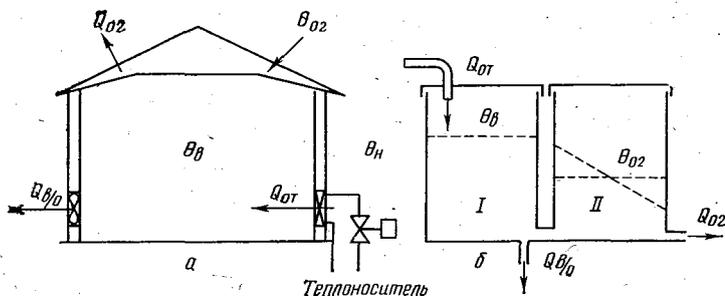


Рис. 4.20. Помещение как объект регулирования температуры (а) и его гидравлическая модель (б).

Как видно из гидравлической модели-аналога (рис. 4.20, б), к первой емкости (воздушной среде) приложено регулирующее воздействие — приток теплоты  $Q_{ог}$  от отопительной установки, например тепловентилятора, и возмущение — потери теплоты  $Q_{в/о}$  с вентиляционным воздухом. Вторая емкость объекта — ограждающие конструкции здания, которые для упрощения задачи считаем однообразными. Приток теплоты во вторую емкость идет от воздушной среды (первой емкости), а расход — в наружную среду  $Q_{ог}$ .

Для первой емкости можно записать

$$Q_{рI} = Q_{в/о} + Q_{ог}; \quad Q_{ог} = Q_{пI}; \quad Q_{I(0)} = Q_{пI} = Q_{рI}; \quad v_I = \Delta Q_{ог}/Q_{I(0)}.$$

Для второй емкости аналогично

$$Q_{пI(0)} = Q_{пII} = Q_{рII} = Q_{ог}; \quad v_{II} = \theta,$$

то есть полагаем, что изменение входного воздействия произошло только по каналу отопления, например изменилась температура или приток теплоносителя  $\theta_{г}$ ,  $Q_{ог}$ .

Рассматриваемый параметр первой емкости — температура воздуха в помещении  $\theta_{в}$ . За нулевое, как обычно, принимается установившееся номинальное значение температуры воздуха по зоотехническим требованиям  $\theta_{в(н)}$ . Поэтому

$$\theta_{в} = \theta_{в(н)} = \theta_{I(0)}.$$

Рассматриваемый параметр второй емкости — средняя температура ограждающих конструкций, которая в установившемся режиме является функцией ряда термосопротивлений:  $R_{в} = 1/\alpha_{вн}$  — внутреннее переходное сопротивление теплопередаче от воздуха к ограждениям;  $R_{н} = 1/\alpha_{н}$  — то же, но от ограждений к наружному воздуху;  $R_{м} = \delta_{ог}/\lambda_{ог}$  — сопротивление материала ограждающих конструкций. Поскольку все составляющие соединены в последовательную цепь, общее термосопротивление ограждающих конструкций представляет собой сумму  $R_{ог} = R_{в} + R_{м} + R_{н}$ , где  $R_{в} \neq R_{н}$ . Очевидно, средняя температура ограждений установится пропорционально термосопротивлениям на участках ограждающих конструкций с внутренней стороны  $R_{п.ог} = R_{в} + 1/2R_{м}$  и наружной  $R_{р.ог} = R_{н} + 1/2R_{м}$ . Тогда  $\theta_{ог} = \theta_{II(0)} = (R_{п.ог}/R_{ог}) (\theta_{в} - \theta_{н})$ .

Поток теплоты через ограждения

$$\begin{aligned} Q_{ог} &= Q_{п.ог} = Q_{р.ог} = (1/R_{ог}) S_{ог} (\theta_{в} - \theta_{н}) = \\ &= (S_{ог}/R_{п.ог}) (\theta_{в} - \theta_{ог}) = (S_{ог}/R_{р.ог}) (\theta_{ог} - \theta_{н}), \end{aligned}$$

где  $S_{ог}$  — площадь поверхности ограждений.

Теплопотери с вентиляцией

$$Q_{в/о} = M_{в/о} C_{в} (\theta_{в} - \theta_{н}),$$

где  $M_{в/о} = L_{в/о} \rho$  — поток вентиляции, умноженный на массу единицы объема воздуха, то есть массовый поток воздуха.

Поток теплоты от калориферной установки

$$Q_{от} = Q_{к} = \alpha_{к} S_{к} (\theta_{т} - \theta_{н}),$$

где  $\theta_{н}$  — температура наружного воздуха, °С;  $\alpha_{к}$  — коэффициент теплопередачи калорифера,  $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{с})$ ;  $S_{к}$  — площадь теплопередачи калорифера,  $\text{м}^2$ .

Следуя общему правилу, для емкости воздуха помещения можно записать

$$T_I = m_{в} c_{в} \theta_{I(0)} / Q_{I(0)} = m_{в} c_{в} \theta_{в} / (Q_{от} + Q_{в/о}),$$

где  $m_{в}$  — масса воздуха в помещении;

$$\delta_{\text{пI}} = \theta_{I(0)} / Q_{I(0)} (dQ_{от} / d\theta_{в})_0 = 0,$$

поскольку, согласно вышеприведенной формуле  $Q_{от} = Q_{к}$  не зависит от  $\theta_{в}$ ;

$$\begin{aligned} \delta_{\text{рI}} &= \theta_{I(0)} / Q_{I(0)} [d(Q_{п.ор} + Q_{в/о}) / d\theta_{в}]_0 = \\ &= \theta_{в} / (Q_{от} + Q_{в/о}) [(1/R_{п.ор}) S_{ор} + M_{в/о} c_{в}]; \end{aligned}$$

$$\delta_I = \delta_{\text{рI}} + \delta_{\text{пI}} = \theta_{в} / (Q_{от} + Q_{в/о}) [(1/R_{п.ор}) S_{ор} + M_{в/о} c_{в}];$$

$$\gamma_{\text{рI}} = (\theta_{\text{пI}(0)} / Q_{I(0)}) (dQ_{п.ор} / d\theta_{ор})_0 = -\theta_{ор} / (Q_{от} + Q_{в/о}) (1/R_{п.ор}) S_{ор}.$$

Тогда уравнение динамики первой емкости

$$\begin{aligned} m_{в} c_{в} \theta_{в} / (Q_{от} + Q_{в/о}) d\varphi_I / dt + \theta_{в} / (Q_{от} + Q_{в/о}) [(1/R_{п.ор}) S_{ор} + M_{в/о} c_{в}] \varphi_I = \\ = v_I + \theta_{ор} / (Q_{от} + Q_{в/о}) (1/R_{п.ор}) S_{ор} \varphi_{\text{пI}}. \end{aligned}$$

Аналогично для второй емкости

$$T_{\text{пI}} = m_{ор} c_{ор} \theta_{ор} / Q_{ор},$$

где  $m_{ор}$  — масса ограждающих конструкций;

$$\delta_{\text{пII}} = (\theta_{\text{пI}(0)} / Q_{\text{пI}(0)}) (dQ_{\text{пI}} / d\theta_{\text{пI}})_0 = -(\theta_{ор} / Q_{ор}) (S_{ор} / R_{п.ор});$$

$$\delta_{\text{рII}} = (\theta_{\text{пI}(0)} / Q_{\text{пI}(0)}) (dQ_{\text{рII}} / d\theta_{\text{пI}}) = (\theta_{ор} / Q_{ор}) (S_{ор} / R_{п.ор});$$

$$\delta_{\text{пI}} = \delta_{\text{рII}} + \delta_{\text{пII}}; \quad \delta_{\text{пI}} = (\theta_{ор} / Q_{ор}) (S_{ор} / R_{ор});$$

$$\gamma_{\text{пII}} = (\theta_{\text{пI}(0)} / Q_{\text{пI}(0)}) (dQ_{\text{пII}} / d\theta_{\text{пI}})_0 = (\theta_{в} / Q_{ор}) (S_{ор} / R_{п.ор}).$$

Уравнение динамики второй емкости объекта

$$(m_{ор} c_{ор} \theta_{ор} / Q_{ор}) d\varphi_{\text{пI}} / dt + (\theta_{ор} / Q_{ор}) (S_{ор} / R_{ор}) \varphi_{\text{пI}} = (\theta_{в} / Q_{ор}) (S_{ор} / R_{п.ор}) \varphi_I.$$

Решая задачу относительно параметра первой емкости — температуры воздуха, из уравнения динамики первой емкости находим

$$\varphi_{\text{пI}} = \frac{m_{в} c_{в} \theta_{в}}{\theta_{ор} R_{п.ор} S_{ор}} \frac{d\varphi_I}{dt} + \frac{\theta_{в}}{\theta_{ор}} [1 + M_{в/о} c_{в} / (S_{ор} / R_{п.ор})] \varphi_I -$$

$$- v_I / [\theta_{ор} / (Q_{от} + Q_{в/о})] (S_{ор} / R_{п.ор});$$

$$\frac{\alpha \varphi_{\text{пI}}}{dt} = \frac{m_{в} c_{в} \theta_{в}}{\theta_{ор} R_{п.ор} S_{ор}} \frac{d^2 \varphi_I}{dt^2} + \frac{\theta_{в}}{Q_{от}} [1 + M_{в/о} c_{в} / (S_{ор} / R_{п.ор})] d\varphi_I / dt.$$

Подставив  $\varphi_{II}$  и  $d\varphi_{II}/dt$  в уравнение второй емкости и преобразовав результат, получим

$$m_{ог}c_{ог}m_{в}c_{в}/[S_{ог}(1/R_{ог})](d^2\Delta\theta_{в}/dt^2) + \\ + \{m_{ог}c_{ог}/(R_{п.ог}/R_{ог}) + M_{в/о}c_{в}m_{ог}c_{ог}/[S_{ог}(1/R_{ог})] + \\ + m_{в}c_{в}/(R_{п.ог}/R_{ог})\} d\Delta\theta_{в}/dt + [S_{ог}/R_{п.ог} + M_{в/о}c_{в} + \\ + m_{в}c_{в}/(R_{п.ог}/R_{ог})] \Delta\theta_{в} = \Delta Q_{от}.$$

Это уравнение динамики может быть также получено из формулы (4.114).

Сложные объекты с упругими элементами. В системе связей между емкостями технологических процессов или в местах приложения воздействий могут быть не только сопротивления, но также различного ряда демпфирующие устройства: пружины, вантусы, индуктивные катушки и т. п. (рис. 4.21). Тогда движущая сила  $\Delta y$  распределяется не пропорционально сопротивлениям, как в приведенном выше примере, а по закону

$$\Delta y = \alpha dx/dt + \beta x + 1/c \int x dt. \quad (4.118)$$

Для электропривода с мягкой муфтой

$$M_{п} = J d\omega/dt + (M_{п}/\omega_0) \omega + k \int \omega dt,$$

где  $\beta = M_{п}/\omega_0$  — жесткость механической характеристики;  $k = M/\alpha$  — жесткость кинематического звена;  $J$  — момент инерции.

Для электрической цепи аналогично

$$U = L_3 di/dt + Ri + 1/c \int i dt \quad (4.119)$$

или

$$U = L_3 d^2q/dt^2 + Rdq/dt + (1/c)q, \quad (4.120)$$

где  $L_3$  — индуктивность цепи;  $R$  — активное сопротивление;  $c$  — емкость объекта или его участка;  $q$  — электрический заряд.

Все три составляющие правой части уравнения (4.118) могут быть представлены отдельными звеньями сложного объекта, состоящего из системы звеньев. Для определения уравнений динамики сложных объектов используют общепринятую методику для параллельного, последовательного и смешанного соединения звеньев.

Транспортное запаздывание в объектах управления. Отдельные емкости объектов 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.

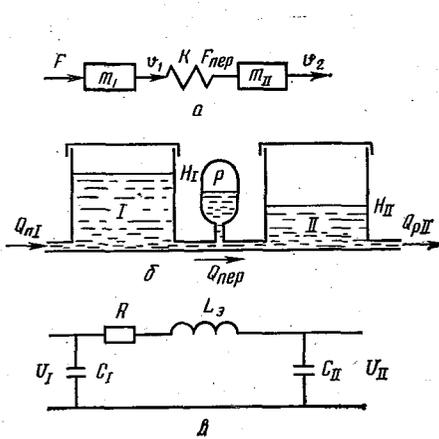


Рис. 4.21. Демпфирующие устройства на пути прохождения механического (а), гидравлического (б) и электрического (в) сигналов.

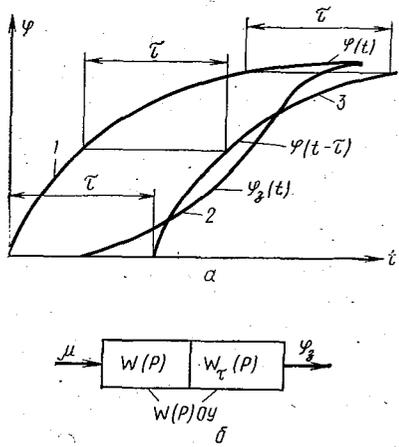


Рис. 4.22. Влияние чистого запаздывания на характеристику статического объекта:  
а — графическая характеристика; б — структурная схема; 1 — объект без запаздывания; 2 — объект с емкостным и транспортным запаздыванием; 3 — объект с транспортным запаздыванием.

Транспортное запаздывание, обозначаемое  $\tau$ , определяют в единицах времени (с):

$$\tau = l/v, \tag{4.121}$$

где  $l$  — длина пути движения вещества или энергии, м;  $v$  — скорость движения, м/с.

На графике (рис. 4.22) показано влияние транспортного запаздывания на характеристику одноемкостного статического объекта 1 или отдельной емкости многоемкостного объекта.

Аналитически передаточная функция звена транспортного запаздывания в операторной форме

$$W(p)_{\tau.з} = e^{-\tau p}, \tag{4.122}$$

а переходная функция

$$h(t) = 1_0(t - \tau), \tag{4.123}$$

$$g(t) = 1_0'(t - \tau). \tag{4.124}$$

Передаточная функция одноемкостного объекта с запаздыванием (кривая 3, рис. 4.22):

$$W(p)_{o.y} = k/(Tp + 1) e^{-\tau p}, \tag{4.125}$$

а двухъемкостного объекта (кривая 2, рис. 4.22):

$$W(p)_{o.y} = [k/(T_{01}^2 p^2 + T_{02} p + 1)] e^{-\tau p} \tag{4.126}$$

или

$$W(p)_{o,y} = [k_1/(T_1 p + 1)] [k_2/(T_2 p + 1)] e^{-\tau p}, \quad (4.127)$$

если сигнал проходит емкости последовательно.

В структуре сложных объектов управления транспортное запаздывание, как и демфирование, может быть представлено отдельным звеном со своей передаточной функцией (4.122).

#### 4.7. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТОВ

**Программы и методы экспериментальных исследований объектов.** Основной способ определения динамических характеристик объектов — аналитический. Только после выполнения аналитического анализа можно установить необходимость проведения экспериментальных исследований и определить их цель.

Экспериментальным исследованиям подвергаются те зависимости между отдельными величинами объектов управления, которых недостает для завершения аналитического решения задачи. Например, опытным путем можно находить зависимости емкостных коэффициентов объектов от других координат, дифференциалов  $(dx/dy)_0$ , входящих в коэффициент самовыравнивания  $\delta$  для какой-то из емкостей на стороне поступления или расхода, а также коэффициентов перетока  $\gamma$ . В некоторых случаях проводят экспериментальное исследование зависимостей между входными и выходными координатами в статике  $y=f_1(x)$  и динамике  $y(t)=f_2[x(t)]$  или  $y=\varphi(t)$  при  $x=x_0 1_0(t)$ . Иногда к эксперименту прибегают с целью идентификации моделей технологических процессов.

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 физических моделях (измененных в масштабе реальных технологических установок и процессов) или аналоговых моделях, в том числе с привлечением АВМ и ЦВМ.

Для проведения экспериментальных исследований составляют программу и методику. Программой определяют, какие зависимости должны быть исследованы, в какие сроки и с какой точностью. Методика исследований, разрабатываемая на основе типовых положений и методических пособий, характеризует экспериментальную установку и приборы, определяет число опытов и порядок их проведения, предусматривает создание реальных агрозоофонов и способов локализации помех, намечает методы фик-

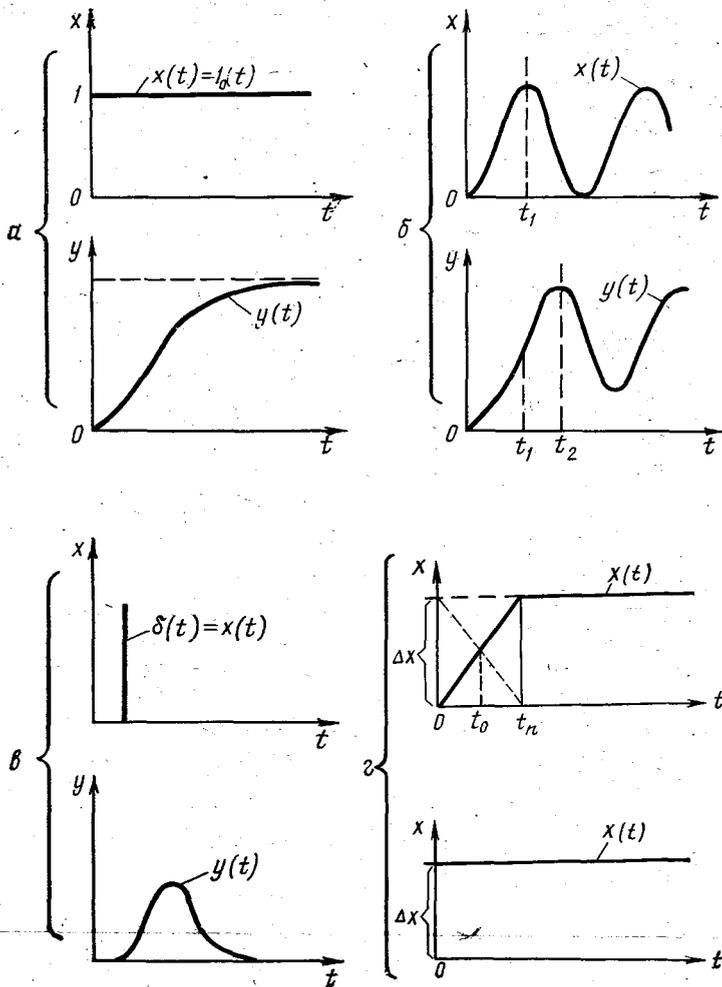


Рис. 4.23. Графическое изображение динамики переходных процессов при ступенчатом (а), гармоническом (б), импульсном (в) воздействиях и усреднения времени приложения реального сигнала (г).

сации показаний приборов и обработки экспериментальных данных.

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. 4.23, а), то на выходе получают функцию  $y(t)$ , которую в графическом изображении называют кривой разгона. При гармоническом воздействии (рис. 4.23, б) получают сдвинутый по фазе сигнал, а при импульсном (рис. 4.23, в) — сдвинутый по фазе всплеск. Но полученные по результатам измерений кривые обычно бывают ломаной формы, что связано как с флуктуациями в объекте, так и с погрешностями измерений. В процессе обработки экспериментальных данных полученные кривые сглаживают, используя для этого либо метод наименьших квадратов, либо метод равновеликих площадей, отсекаемых сглаженной кривой от экспериментальной.

Если не удается осуществить скачок 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. 4.23, г).

Пассивный эксперимент применяют в тех случаях, когда входные воздействия не поддаются целенаправленному изменению или когда технологический процесс не позволяет их изменять. Этот эксперимент, как правило, дает маловыразительные данные изменений как входных, так и выходных переменных, 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.

При проведении измерений физических величин, особенно случайного характера, рекомендуется использовать самопишущие приборы и аппаратуру с регистрацией показаний в пределах от 30 до 90% ширины шкалы, где точность измерений самая высокая. Скорость движения диаграммной бумаги определяется по формуле

$$v_0 = \mu / \Delta t_d,$$

где  $\mu$  — масштабный коэффициент, равный наименьшему делению сетки в единицах измеряемой величины;  $\Delta t_d$  — шаг дискретности, определяемый либо путем разложения измеренных функций в ряд Фурье, либо по числу пересечений измеряемой величиной среднего уровня за единицу времени  $n_0$ , причем  $\Delta t_d \leq 0,15/n_0$ .

Если в объекте действуют и фиксируются многочисленные входные воздействия (возмущения), в том числе случайного характера, то эксперимент называют многофакторным, а для анализа его результатов применяют регрессивный метод. При этом коэффициенты уравнения регрессии определяют методом наименьших квадратов.

Регрессивный анализ полученных функций сводится к оценке значимости коэффициентов уравнения и проверке адекватности

уравнения реальному объекту. Значимость коэффициентов уравнения регрессии оценивают по критерию Стьюдента

$$t_j = |a_j| / S_{a_j}$$

где  $a_j$  — значение  $i$ -го коэффициента регрессии;  $S_{a_j}$  — выборочное среднее квадратическое отклонение  $j$ -го коэффициента.

Малозначащие коэффициенты исключают из уравнений регрессии.

Адекватность уравнения проверяют по критерию Фишера

$$F = S_{\text{ост}}^2 / S_{\text{воспр}}^2$$

где  $S_{\text{ост}}$  — остаточная дисперсия;  $S_{\text{воспр}}$  — дисперсия воспроизводимости.

Существуют и другие способы оценки степени адекватности модели-аналога реального объекта, которые описаны в специальной литературе.

Исследования 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 использования аналогово-вычислительной техники способствуют все более широкому его применению для исследования многих объектов автоматизации.

#### 4.1. Структурные схемы для набора на АВМ некоторых передаточных функций

Передающая функция $y/x$	Структурная схема	Передающая функция $y/x$	Структурная схема
$-k$		$k/[s(Ts+1)]$	
$-k/s$		$k(Ts+1)/[s(Ts+1)]$	
$-k/(Ts+1)$		$k/[s(Ts+1)(T_2s+1)]$	
$-ks/(Ts+1)$		$k(T_2s+1)/[(Ts+1)(T_3s+1)]$	
$kTs/(Ts+1)$		$k(T_2^2+2hT_2p+1)$	
$k(Ts+1)/s$		$-k/(T_2^2+1)$	

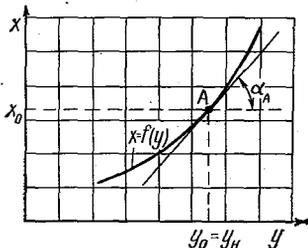


Рис. 4.24. Экспериментальная кривая зависимости входной координаты объекта от выходной.

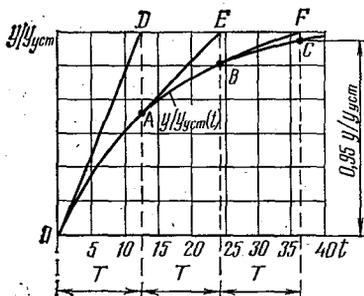


Рис. 4.25. Определение постоянной времени одноемкостного объекта по экспериментальной кривой разгона.

В настоящее время разработаны типовые структурные схемы динамических звеньев для набора на АВМ моделей объектов управления. Наиболее широко применяемые из них приведены в таблице 4.1. В схемах набора, как правило, должно соблюдаться условие  $T_1 > T_2 > T_3$ .

Результаты опытов сводят в таблицу или изображают графически. В дальнейшем эти данные используют для определения передаточных и переходных функций объектов.

**Определение передаточных функций по экспериментальным данным.** Рассмотрим наиболее характерные случаи использования экспериментальных данных.

**Случай 1.** Пусть в результате эксперимента была получена нелинейная зависимость  $x=f(y)$ , изображенная на рисунке 4.24. Требуется определить дифференциал типа  $(dx/dy)_0$ , 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 А и находят  $x_0$ , линия которого проходит параллельно оси абсцисс через точку А. Касательная к кривой  $x=f(y)$  в точке А, пересекаясь с линией  $x_0$ , образует угол  $\alpha_A$ , по которому определяют

$$(dx/dy)_0 = \operatorname{tg} \alpha_A (m_x/m_y), \quad (4.128)$$

где  $m_x$  и  $m_y$  — масштабы величин  $x$  и  $y$ .

Численное значение тангенса угла  $\alpha_A$ , найденное по таблицам, подставляют в уравнение динамики объекта.

**Случай 2.** Получена разгонная характеристика  $y(t)$  при  $x=x_0 1_0(t)$  простого (одномкостного) статического объекта (рис. 4.25). Требуется определить передаточную функцию.

По характеру кривой (экспонента) очевидно, что объект можно аппроксимировать передаточной функцией типа

$$W(p)_{o.y} = k/(Tp+1). \quad (4.129)$$

Следовательно, для решения задачи необходимо определить коэффициенты  $k$  и  $T$  в передаточной функции (4.129).

Постоянная времени по кривой разгона есть отрезок на оси абсцисс, ограниченный перпендикуляром к ней из любой произвольно взятой точки  $(O, A, B)$  на кривой и перпендикуляром, опущенным из точки  $(D, E, F)$  пересечения касательной к кривой в точке  $(O, A, B)$  с линией нового установившегося значения параметра.

При правильном графическом построении за время  $t=3T$ , равное трем постоянным времени, объект на 95% приходит к новому установившемуся режиму  $y_{3T} = 0,95y_{уст}$ .

Коэффициент  $k$  для стационарных линейных объектов определяют из соотношения

$$k = \Delta y / \Delta x. \quad (4.130)$$

Взяв за  $\Delta x$  приложенное к объекту в процессе эксперимента входное воздействие, а  $\Delta y = y_{уст} - y_0$ , получим коэффициент усиления (передачи) объекта  $k$ .

В случаях, когда объект нестационарный или нелинейный, по зависимости  $y=f(x)$  необходимо снимать кривую разгона дважды в окрестностях номинала параметра или входного воздействия при малых  $\Delta x$  и  $\Delta y$ .

**Случай 3.** Разгонная характеристика имеет пологий участок в начале графика (рис. 4.26), что может быть обусловлено наличием чистого (транспортного) запаздывания или сравнительно небольшой емкости на пути сигнала регулирующего воздействия.

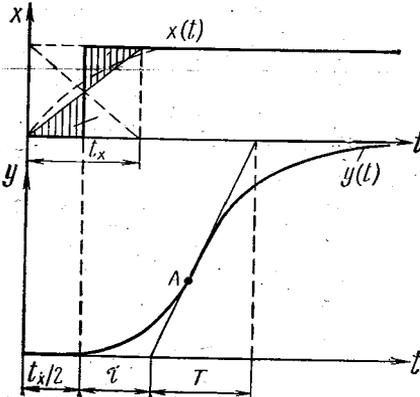


Рис. 4.26. Определение постоянной времени и чистого запаздывания по экспериментальной кривой разгона.

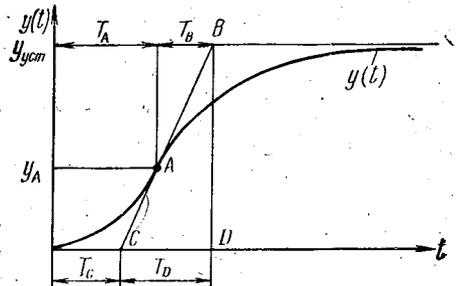


Рис. 4.27. Экспериментальная кривая разгона многоемкостного объекта.

В этом случае кривая разгона может быть успешно аппроксимирована передаточной функцией статического объекта с запаздыванием:

$$W(p)_{o.y} = k/(Tp + 1)e^{-\tau p}. \quad (4.131)$$

При решении такой задачи требуется определить три коэффициента уравнения —  $k$ ,  $T$ ,  $\tau$ . Для этого на кривой через точку  $A$ , характеризующую максимальную скорость роста параметра и являющуюся точкой перегиба кривой, проводят касательную до пересечения с осью абсцисс и новым установившимся значением параметра. Отрезок времени между этими пересечениями принимается за постоянную времени объекта  $T$ , а отрезок от начала координат (индекс «0») до пересечения касательной оси абсцисс — за время чистого запаздывания  $\tau$ . Коэффициент  $k$  определяют аналогично, как показано выше (случай 2).

Если объект астатический, то разгонная характеристика выражается прямой линией, тангенс угла наклона которой к оси абсцисс выражает скорость изменения во времени выходной величины, а время  $T_a$ , за которое параметр достигнет номинального значения, является коэффициентом передаточной функции

$$W(p)_{o.y} = 1/(T_a p). \quad (4.132)$$

Все вышеприведенные решения действительны только при скачкообразном изменении входной величины в момент  $t=0$ .

Если же это изменение происходило в течение некоторого времени равномерно, то половина этого времени  $t_x$  должна быть вычтена из чистого запаздывания:

$$\tau = \tau_{rp} - t_x/2, \quad (4.133)$$

где  $\tau_{rp}$  — время запаздывания по графику.

Более точно коэффициенты передаточных функций могут быть определены так называемым графоаналитическим методом. Для статического объекта (случай 3) по этому методу значения  $T$  и  $\tau$  находят по формулам

$$\tau = \frac{t_2 \lg(1-y_1) - t_1 \lg(1-y_2)}{\lg(1-y_1) - \lg(1-y_2)}, \quad (4.134)$$

$$T = \left| \frac{t_1 - \tau_{об}}{2,3 \lg(1-y_1)} \right| = \left| \frac{t_2 - \tau_{об}}{2,3 \lg(1-y_2)} \right|, \quad (4.135)$$

где  $t_1$  — время до точки перегиба кривой разгона;  $t_2$  — время, соответствующее 0,9  $y_{уст}$ .

Случай 4. Кривая разгона имеет явно S-образный вид (рис. 4.27).

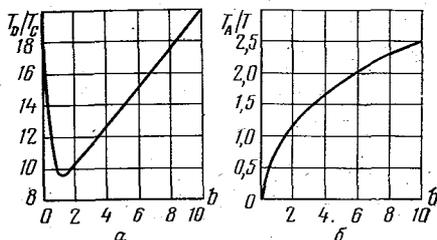


Рис. 4.28. Номограммы для определения постоянных времени.

Передачная функция такого объекта минимум второго порядка, то есть объект сложный, многоемкостный. Аппроксимируя объект уравнением второго порядка, можно записать

$$W(p)_{o.y} = k/(T_{01}^2 p^2 + T_{02} p + 1) = \frac{k}{(Tp + 1)(Tbp + 1)}. \quad (4.136)$$

Решение задачи состоит в определении  $k$ ,  $T_{01}$ ,  $T_{02}$ .

Коэффициент передачи  $k$  определяют так же, как и для простого объекта.

При определении  $T_{01}$  и  $T_{02}$  находят точку  $A$  перегиба  $S$ -образной кривой, проводят касательную и получают  $T_A$ ,  $T_B$ ,  $T_D$  и  $T_C$ . По графическим данным с помощью номограмм (рис. 4.28,  $a$  и  $b$ ) сначала находят  $b$  и  $T$ , а затем определяют

$$\left. \begin{aligned} T_{01}^2 &= T^2 b; \\ T_{02} &= T(1 + b). \end{aligned} \right\} \quad (4.137)$$

Есть другие методы аппроксимации экспериментальных графических характеристик объектов управления, например, метод площадей М. П. Симою, наименьших квадратов и т. д. Но они более сложны и применяются преимущественно в научных исследованиях.

Если в результате эксперимента, например пассивным методом, получены только отдельные участки характеристик объектов, то полную кривую разгонной характеристики можно получить методом экстраполяции.

При импульсных воздействиях получают частотные характеристики прохождения сигнала через технологический объект. В этом случае для определения передаточных функций объектов управления используют общеизвестную методику исследования частотных характеристик. Подробное описание методов исследования объектов управления приводится в специальной литературе.

Улучшить структуру выпускаемого оборудования, существенно повысить степень его автоматизации на основе применения средств микропроцессорной техники.

Из Основных направлений экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года

## Глава 5. РЕГУЛИРУЮЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ОРГАНЫ

### 5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНАХ

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 регулирующего органа и определяется из уравнения динамики процесса

$$x_p = x_v + (1/T) \int_{y_1}^{y_2} Ldy, \quad (5.1)$$

где  $T$  — время переходного режима процесса.

В установившемся режиме, когда изменения параметра  $dy$  нет, второй член в первой части уравнения (5.1) отсутствует и регулирующее воздействие определяется возмущением. В переходных режимах идет изменение наполнения емкостей, тогда регулирующее воздействие должно компенсировать и возмущения, и емкостные потоки, которые при ограниченном времени  $T$  могут быть значительными. Если в переходном режиме возмущения отсутствуют ( $x_v=0$ ), то регулирующее воздействие определяется исключительно емкостными потоками:

$$x_p = (1/T) \int_{y_1}^{y_2} Ldy. \quad (5.2)$$

Входная координата регулирующего органа — это то его положение, которое он занимает в процессе ручного регулирования. Ручным может быть включение или отключение (позиционное действие), переключение на другие ступени (ступенчатое управление), плавное изменение положения какого-то органа, влияющего на регулирующий поток.

Регулирующий орган конструктивно может быть представлен простейшим устройством в виде клапана, задвижки, 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.

В сельскохозяйственном производстве можно встретить самые разнообразные по своей природе потоки веществ, и для каждого применяется соответствующий его характеру регулирующий орган.

Для твердых веществ штучного вида (корнеплоды и т. п.) используются скребковые или ленточные питатели, для волокнистых веществ (солома, силос) — битерные питатели, для мелких плохо сыпучих (комбикорма) — шнековые, 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) механическими — редукторами, вариаторами, муфтами скольжения, гидравлическими муфтами;

б) электрическими — автотрансформаторами, электронными и магнитными усилителями;

в) радиационными — затенителями, перемещением осветительных приборов;

г) тепловыми — через устройства массообмена.

Зависимость между входными и выходными величинами регулирующих органов во времени в виде передаточных функций  $W(p)$ , р.о. определяются по конструктивным данным установок, используемых для регулирования потоков. Поскольку устройства эти в подавляющем большинстве серийные, то, как правило, всю информацию для определения передаточных функций берут из паспортов или справочных источников. Для несерийных устройств передаточные функции могут быть определены аналитически или экспериментально.

## 5.2. РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТОКОВ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ

Устройства для регулирования потоков твердых веществ можно подразделить по принципу действия на две группы: непрерывного действия и циклические.

Пользуясь методом аналогии, можно найти общий критерий оценки потоков и методику определения передаточных функций питателей.

Так, производительность (кг/с) питателей непрерывного действия подсчитывают следующим образом:

а) для питателей ленточного типа

$$Q = 3600Sv\gamma, \quad (5.3)$$

где  $S$  — площадь сечения потока, м<sup>2</sup>;  $v$  — скорость ленты, м/с;  $\gamma$  — плотность материала;

б) для питателей вибрационного типа

$$Q = 3600\gamma Bhv, \quad (5.4)$$

где  $B$  — ширина лотка, м;  $h$  — высота слоя вещества на лотке, м;  $v$  — средняя скорость движения вещества, м/с;

в) для питателей тарельчатого типа

$$Q = h^2 R \gamma \pi n / (60 \operatorname{tg} \varphi), \quad (5.5)$$

где  $h$  — высота подъема телескопа, м;  $R$  — расстояние от центра тяжести треугольника вещества до оси вращения, м;  $n$  — частота вращения вала диска, с<sup>-1</sup>;  $\varphi$  — угол между поверхностью вещества и диском;

г) для питателей лопастного типа

$$Q = 60zSl\gamma ni, \quad (5.6)$$

где  $z$  — число отсеков в барабане;  $S$  — площадь сечения отсека, м<sup>2</sup>;  $l$  — рабочая длина барабана, м;  $i$  — коэффициент пропорциональности;

д) для питателей барабанного типа

$$Q = 60\pi hBDn\gamma i, \quad (5.7)$$

где  $h$  — толщина слоя вещества, забираемого барабаном, м;  $B$  — ширина выходного отверстия, м;  $D$  — диаметр барабана, м;

е) для питателей шнекового типа

$$Q = 60\pi (D^2 - d^2) S \gamma ni / 4, \quad (5.8)$$

где  $D$  — диаметр шнека, м;  $d$  — диаметр вала шнека, м;  $S$  — шаг витка шнека;  $i$  — коэффициент заполнения шнека.

Анализируя приведенные выше характеристики производительности различных питателей, находим, что они идентичны. Во всех случаях производительность является функцией площади сечения потока вещества  $S_v$  и скорости ее движения  $v$ , то есть  $Q = f(S, v)$ , а учитывая, что площадь сечения струи в каждом случае определяется минимум двумя координатами (шириной  $B$  и высотой  $h$  или им аналогичными величинами), можно записать

$$Q = f(B, h, v). \quad (5.9)$$

Рассмотрим в качестве примера ленточный питатель (рис. 5.1) как регулирующий орган в технологическом объекте автоматизации сельскохозяйственного производства. Допустим, что поток вещества мы будем регулировать, изменяя высоту подъема регули-

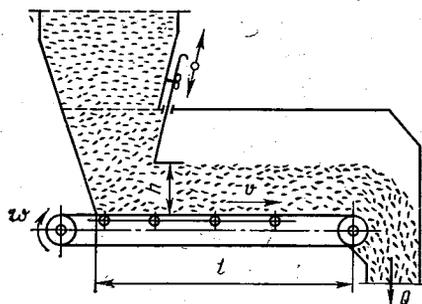


Рис. 5.1. Схема ленточного питателя сыпучих материалов.

рующей заслонки, а следовательно, толщину струи  $h$ . Учитывая, что площадь сечения струи  $S=Bh$  ( $B$  — ширина струи) и подставив в формулу (5.3) значение  $S$ , получим выражение производительности в зависимости от  $h$ :

$$Q = 3600Bhv\gamma. \quad (5.10)$$

Поскольку зависимость эта линейна, то

$$k_{p.o} = \Delta Q / \Delta h = 3600Bv\gamma. \quad (5.11)$$

Перемещение заслонки и нарастание потока происходят практически мгновенно. Поэтому регулирующим органом, как правило, звено безынерционное. Но до объекта управления регулирующее воздействие  $Q$  дойдет с некоторым опозданием, которое легко определить по формуле

$$\tau = l/v,$$

где  $l$  — длина пути перемещения вещества в питателе, м;  $v$  — скорость движения вещества, м/с.

Тогда передаточная функция регулирующего органа в операторной форме

$$W(p)_{p.o} = k_{p.o} e^{-\tau p} = 3600Bv\gamma e^{-\left(\frac{l}{v}\right)p}$$

### 5.3. РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТОКОВ ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ

Поток жидких и газообразных веществ в сельскохозяйственном производстве регулируют как путем изменения режима работы механических установок (насосов, компрессоров, вентиляторов), так и при помощи управляемой запорной аппаратуры (клапанов, вентилях, задвижек, заслонок). При этом из механических преимущественное распространение получили установки с так называемой вентиляторной характеристикой нагрузки — вихревые, центробежные и шнековые насосы, ротационные компрессоры, центробежные и осевые вентиляторы.

Выходная координата механических установок с вентиляторными характеристиками — производительность зависит только от частоты вращения рабочих лопаток:  $Q=f(\omega)$ . Соответственно изменение производительности таких установок является результатом изменения частоты вращения их электроприводов.

Частоту вращения электроприводов можно регулировать жестко путем включения и отключения напряжения (позиционное

управление) или изменения числа пар полюсов (ступенчатое управление), а также гибко — путем изменения скольжения  $s_d$  или напряжения сети  $U_c$ . Но зависимость производительности установок с вентиляторной нагрузкой от  $s_d$  или  $U_c$  всегда нелинейна, и в каждой технологической схеме ее определяют только опытным путем.

При жестком регулировании для каждой ступени частоты вращения по совмещенной  $Q$ - $h$ -характеристике установки и системы подачи (рис. 5.2) можно определить производительность  $Q_I$  и  $Q_{II}$  в окрестностях пересечения характеристик при двух смежных значениях частоты вращения  $\omega_I$  и  $\omega_{II}$ . Затем для каждой скорости можно определить коэффициент передачи (усиления)

$$\left. \begin{aligned} k_{p.01} &= \Delta Q_I / \Delta \omega_I = (Q_I - Q_{II})_1 / (\omega_I - \omega_{II})_1, \\ k_{p.02} &= \Delta Q_{II} / \Delta \omega_{II} = (Q_I - Q_{II})_2 / (\omega_I - \omega_{II})_2. \end{aligned} \right\} \quad (5.12)$$

Если пренебречь запаздыванием разгона электропривода, то передаточная функция регулирующего органа с учетом возможного чистого запаздывания воздействия

$$\left. \begin{aligned} W(p)_{p.01} &= k_{p.01} e^{-\tau p}, \\ W(p)_{p.02} &= k_{p.02} e^{-\tau p}. \end{aligned} \right\} \quad (5.13)$$

При одноступенчатом управлении получится единственная передаточная функция  $W(p)_{p.01}$ , определенная в окрестностях ее скоростной координаты.

При управлении электроприводами в функции напряжения сети требуется найти выражение производительности приводимой установки от приложенного на входе электрического потенциала  $Q = f(U_c)$ .

При выборе мощности асинхронного двигателя с сопротивлением в цепи ротора или регулятором напряжения сети при вентиляторном характере нагрузки статический момент изменяется в зависимости от частоты вращения:

$$M = M_{c.n} (\omega / \omega_{c.n})^k, \quad (5.14)$$

где  $M_{c.n}$  и  $\omega_{c.n}$  — номинальные момент и частота вращения установки.

Значение показателя степени  $k$  определяют по  $Q$ - $H$ -характеристикам установки.

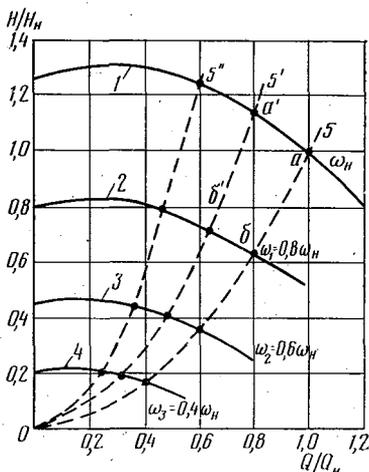


Рис. 5.2. Совмещенная  $Q$ - $H$ -характеристика насоса (1...4) и магистрала 5.

Момент статического сопротивления на валу установки

$$M_{\gamma} = QH/\omega\eta, \quad (5.15)$$

где  $\eta$  — коэффициент полезного действия.

Для двух крайних пределов регулирования по  $Q$ - $H$ -характеристике можно записать

$$M_1 = M_{c.n} (\omega_1/\omega_{c.n})^k = Q_1 H_1/\omega_1 \eta;$$

$$M_2 = M_{c.n} (\omega_2/\omega_{c.n})^k = Q_2 H_2/\omega_2 \eta.$$

Следовательно,

$$(\omega_1/\omega_2)^{k+1} = Q_1 H_1/Q_2 H_2.$$

Отсюда

$$k = \frac{\lg Q_1 H_1/Q_2 H_2}{\lg \omega_1/\omega_2} - 1. \quad (5.16)$$

Чтобы были соблюдены условия нагрева двигателя при допустимых номинальных потерях

$$\Delta P_{2н} = M_{н} \omega_0 s_{н}',$$

где  $s_{н}$  — скольжение при номинальном моменте,

фактические потери должны составлять

$$\Delta P_2 \geq \Delta P_{2н} = M_{c.n} (\omega_0 - \omega) (\omega/\omega_{c.n})^k.$$

Отсюда условие возможности управления частотой вращения установок с вентиляторной характеристикой таково:

$$M_c \leq M_{н} s_{н}' \quad (5.17)$$

или

$$M (\omega_0 - \omega) \leq M_{н} (\omega_0 - \omega_{н}'). \quad (5.18)$$

Зависимость производительности установок с вентиляторной нагрузкой от напряжения на электроприводе определяют опытным путем. Эта зависимость нелинейная. Соответственно коэффициент передачи (усиления)  $k_{p.o}$  определяется тангенсом угла наклона касательной в каждой точке графической зависимости (рис. 5.3):

$$k_{p.o} = \operatorname{tg} \alpha = dQ/dU_c. \quad (5.19)$$

Соответственно без магистрали передаточная функция регулирующего органа

$$W(p) = k_{p.o} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (5.20)$$

При регулировании потоков клапанами, задвижками, заслонками выходная величина (регулиру-

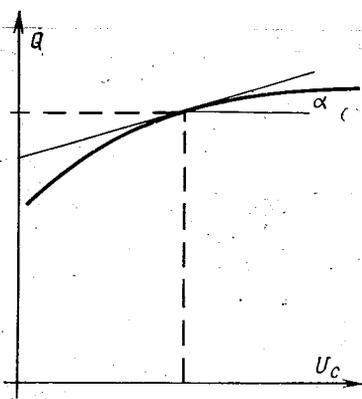


Рис. 5.3. Определение коэффициента усиления по экспериментальной кривой.

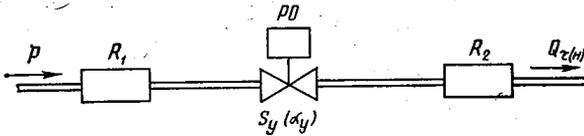


Рис. 5.4. Регулирующий орган с участком магистрали.

руемый поток) изменяется в зависимости от степени их открытия (входной координаты регулирующего органа):

$$Q_p = f(l_{p.o.}), \quad (5.21)$$

где  $l_{p.o.}$  — параметр, характеризующий степень открытия запорной арматуры.

Величина  $l_{p.o.}$  есть отношение текущего значения хода затвора  $S_3$  или угла поворота  $\alpha_3$  к номинальному их значению, называемому условным:

$$l_{p.o.} = S_3/S_\gamma \quad \text{и} \quad l_{p.o.} = \alpha_3/\alpha_\gamma. \quad (5.22)$$

Регулируемый поток  $Q_p$  в отношении к номинальному значению  $Q_n$  равен соответствующему условному проходу:

$$q_{p.o.} = Q_p/Q_n \quad \text{и} \quad q_{p.o.} = Q_p/Q_\gamma. \quad (5.23)$$

Тогда передаточный коэффициент

$$k_{p.o.} = \Delta q_{p.o.}/\Delta l_{p.o.} \quad (5.24)$$

Он выражается однозначно только в том случае, если зависимость эта линейна.

Абсолютное значение регулирующего воздействия  $Q_p$  определяется выражением (5.21) только при постоянстве напора (давления) на регулирующем органе.

В качестве примера рассмотрим регулирующий орган (рис. 5.4) совместно с двумя участками подающей магистрали, характеризующимися сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$ , и определим коэффициент передачи  $k_{p.o.}$ .

#### 1. Число Рейнольдса

$$Re = 353 Q_{\tau(n)} / (\nu D),$$

где  $Q_{\tau(n)}$  — объемный расход среды,  $m^3/c$ ;  $\nu$  — коэффициент кинематической вязкости,  $cm^2/c$ ;  $D$  — диаметр прямых участков магистрали,  $m$ .

При  $Re > 2000$  продолжают расчет.

#### 2. Минимальный перепад давления в регулирующем органе и линии при номинальном расходе

$$\Delta P_{\min} = \Delta P_0 - \Delta P_{л.}$$

где  $\Delta P_0$  — перепад давления на участке передачи;  $\Delta P_{л.}$  — потери напора в магистрали,  $\Delta P_{л.} = \Delta P_n + \Delta P_m$  ( $\Delta P_n$  и  $\Delta P_m$  — потери напора на прямых участках и местных сопротивлениях).

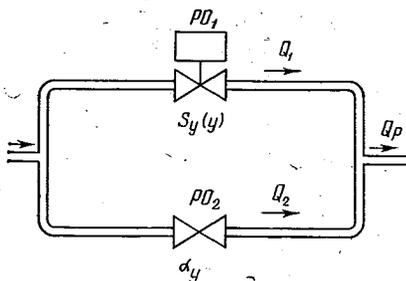


Рис. 5.5. Сложный регулирующий орган, состоящий из регулируемого и нерегулируемого клапанов.

### 5. Коэффициент передачи

$$k_{p.o} = q/l = q_{\max} Q_B / (l S_B).$$

Может быть применено сложное сочетание запорных регулируемых и нерегулируемых устройств в одном регулирующем органе, как показано на рисунке 5.5. Тогда каждый элемент схемы может быть представлен отдельным функциональным (рис. 5.6) и алгоритмическим (рис. 5.7) звеном, а передаточный коэффициент регулирующего органа находится методом эквивалентного преобразования системы последовательного и параллельного соединения звеньев.

Естественно, что для регулирующего органа клапанного типа

$$W(p)_{p.o} = k, \quad (5.25)$$

то есть регулирующий орган практически безынерционный.

Но регулирующие задвижки и вентили требуют время на перемещение штока, а открытие и закрытие зависит также от частоты вращения маховичка. Это сложный регулирующий орган, имеющий коэффициент передачи  $k$ , определяемый по вышеприведенной методике, и последовательно с ним интегрирующее звено (винтовой

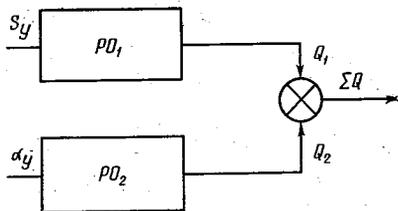


Рис. 5.6. Структурная функциональная схема сложного регулирующего органа.

3. Максимальная пропускная способность участка магистрали (для жидкостей):

$$k(t)_{\max} = Q_{\text{тн}} \sqrt{\gamma / \Delta P_{\min}},$$

где  $\gamma$  — плотность жидкости, т/м<sup>3</sup>;  $\Delta P_{\min}$  — минимальный перепад давлений в регулирующем органе.

4. Максимальный относительный расход среды

$$q_{\max} \approx k(t)_{\max} / k_{vy},$$

где  $k_{vy}$  — пропускная способность регулирующего органа, выбранная с запасом  $k_s = 1,2$  (условный проход).

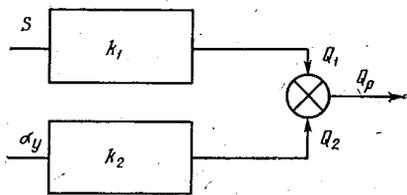


Рис. 5.7. Алгоритмическая структура сложного регулирующего органа.

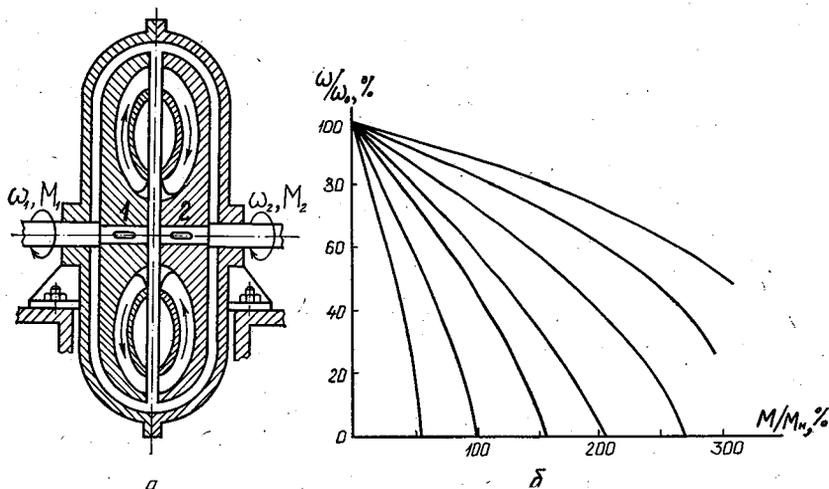


Рис. 5.8. Схема гидравлической муфты (а) и ее механические характеристики (б).

шток с маховиком) с передаточной функцией интегрирующего типа

$$W(p)_m = 1/(Tp), \quad (5.26)$$

где  $T$  — время интегрирования, численно равно времени полного открытия задвижки при принятой частоте вращения.

Очевидно, передаточная функция регулирующего органа из формул (5.25) и (5.26) определяется как произведение  $W(p)_z W(p)_m$  (задвижки и маховика):

$$W(p)_{p.o} = k/(Tp).$$

#### 5.4. РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ

Рассмотрим два наиболее распространенных и перспективных вида регулирования энергетических потоков — механического с помощью муфт (гидравлической и электромагнитной) и электрического — электронными тиристорными усилителями.

Гидравлическая муфта (рис. 5.8, а) состоит из ведущей 1 и ведомой 2 полумуфт, а полость между ними заполняется жидкостью при помощи сервомотора. Полумуфта 1 выполняет роль насоса, а 2 — турбины.

Путем изменения уровня жидкости в полости муфты (входная координата) регулируется частота вращения вторичного вала (выходная координата) муфты как регулирующего органа (рис. 5.8, б).

Коэффициент передачи (усиления) муфты представляет собой соотношение выходной и входной координат (линейная зависимость):

$$k = \omega_2/h, \quad (5.27)$$

где  $\omega_2$  — частота вращения выходного вала;  $h$  — уровень жидкости в муфте.

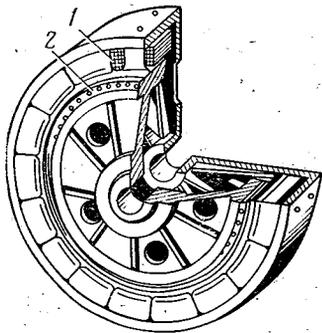


Рис. 5.9. Общий вид электромагнитной муфты скольжения.

Гидравлические связи относятся к жестким, поэтому передача муфты может быть отнесена к безынерционной:

$$W(p)_M = k = \omega_2/h. \quad (5.28)$$

Сервомотор  $h$  представляет собой явно выраженное интегрирующее звено

$$W(p)_c = 1/(Tp), \quad (5.29)$$

где  $T$  — время, необходимое для заполнения муфты:  $T = V_M/Q_c$  (объем муфты, разделенный на производительность сервомотора).

Тогда передаточная функция гидравлической муфты как регулирующего органа выражается формулой

$$W(p)_{p.o} = W(p)_M W(p)_c = \omega_2 Q_c / [(V_M h) p]. \quad (5.30)$$

Электромагнитная муфта скольжения (рис. 5.9) представляет собой сочленение двух вращающихся друг относительно друга полумуфт, одна из которых имеет обмотку возбуждения 1, а другая — короткозамкнутую обмотку 2 по типу ротора асинхронного двигателя.

Передаваемый момент определяется конструктивными данными муфты

$$M = m I_2'^2 r_2' / (\omega_1 s), \quad (5.31)$$

где  $m$  — число стержней клетки ведомой полумуфты;  $\omega_1$  — угловая скорость ведущей полумуфты;  $\omega_2$  — то же, но ведомой;  $s = (\omega_1 - \omega_2) / \omega_1$  — скольжение;  $I_2'$ ,  $r_2'$  — ток и сопротивление ведомой полумуфты.

Поскольку ток  $I_2'$  является функцией тока в обмотке возбуждения  $I_B$  (для линейного участка намагничивания в линейной зависимости), то, учитывая, что скольжение из (5.31)

$$s = m I_2'^2 r_2' / (\omega_1 M), \quad (5.32)$$

можно записать

$$s = f_1(I_2') = f_2(I_B).$$

Эта зависимость представляется заводами-изготовителями в виде механических характеристик — зависимостей  $\omega/\omega_n$  от  $M/M_n$  (рис. 5.10) для различных значений тока возбуждения (входной координаты муфты) и частоты вращения вторичного вала (выходной координаты, характеризуемой скольжением  $s$ ).

Тогда коэффициент передачи муфты

$$k_M = \omega_2 / I_B, \quad (5.33)$$

а передаточная функция имеет вид

$$W(p)_M = k = \omega_2 / I_B. \quad (5.34)$$

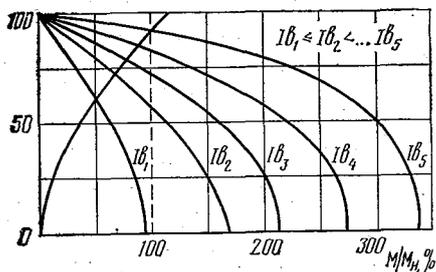


Рис. 5.10. Механические характеристики асинхронной муфты скольжения.

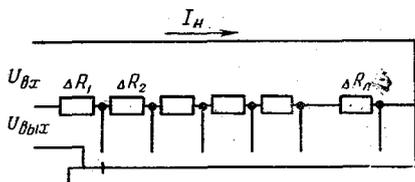


Рис. 5.11. Реостатный регулятор электрического напряжения.

Но изменение тока возбуждения в процессе регулирования частоты вращения при помощи муфты скольжения требует устройства регулирования подаваемого на обмотку возбуждения муфты напряжения  $U_B$ . Можно назвать множество случаев, где требуется регулировать электрическое напряжение, подаваемое на технологические установки сельскохозяйственного производства, например в широко распространенных вентиляционных установках «Климат», при регулировании освещения птичников «ТИРОС» и др.

В электроприводах типа ПМСМ подача напряжения осуществлена по принципу элементарного делителя напряжения резисторного типа (рис. 5.11), у которого передаточный коэффициент

$$k_d = R_{вх} / R_{вых} = U_{вых} / U_{вх}. \quad (5.35)$$

Для установок сильного тока такой способ регулирования неэкономичен, поскольку потери мощности на балластном плече сопротивления могут быть весьма значительными. В таких случаях используют автотрансформаторные регуляторы (по типу делителей напряжения), где коэффициентом передачи является коэффициент трансформации или электронные тиристорные (симисторные) регуляторы.

Выходной величиной электронного регулятора является эффективное (действующее) значение переменного напряжения на выходе. Входная координата — это особой пилообразной формы напряжение на управляющем электроде, которое формируется в колебательном контуре и изменяется в зависимости от соотношения сопротивлений и емкостей.

Напряжение на выходе из тиристоров зависит от действующего значения напряжения на входе, соответственно этому передаточный коэффициент

$$k = U_{вых} / U_{вх}. \quad (5.36)$$

Все электрические и электронные регуляторы напряжения безынерционны, поэтому передаточная функция их всегда выражается  $W(p) = k$ .

Выше были рассмотрены простейшие, наиболее распространенные регулирующие устройства, используемые или перспективные для сельскохозяйственного производства.

Рассматривая более сложные регулирующие органы, сначала разбивают их на простые звенья, для которых находят передаточные функции, а затем находят общую передаточную функцию регулирующего органа по эквивалентному замещению.

## 5.5. ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ

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 калориферы тепловентиляторов, но они также обладают некоторой реальной инерцией. Инерцией также обладают электронгревательные устройства (ТЭНы), теплообменники в устройствах подогрева воды и т. п.

Алгоритмическая характеристика такого рода элементов, как правило, аппроксимируется передаточной функцией апериодического звена первого порядка:

$$W(p) = k/(Tp + 1). \quad (5.37)$$

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  $d\theta_6/dt = 0$ , тогда  $Q_{пр} = Q_p = Q_{от}$ .

Приняв, что  $Q_{пр} = \alpha_{т.н} s_6 (\theta_{т.н} - \theta_6)$  и  $Q_p = \alpha_6 s_6 (\theta_6 - \theta_в)$ , путем дифференцирования находят коэффициент самовыравнивания на стороне поступления  $\delta_n$  и на стороне расхода  $\delta_p$  теплоты батарей. По этим коэффициентам определяют общий коэффициент самовыравнивания  $\delta_6$ :

$$(dQ_{пр}/d\theta_6)_0 = -\alpha_{т.н} s_6;$$

$$(dQ_p/d\theta_6)_0 = \alpha_6 s_6;$$

$$\delta_6 = \frac{\theta_{6(0)} s_6}{Q_{6(0)}} (\alpha_{т.н} + \alpha_6),$$

где  $\alpha_{т.н}$ ,  $\alpha_6$  — коэффициенты передачи теплоты от теплоносителя на батарею и от батареи на воздух.

Время разгона определится массой батареи и теплоемкостью их материала для нагрева до установившегося значения

$$T_p = m_6 c_6 \theta_6 / Q_{от}.$$

Тогда постоянная времени  $T = T_p / \delta_6$ , 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 регулирующие органы всегда расположены перед объектом управления, а их инерционность фактически равнозначна запаздыванию входного сигнала объекта. Поэтому при выборе закона регулирования постоянную времени регулирующего органа учитывают в составе чистого запаздывания объекта. Если же эта постоянная времени значительно меньше чистого запаздывания объекта (менее 5%), то ею пренебрегают. Например, когда транспортное запаздывание воды при подаче ее из артезианских скважин в башни бывает в пределах от 2 до 5 мин, постоянная времени разгона насоса составляет всего 2...2,5 с.

...Увеличить производство программных средств для вычислительной техники и автоматизированных систем управления.

Из Основных направлений экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года

## Глава 6. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

### 6.1. ЗАКОНЫ (АЛГОРИТМЫ) УПРАВЛЕНИЯ

**Управление по программе.** Управление технологическими процессами сельскохозяйственного производства осуществляется либо по зашифрованной информации в виде программ, либо в функции отклонений от заданных значений параметров или возмущений объектов управления, что называется регулированием.

Каждая реализуемая программа управления технологическими процессами представляет собой определенный зафиксированный в настройках автоматических устройств или записанный на различных носителях информации (перфокартах, перфолентах, магнитных лентах) закон (алгоритм) изменения положения или функционирования регулирующих органов объектов управления во времени.

Программа управления разрабатывается на основе закона функционирования технологического объекта, определенного в результате анализа возмущений и технологических предпосылок управления процессом.

Так, если определено действие возмущения во времени  $x_b(t)$ , то компенсирующее его регулирующее воздействие в каждый момент времени должно быть равным и противоположным по направлению, то есть  $x_p(t) = -x_b(t)$ . Зная передаточный коэффициент регулирующего органа, можно определить его положение (входную координату)  $a_p$  для любого момента времени:

$$a_p = (1/k_p) x_p.$$

Тогда, определив положение регулирующего органа в течение всего процесса, можно получить функцию

$$a_p(t) = (1/k_p) x_p(t),$$

выражающую программу управления процессом.

В сельскохозяйственном производстве широко распространены циклические программы: суточного цикла (кормление, уборка экскрементов, сбор яиц, доение, сбор урожая в теплицах и т. д.), суточно-годового (технологическое освещение, подкормка) и производственного (приготовление кормосмесей, движение питательного раствора гидропонных теплиц, запуск и остановка технологических

поточных линий и агрегатов). Положение регулирующего органа  $\alpha_p(t)$  в программе управления определяется в пределах времени  $t$ , равного длительности соответствующего технологического цикла. В некоторых случаях за основу принимается не временной, а пространственный аргумент. Программирование таких процессов заключается в определении пространственных координат положения регулирующего органа, например при восстановлении деталей сельскохозяйственных машин.

**Управление по отклонениям.** Для автоматического управления в функции отклонения физических величин применяются многочисленные, различные по конструктивному исполнению регуляторы механического, гидравлического, пневматического, электрического или электронного принципов действия. Но все они подчиняются ограниченному числу линейных (непрерывного) или нелинейных (дискретного) законов (алгоритмов) регулирования.

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). В сельскохозяйственных системах автоматики широко применяются позиционные регуляторы, работа которых основана на  $P$ -и  $P_c$ -законах и их комбинациях.

Под законом (алгоритмом) регулирования подразумевается функциональная связь между выходным сигналом (координатой)  $\varphi$  регулятора и его входной координатой  $\mu$  как в установившемся, так и в переходном режимах.

Между выходной координатой  $\varphi$  регуляторов и положением в каждый момент времени регулирующего органа объекта автоматизации существует прямая зависимость, поэтому величиной  $\varphi$  иногда называют координату положения регулирующего органа  $\alpha_p$ . Фактически такая подмена не всегда правомерна. А вот вход регулятора  $\mu$  и отклонение регулируемой величины объекта управления  $y = y_n - y_z$  или  $x_B = x_{B(n)} - x_{B(z)}$  — величины, всегда тождественные (символы «и» и «з» означают «измеренное» и «заданное» значения).

Рассмотрим наиболее распространенные законы регулирования. **П-закон регулирования** (пропорциональный). По этому закону значение сигнала на выходе регулятора  $\varphi$  всегда строго пропорционально значению его входной величины  $\mu$ . Коэффициентом пропорциональности между этими координатами регулятора является коэффициент передачи (усиления) регулятора  $k_p$ , то есть

$$\varphi = k_p \mu. \quad (6.1)$$

Скорость перемещения регулирующего органа пропорциональна изменению сигнала на выходе регулятора и выражается дифференциалом

$$d\varphi/dt = k_p d\mu/dt. \quad (6.2)$$

Графическое выражение П-закона регулирования показано на рисунке 6.1, а. Поскольку изменению сигнала на входе  $d\mu/dt$  стро-

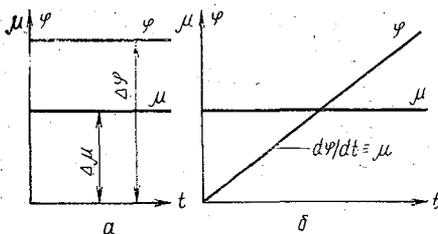


Рис. 6.1. Графическое выражение простейших пропорционального (а) и интегрального (б) законов регулирования.

го соответствует аналогичное во времени изменение выходного сигнала  $d\varphi/dt$ , то П-регуляторы являются безынерционными.

Из формулы (6.2) следует, что в установившемся режиме регулирования ( $\mu = \mu_0 = \text{const}$ ) сигнал на выходе  $\varphi$  постоянный, а регулирующий орган неподвижный. Следовательно, П-регулятор является статическим и статизм  $\delta_p$  связан с коэффициентом передачи соотношением  $k_p = 1/|\delta_p|$ .

Практически закон регулирования формируется системой функциональных звеньев, связанных между собой прямой и обратной последовательностью. Например, в пропорциональном регуляторе ПТРП этот закон реализуется электронным усилителем на транзисторах и звеном положительной обратной связи от исполнительного механизма с устройством сравнения, выполненным в виде делителя напряжения резисторного типа.

Поскольку значению сигнала на выходе регулятора  $\varphi$  строго соответствует положение регулирующего органа, то каждому значению отклонения регулируемой величины  $\Delta y_{(i)}$  или  $\Delta x_{в(i)}$  должно соответствовать свое открытие регулирующего органа  $\Delta \alpha_{(i)}$ . То есть  $\Delta y_{(i)}$  или  $x_{в(i)}$  будут неизбежными статическими ошибками регулирования.

Это обстоятельство в некоторых случаях (в частности, когда допускаемые статические отклонения регулируемой величины ограничены) не позволяет использовать П-регуляторы. Однако в некоторых случаях наличие статической ошибки выступает как положительное свойство П-закона. Например, при регулировании вентиляции птичников в летний период в функции температуры пропорционально увеличению температуры в помещении увеличивается частота вращения и подача вентиляторов, что вполне соответствует требованиям к управлению.

В целом при выборе П-закона необходимо учитывать, что полное открытие регулирующего органа  $\Delta \alpha_{p(\max)}$  должно соответствовать допустимому длительному отклонению регулируемой величины, то есть  $\Delta \alpha_{p(\max)} \equiv \sigma_{\text{доп}}$ .

Параметром настройки П-регуляторов является коэффициент передачи  $k_p$ , пользуясь которым можно настроить регулятор на различные  $\sigma_{\text{доп}}$ .

И-закон регулирования (интегральный) выражает управление по интегралу от отклонения регулируемой величины (рис. 6.1, б):

$$\varphi = (1/T_n) \int \mu dt, \quad (6.3)$$

откуда скорость перемещения регулирующего органа объекта

$$d\varphi/dt = (1/T_{\text{н}}) \mu, \quad (6.4)$$

то есть скорость перемещения регулирующего органа пропорциональна отклонению регулируемой величины. Очевидно, что регулирующий орган ( $d\varphi/dt \neq 0$ ) не остановится до тех пор, пока существует отклонение  $\mu$ . А это значит, что статической ошибки здесь не может быть. Единственным условием равновесия регулирующего органа является отсутствие отклонения регулируемой величины ( $\mu=0, d\varphi/dt=0, \varphi=\text{const}$ ).

Отсутствие статической ошибки позволило назвать И-регулятор астатическим.

Коэффициент  $T_{\text{н}}$  имеет размерность времени и называется постоянной интегрирования регулятора. Обычно это время, за которое регулирующий орган перемещается из одного крайнего положения в другое при максимальном входном сигнале.

Параметрами настройки И-регуляторов являются  $T_{\text{н}}$  и  $\Delta$ . Минимальный сигнал срабатывания

$$\Delta = 0,5\sigma k_{\text{п.п}}, \quad (6.5)$$

где  $k_{\text{п.п}}$  — крутизна статической характеристики первичного преобразователя;  $\sigma$  — допустимое отклонение регулируемой величины.

К преимуществам И-закона следует отнести отсутствие статической ошибки регулирования, что отражается как на устойчивости, так и на точности процесса регулирования.

ПД-закон регулирования (пропорционально-дифференциальный) выражает регулирование по отклонению и его производной. Его описывают уравнениями

$$\varphi = k(\mu + T_{\text{д}} d\mu/dt) \quad (6.6)$$

и

$$d\varphi/dt = k(d\mu/dt + T_{\text{д}} d^2\mu/dt^2). \quad (6.7)$$

То, что дифференциальная составляющая форсирует регулирующее воздействие в переходных режимах, определило ее название как предварение.

На рисунке 6.2, а показано графическое изображение ПД-закона регулирования. Очевидно, что чем больше и быстрее меняется регулируемая величина, тем больше влияние предварения на выход регулятора. В установившемся режиме ( $\mu = \mu_0 = \text{const}, d\varphi/dt = 0$ ) ПД-регулятор остается статическим, отклонение не устраняется.

Как и в П-регуляторах, коэффициент  $k_{\text{р}}$  безразмерен и равен обратной величине статизма регулятора  $k_{\text{р}} = 1/|\delta|$ .

Коэффициент  $T_{\text{д}}$  имеет раз-

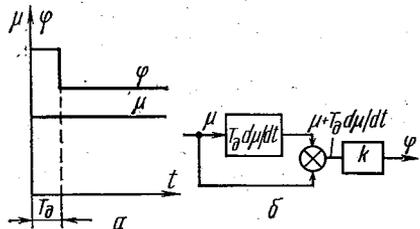


Рис. 6.2. Графическое выражение ПД-закона (а) и алгоритмическая структура регулятора (б).

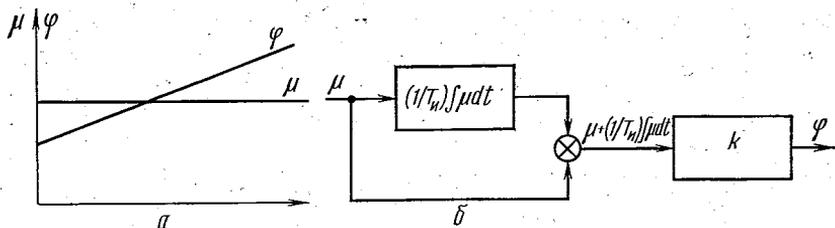


Рис. 6.3. Графическое выражение ПИ-закона (а) и его алгоритмическая структура (б).

мерность времени и называется постоянной дифференцирования или временем предварения. Параметрами настройки таких регуляторов являются величины  $k_p$  и  $T_d$ .

Структурно ПД-закон представляется сложным (рис. 6.2, б), состоящим из двух, определенным образом соединенных звеньев — дифференцирующего Д и пропорционального П.

ПИ-закон регулирования (пропорционально-интегральный) выражает регулирование по отклонению и интегралу от него:

$$\varphi = k_p \left[ \mu + (1/T_{\text{и}}) \int \mu dt \right]. \quad (6.8)$$

Скорость перемещения регулирующего органа

$$d\varphi/dt = k_p [d\mu/dt + (1/T_{\text{и}}) \mu]. \quad (6.9)$$

Графическое выражение ПИ-закона показано на рисунке 6.3, а, а структурное изображение — на рисунке 6.3, б.

Коэффициент  $T_{\text{и}}$  в этом законе определяется как время удвоения пропорциональной составляющей перемещения регулирующего органа через канал интегрирования и называется временем изодрома. Соответственно регуляторы называют изодромными.

При  $\mu = \mu_0 = \text{const}$  пропорциональная составляющая скорости перемещения регулирующего органа отсутствует, но интегральная остается  $d\varphi/dt = (k_p/T_{\text{и}}) \mu$  или  $d\varphi/dt = (1/T_{\text{и}}) \mu$ . Это обстоятельство характеризует ПИ-регулятор как астатический.

Параметрами настройки ПИ-регуляторов являются  $k_p$ ,  $T_{\text{и}}$  и  $\Delta$ .

ПИД-закон регулирования (пропорционально-интегральный с предварением) так же, как ПИ-закон, можно записать в виде суммы

$$\varphi = k_p \left[ \mu + (1/T_{\text{и}}) \int \mu dt + T_d d\mu/dt \right]. \quad (6.10)$$

Скорость перемещения регулирующего органа

$$d\varphi/dt = k_p [d\mu/dt + (1/T_{\text{и}}) \mu + T_d d^2\mu/dt^2]. \quad (6.11)$$

Графическое выражение закона приведено на рисунке 6.4, а, а структурное изображение — на рисунке 6.4, б.

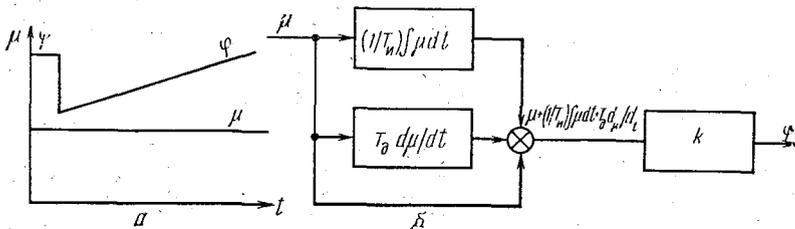


Рис. 6.4. Графическое выражение ПИД-закона (а) и его алгоритмическая структура (б).

Очевидно, что такие регуляторы обладают и астатизмом, и предварением. Параметрами настройки таких регуляторов являются  $k_p$ ,  $T_n$ ,  $T_d$ ,  $\Delta$ .

Кроме вышеприведенных, в состав сложных регуляторов можно включать звенья обратных связей и балластные звенья. Соответственно усложняются аналитические выражения характеристик реальных регуляторов, а графическое изображение принимает вид, показанный на рисунке 6.5.

Позиционные законы регулирования отличаются тем, что для них нет непрерывной зависимости  $\varphi(\mu)$ . Эта зависимость чаще всего выражается нелинейными функциями. Соответственно позиционные регуляторы, получив сигнал отклонения регулируемой величины, перемещают регулирующий орган в одно из крайних фиксированных положений.

Известны два основных простейших закона позиционного регулирования —  $P_n$  и  $P_c$ :

$P_n$ -закон регулирования (релейный позиционный) (рис. 6.6) представляет собой зависимость между входом  $\mu$  и выходом регулятора  $\varphi$ . Аналитически  $P_n$ -закон описывают системой уравнений

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \varphi_0 \operatorname{sign}(\mu - \Delta) \text{ при } d\mu/dt > 0, \\ \varphi &= \varphi_0 \operatorname{sign}(\mu + \Delta) \text{ при } d\mu/dt < 0, \end{aligned} \right\} \quad (6.12)$$

где  $\Delta$  — половина зоны неоднозначности;  $\operatorname{sign}$  — означает знак бинорма в скобках.

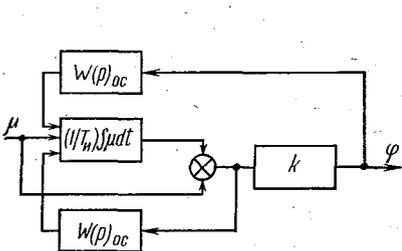


Рис. 6.5. Структура сложного регулятора с обратными связями.

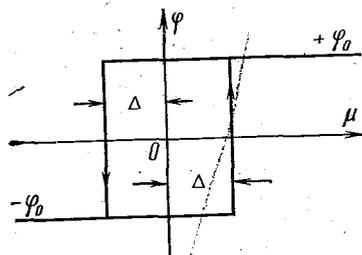


Рис. 6.6. Графическое выражение  $P_n$ -закона регулирования.

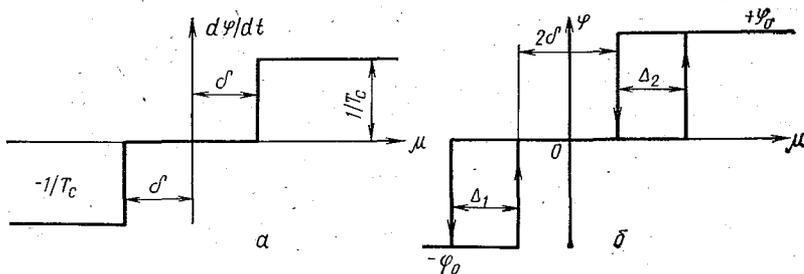


Рис. 6.7. Графическое выражение  $P_c$ -закона регулирования (а) и трехпозиционного регулирования (б).

Зоной неоднозначности называется диапазон значений входной координаты регулятора  $\mu$ , в котором выходная координата  $\varphi$  имеет не менее двух значений. Иначе говоря, при возрастании отклонения параметра до какого-то значения  $\mu$  регулирующий орган изменяет положение скачком от  $-\varphi$  до  $+\varphi$ , а при уменьшении отклонения обратное срабатывание от  $+\varphi$  до  $-\varphi$  происходит с некоторым сдвигом за  $2\Delta$ , когда  $\mu_{II} = \mu_0 - 2\Delta$ . Очевидно, что если  $\Delta \approx \mu_0$ , то  $\mu_{II}$  будет меньше нуля.

Параметрами настройки двухпозиционных регуляторов являются степень открытия регулирующего органа  $\varphi$  и зона неоднозначности  $2\Delta$ .

$P_c$ -закон регулирования (релейный постоянной скорости) (рис. 6.7, а) имеет зону нечувствительности  $2\delta$  и аналитически может быть записан в виде системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} d\varphi/dt &= (1/T_c) \operatorname{sign} \mu \text{ при } |\mu| > \delta, \\ d\varphi/dt &= 0 \text{ при } |\mu| < \delta. \end{aligned} \right\} \quad (6.13)$$

По этому закону регулирующий орган перемещается с постоянной скоростью  $1/T_c$  в ту или другую сторону в зависимости от знака отклонения, если его абсолютное значение  $> \delta$ . Здесь  $T_c$  — время полного открытия регулирующего органа.

Зоной нечувствительности называется диапазон значений  $\mu$ , в котором скорость открытого регулирующего органа равна нулю.

На основе  $P_p$ - и  $P_c$ -законов можно создать сложные регуляторы, например трехпозиционные (рис. 6.7, б), имеющие как зону нечувствительности  $2\delta$ , так и зоны неоднозначности  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$ . Аналогично можно составить закон многопозиционного регулирования, по своим характеристикам приближающийся к плавному регулированию.

## 6.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИНЦИПА И ЗАКОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ

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 закон регулирования 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 закона 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  $\tau/T$ . 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  $\tau/T$  от 0,2 до 1 применяется плавное регулирование.

Время запаздывания регулирующего сигнала  $\tau$  в этом случае выражается суммой

$$\tau = \tau_{p.o} + T_{p.o} + \tau_{o.y}, \quad (6.14)$$

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  $T_i$ :

$$T = \prod_{i=1}^n T_i. \quad (6.15)$$

При выборе закона непрерывного регулирования руководствуются следующими 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 заблокированы со всеми типами регуляторов. При отсутствии значительных запаздываний, плавных возмущениях и отсутствии особых требований к 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. 6.8). Координатами диаграммы являются

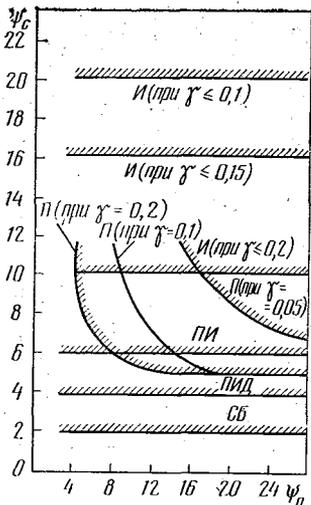


Рис. 6.8. Диаграмма А. Я. Лернера для выбора регуляторов непрерывного действия.

$\psi_c$ , равном от 6 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:

$$\psi_n = T_n / \tau = 600 / 30 = 20, \quad (6.16)$$

$$\psi_c = t_{\text{рег}} / \tau = 240 / 30 = 8. \quad (6.17)$$

Пересечение этих координат на диаграмме дает точку, соответствующую регуляторам: изодромному с предварением и без такового и статическому при  $\gamma > 0,06$ , при этом коэффициент усиления  $k \leq 1/0,06 - 1 = 15,7$ .

### 6.3. УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Устройства автоматического управления включают серийно выпускаемые промышленностью первичные преобразователи (датчики), усилители-преобразователи сигналов (регуляторы), исполнительные механизмы, средства передачи сигналов в цепях прямых и обратных связей.

Законы регулирования обычно реализуются набором технических средств, определенным образом увязанных в единую систему, называемую устройством автоматического управления (УАУ).

Кроме функциональных качеств, при выборе набора технических средств учитывают пределы шкалы их оптимального функционирования и настройки, гарантийную точность регулирования

защищенность от внешней среды, вид и параметры используемой энергии.

Стержнем всякого автоматического устройства является регулятор, объединяющий в себе функциональные звенья сравнения измеренного и заданного сигналов, анализа знака отклонения, усиления или интегрирования (дифференцирования) сигнала отклонения, преобразования сигнала в вид, удобный для использования в исполнительных устройствах.

В сельскохозяйственном производстве используются преимущественно электрические и электронные регуляторы. Элементом сравнения в них являются четырехполюсники (мосты сравнения, рис. 6.9, а), которые реализуют элементарную операцию вычитания

$$z_3 - z_n = \Delta z, \quad (6.18)$$

где  $z_n$  и  $z_3$  — измеренное и заданное значения регулируемой величины.

На структурных схемах элемент сравнения изображают в виде перекрещенного круга (рис. 6.9, б), на который выводят входные сигналы  $z_n$  и  $z_3$  и выход  $\Delta z$ . Отрицательную из величин обозначают, заглушивая соответствующую четверть круга, или ставят знак минус перед символом обозначения. Если указанное обозначение отсутствует, то такой элемент обозначает сумму.

Электрические и электронные преобразователи практически безынерционны, поэтому их передаточная функция обычно выражается в виде коэффициента передачи (усиления), который для статического регулятора определяется из соотношения

$$k_p = k_{y.a.y} / (k_{и.м} k_d), \quad (6.19)$$

где  $k_{y.a.y}$ ,  $k_{и.м}$ ,  $k_d$  — коэффициенты усиления устройства регулирования исполнительного механизма и датчика.

Коэффициент усиления пропорционального регулятора определяют, исходя из допустимой статической ошибки  $\sigma_{o.y}$  входной величины регулирующего органа  $\alpha_p$ :

$$k_y = \alpha_p / \sigma_{o.y}. \quad (6.20)$$

Коэффициент усиления исполнительного механизма, как правило, характеризуется его конструктивными данными и определяется соотношением, определяющим степень открытия регулирующего органа на единицу выходного воздействия регулятора  $U_p$ :

$$k_{и.м} = \alpha_p / U_p. \quad (6.21)$$

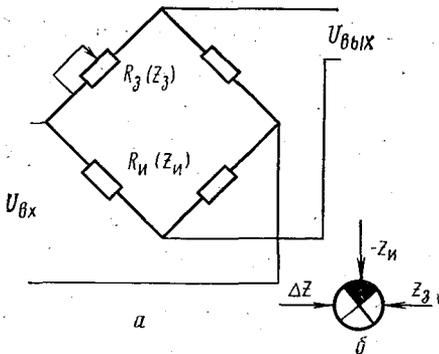


Рис. 6.9. Элемент сравнения — электрическая схема (а) и структурное обозначение (б).

Соответственно для датчика можно записать:

$$k_d = (z_n - z_3) / (y - y_n) = \Delta z / \Delta y, \quad (6.22)$$

где  $y$  и  $y_n$  — фактическое и номинальное значения регулируемой величины.

Каждый функциональный элемент устройства автоматического управления в общем имеет переходное (инерционное) запаздывание. Тогда его динамическая характеристика будет аппроксимироваться соответствующего порядка передаточной функцией, например:

$$W(p)_d = k / (Tp + 1).$$

Существенной инерционностью обладают некоторые типы параметрических датчиков. Так, постоянная времени  $T$  различных типов термисторов колеблется в пределах от 1 до 115 с. Коэффициент усиления (Ом/°С) в данном случае выражается как  $k = \Delta R / \Delta \theta$ .

#### 6.4. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ И АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА САУ

В результате исследования статических и динамических свойств технологического объекта управления, определения закона регулирования, выбора регулятора и других функциональных элементов автоматизаций созданы все необходимые предпосылки для структурного выражения системы автоматического регулирования (САР), то есть системы объект — регулятор.

Функциональная структурная схема САР отражает в виде прямоугольников все функциональные звенья (элементы), а также связи между ними с указанием стрелками направления движения сигналов и надписью обозначений физических величин над ними.

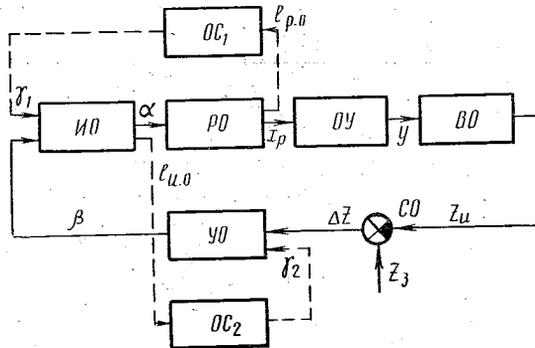


Рис. 6.10. Функциональная структурная схема простейшей САР:

ОС<sub>1</sub> и ОС<sub>2</sub> — звенья обратных связей; ИО — исполнительный орган; РО — регулирующий орган; ОУ — объект управления; ВО — воспринимающий орган; УО — усилитель-преобразователь; СО — сравнивающий орган.

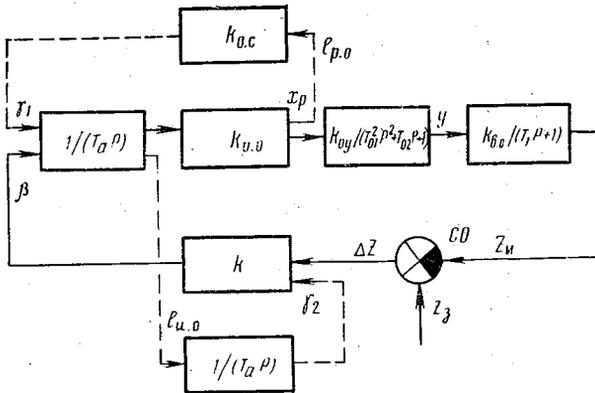


Рис. 6.11. Структурная алгоритмическая схема простейшей САР.

В качестве примера на простейшей функциональной структурной схеме САР (рис. 6.10) сплошными линиями показаны прямые связи по замкнутому контуру, а пунктирами — возможные варианты обратных связей.

Алгоритмическая структурная схема САР выражает сочетание представленных в прямоугольниках алгоритмических характеристик элементарных динамических звеньев системы, а также систему связей между ними с указанием величин, характеризующих эти связи (рис. 6.11).

Функциональная и алгоритмическая структуры САР не всегда идентичны. Некоторые функциональные звенья на структурной алгоритмической схеме опускаются, если они не изменяют значение передаваемого сигнала, а только преобразуют его по виду. Например, реле подает сигнал в виде «0» и «1» на регулирующий орган, но далее магнитный пускатель дублирует этот сигнал. На функциональной схеме представляются оба элемента, а на алгоритмической — только один из них. Таким же образом из некоторых функциональных звеньев может быть образовано несколько алгоритмических, если они представлены несколькими передаточными функциями. Последовательность расположения звеньев и элементов сравнения (суммирования), как и характер связей между ними, должна соответствовать последовательности движения сигнала в рассматриваемой системе.

Алгоритмическую схему САР используют для определения показателей устойчивости и точности регулирования. Для этого используют методы исследования линейных и нелинейных систем теории автоматического управления. Если эти расчетные показатели не удовлетворяют технологическим условиям, то в систему вводят соответствующие корректирующие элементы — дополнительные емкости или каналы перетока в объектах, устройства, увеличивающие или уменьшающие быстродействие регуляторов, и т. п.

## Раздел второй

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Мы знаем, как обеспечить основы коммунизма в земледелии, — это можно сделать ценой громадной технической эволюции\*.

В. И. ЛЕНИН

### Глава 7. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛЕВОДСТВЕ

#### 7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сельскохозяйственной техникой ежегодно обрабатываются около 215 млн. га только посевных площадей, почти половина которых занята под зерновыми культурами.

Производственный процесс в полеводстве представляет собой совокупность взаимосвязанных развивающихся технологических процессов, таких как предпосевная подготовка семян, обработка почвы, посев и уход за растениями, уборка урожая и его транспортирование, послеуборочная обработка и хранение продукции.

В свою очередь, любой технологический процесс представляет собой совокупность целенаправленных операций, выполняемых набором мобильных и стационарных машин и агрегатов.

Автоматизация технологических процессов предопределяет управление машинами и режимами их работы при минимальном участии человека. При создании автоматических систем управления необходимо проанализировать сам технологический процесс и совокупность машин как объектов автоматизации и выбрать наиболее оптимальный и эффективный вариант технологического процесса.

Переходу к автоматизации технологических процессов в полеводстве благоприятно способствуют, во-первых, внедрение промышленных индустриальных методов и поточной технологии возделывания, уборки и обработки урожая, во-вторых, широкое распространение в сельском хозяйстве достижений науки и передовой практики и, в-третьих, разработка и массовый выпуск широкого класса высоконадежных, с малым собственным потреблением энергии, малогабаритных и относительно дешевых электронных, гидравлических и пневматических элементов автоматики.

\* В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 42, с. 187.

С завершением комплексной механизации и электрификации технологических процессов, с укреплением материально-технической базы полеводства, с повышением уровня технической квалификации инженерных кадров села и с широким использованием новой микропроцессорной техники открываются широкие перспективы применения средств автоматики в полеводстве.

Средства автоматизации найдут самое широкое использование для замены труда человека по управлению технологическими процессами. Они будут точно устанавливать наиболее выгодную скорость движения агрегатов при изменяющейся нагрузке рабочих органов, выбирать режимы работы агрегатов, обеспечивающие наибольшую производительность при строгом соблюдении технологии и наименьшем расходе энергии, поддерживать требуемую глубину хода рабочих органов или высоту среза при различном рельефе местности и разных почвах, защищать рабочие органы и агрегаты от перегрузок и поломок, оповещать персонал об неисправностях и причинах их появления, выдавать информацию о качестве и количестве выработанной продукции и т. п.

В связи с тем что полеводство характеризуется многообразием технологических процессов и большим разнообразием типов машин (около 2 тыс.), выбор оптимального варианта автоматизации технологического процесса с учетом зональных особенностей растениеводства представляет иногда сложную задачу.)

К сожалению, до сих пор многие машины и агрегаты для полеводства заводы выпускают без учета возможности их автоматического управления, что в целом существенно сдерживает внедрение средств автоматизации в полеводство.

Автоматизировать мобильные агрегаты и осуществляемые ими технологические процессы значительно сложнее, чем стационарные. Работа на открытом воздухе при широко изменяющихся пределах температурно-влажностных параметров, запыленности и загазованности, при наличии вибраций и толчков, ограниченности массогабаритных показателей, а также относительно низкий уровень квалификации механизаторов по средствам автоматики существенно снижают надежность работы устройств автоматизации мобильной техники.

Однако переход на повышенные рабочие скорости и на увеличенную ширину захвата рабочими органами, непрерывное повышение мощности, сложности машин и их производительности, а также повышенные требования к точности управления технологическими операциями вызвали необходимость в разработке современных систем автоматического управления сельскохозяйственными агрегатами, используемыми в полеводстве.

Хотя для полеводства проблема автоматизации технологических процессов сложная и пока далеко не вполне решенная, тем не менее и здесь начинают широко применяться средства автоматики, в том числе: система датчиков и приборов для тракторов и сельскохозяйственных машин; система приборов инженерно-технического персонала для периодического контроля (диагностики)

технического состояния машин и их режимов работы; система приборов нормировщика для определения технико-экономических показателей машин; система приборов и средств технического обслуживания.

Одновременно ведутся работы и созданы технические средства для автоматического управления такими процессами, как:

управление технологическими процессами обработки и хранения сельскохозяйственной продукции;

автоматическое вождение тракторов и сельскохозяйственных машин;

регулирование глубины хода рабочих органов почвообрабатывающих, посевных, корне- и клубнеуборочных машин, а также высоты среза стеблей зерновых культур и кормовых трав;

корректировка направления движения рабочих органов сеялок, культиваторов и других машин при посеве, обработке и сборе урожая пропашных культур, садов и виноградников, при поливе и обработке ядохимикатами растений и т. п.

Наиболее широкое распространение получила автоматизация стационарных электрифицированных установок полеводства. Вследствие этого ниже более детально рассмотрены методы и схемы автоматического управления технологическими процессами послеуборочной обработки и хранения сельскохозяйственной продукции, а по мобильным сельскохозяйственным машинам изложены только основные принципы подхода к их автоматизации.

## 7.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗЕРНОПУНКТОВ КОЛХОЗОВ И СОВХОЗОВ

**Объем автоматизации.** В соответствии с принятой технологией весь урожай зерновых, бобовых, масличных культур и семян трав после комбайновой уборки подлежит очистке, а около 60% убранный урожай необходимо подвергать искусственной сушке.

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.

Для послеуборочной очистки и искусственной сушки зерна в колхозах и совхозах используют стационарные зерноочистительно-сушильные пункты.

Для этих пунктов промышленность выпускает зерноочистительные агрегаты типа ЗАВ и очистительно-сушильные комплексы типа КЭС производительностью от 10 до 100 т/ч и вентилируемые бункера вместимостью до 100 т.

Для очистки и сортирования зернового вороха используют ветрорешетные и триерные машины, а сушат зерно в зерносушилках

шахтного и барабанного типов и в установках активного вентилирования.

Каждый агрегат и комплекс, помимо указанных машин, содержит набор транспортеров и норий, зернопроводы и накопительные емкости, устройства для загрузки и разгрузки автотранспорта. воздушные циклоны, щиты и пульта управления машинами. Все машины согласованы по производительности и объединены в единую поточную линию, обслуживаемую одним-двумя операторами.

Объединение машин в поточную линию и их автоматизация позволили повысить производительность труда в 7...10 раз и снизить себестоимость обработки зерна в 2...3 раза по сравнению с использованием этих же машин в разрозненном виде.

Зерноочистительные агрегаты серии ЗАВ выпускаются производительностью на 10, 20, 40, 50, 100 т/ч и предназначены для районов с относительно сухим климатом, в которых влажность зерна из-под комбайна не превышает 18%.

Зерноочистительно-сушильные комплексы (КЗР-5, КЗС-10Ш, КЗС-20Ш, КЗС-40Ш, КЗС-50, КЗС-10Б и КЗС-20Б) используются в увлажненных зонах, в которых влажность зерна при уборке превышает 18%.

В хозяйствах, расположенных в зонах с уборочной влажностью зерна 18...20%, на комплексе устанавливают бункера активного вентилирования (БВ-12,5, БВ-25, БВ-50).

В зонах с избыточной влажностью на 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 СЗШБ производительностью 2, 4 и 8 т/ч на сушке продовольственного зерна.

Для слаженной работы поточных линий агрегаты и комплексы хорошо электрифицированы и автоматизированы. Агрегаты типа ЗАВ имеют от 6 до 16 электродвигателей суммарной установленной мощностью от 16 до 47 кВт, а комплексы типа КЗС — от 22 до 34 электродвигателей суммарной мощностью от 65 до 150 кВт.

Из средств автоматики на агрегатах и комплексах широко используются приборы контроля и регулирования технологических параметров: датчики уровня сыпучих материалов, датчики температуры нагрева теплоносителя на входе и выходе зерносушилки и температуры зерна в сушилках и бункерах активного вентилирования, влагомеры для измерения относительной влажности воздуха и влажности зерна, расходомеры зерна, приборы контроля пламени в топке, различные реле, электромагнитные клапаны, конечные выключатели и т. п.

На основе этих средств разработаны пульта и станции автоматического управления агрегатами и комплексами послеуборочной обработки зерна, которые автоматически обеспечивают: последовательность пуска машин поточной линии в направлении, обратном направлению потока зерна, начиная с машины, установленной в конце линии;

остановку всех машин, предшествующих по потоку зерна любой остановившейся машине поточной линии;

возможность ручного включения и отключения любой машины при наладке без соблюдения технологических блокировок;

включение аспирационной системы перед пуском машин и отключение всех машин при останове аспирационной системы;

программный розжиг топки и контроль ее работы;

контроль температуры теплоносителя и нагрева зерна;

защиту электрооборудования от токов короткого замыкания и перегрузок;

работу разгрузочных устройств шахт и охлаждающих колонок сушилки;

световую сигнализацию о включении и отключении всех двигателей машин и механизмов, о предельных уровнях зерна в сушилках и технологических емкостях и об отклонении температуры теплоносителя от заданного значения.

Кроме световой, имеется аварийно-предупредительная звуковая сигнализация, которая срабатывает при аварийном останове какой-либо машины, при переполнении технологических емкостей, а также при погасании пламени в топке.

В схемах автоматики предусмотрены кнопочные посты для аварийного одновременного останова всех работающих машин в случае необходимости.

Технологические и электрические схемы автоматизации зернопункта рассмотрим на примере автоматизации наиболее широко распространенного зерноочистительно-сушильного комплекса КЗС-20Ш. Автоматизация других агрегатов и комплексов выполнена аналогично.

**Автоматизация комплекса КЗС-20Ш.** Комплекс КЗС-20Ш предназначен для послеуборочной обработки зерновых, зернобобовых и крупяных культур. Комплекс состоит из зерноочистительного и сушильного отделений (рис. 7.1). Зерноочистительное отделение включает завальную яму 17, автомобилеподъемник 16, загрузочную двухпоточную норию 5, машину предварительной первичной очистки 6, воздушно-решетные машины 4, триерный блок 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 машины и пульты управления смонтированы на блоке бункеров, которые одновременно являются их несущей конструкцией и емкостями для промежуточного хранения обрабатываемого зерна.

Сушильное отделение имеет сушилку СЗШ-16 с двумя шахтами 10, 12, пять норий 7, 9, 11, 13, 15, охлаждающие колонки 8, 14 и станцию управления. Очистительное и сушильное отделения технологически связаны между собой зернопроводами.

Технологией и электрической схемой управления предусматривается возможность работы комплекса по семи различным вариантам: параллельно или последовательно, с участием в работе всех

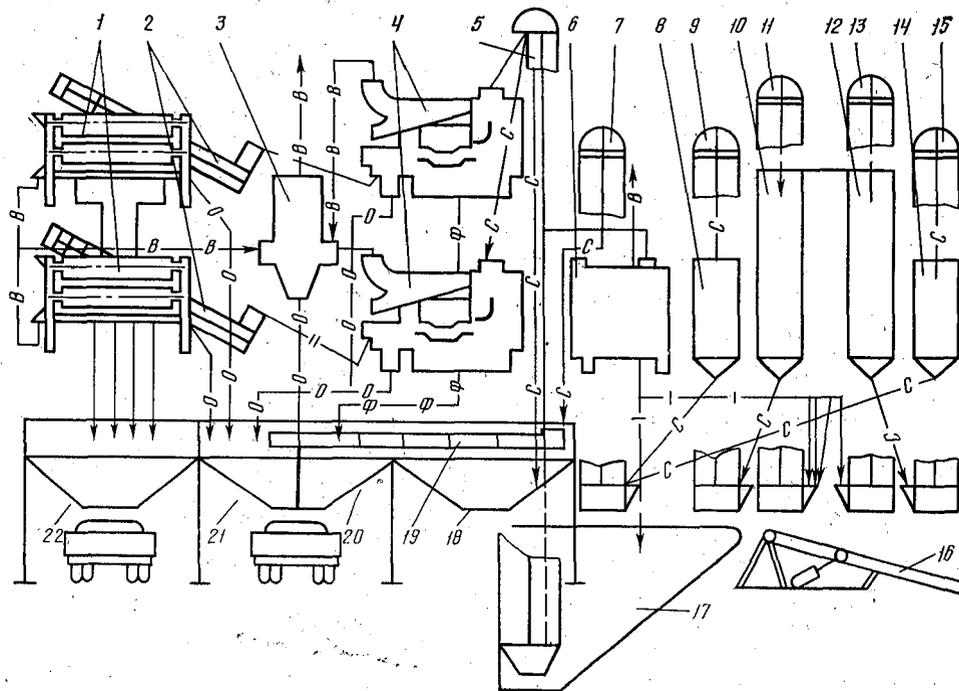


Рис. 7.1. Технологическая схема комплекса КЗС-20Ш:

— чистое зерно; — | — зерно после вторичной очистки; — | — зерно после первичной очистки; - - - - необработанное зерно; -ф- фураж; -в- воздух; — | — распределитель зерна; -о- отходы; -с- сухое зерно.

или отдельных машин. Зерно из кузова автомобиля с помощью автомобилеподъемника 16 выгружают в завальную яму 17, откуда загрузочной норией 5 оно транспортируется в машину предварительной очистки 6, а затем нориями 11 и 13 в шахты сушилки 10 и 12. Из сушилки высушенное зерно подается с помощью норий 9 и 15 в охладительные колонки 8 и 14 для охлаждения наружным воздухом, а затем норией 7 направляются на ветрорешетные машины 4 для дальнейшей очистки и транспортерами 2 на триерные блоки 1 для сортирования.

Очищенные семена и отходы поступают в соответствующие секции блока бункеров (рис. 7.1). Зерносушилка СЗШ-16 имеет две шахты. При влажности зерна до 20% поток зерна разделяется и одновременно проходит через обе шахты. При влажности свыше 20% весь поток проходит обе шахты последовательно. При параллельной работе шахт зерно нориями 11 и 13 равномерно и одновременно распределяется по двум шахтам. Высушенное и охлажденное зерно норией 7 подается в резервный бункер 18, откуда самоотком поступает во вторую ветвь загрузочной нории 5.

При последовательной работе шахт зерно из машины предварительной первичной очистки 6 норией 13 направляется в правую шахту 12. Просушенное зерно разгрузочной кареткой выгружается в норию 15 и перемещается в охладительную колонку 14. Охлажденное зерно шлюзовым затвором выгружается из колонки 14 и направляется норией 11 во вторую шахту 10 сушилки. После сушки во второй шахте зерно норией 9 подается в охладительную колонку 8, откуда через шлюзовой затвор порционно выгружается норией 7 в резервный бункер 18, а затем загрузочной норией 5 подается на очистку.

В воздушных каналах от зерна отделяются легкие примеси и по системе воздухопроводов выносятся в осадочную камеру централизованной аспирационной системы 3, где примеси выводятся в секцию отходов, а очищенный воздух вентилятором выбрасывается наружу.

В ветрорешетных машинах зерновая смесь делится на три фракции: очищенные семена, фуражное зерно и отходы. Очищенные семена передаточными транспортерами 2 подаются на триерные блоки 1, где они дополнительно очищаются от длинных и коротких примесей, не отделившихся в ветрорешетных 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 направляются в соответствующие бункера.

Принципиальная электрическая схема управления очистительным отделением комплекса КЗС-20Ш показана на рисунке 7.2. В зависимости от количества и засоренности зерновой массы устанавливают соответствующее положение переключателей SA1 и SA2, которыми задается режим работы оборудования по семи различным вариантам: при переводе переключателя SA1 в положение 3 возможна работа всех машин предварительной, воздуш-

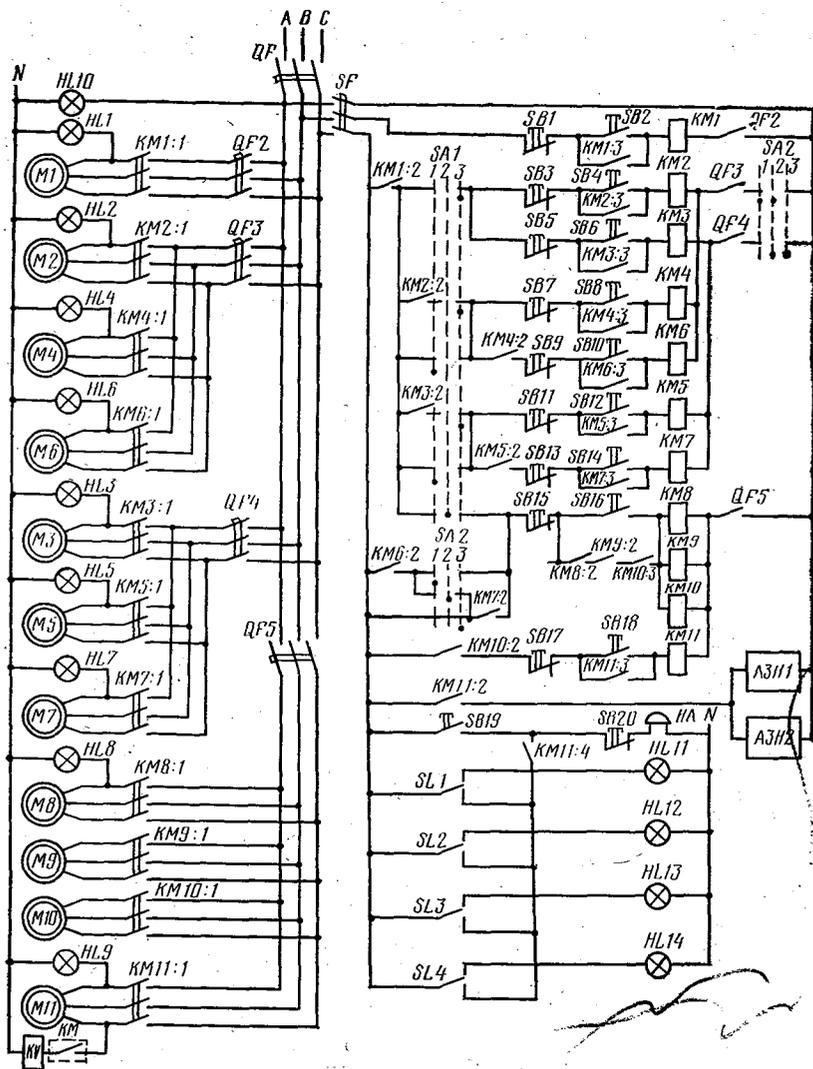


Рис. 7.2. Принципиальная электрическая схема дистанционного управления и сигнализации очистительно-сушильного комплекса КЗС-20Ш.

по-решетной и триерной очистки, а также отдельная работа первой или второй линии машин 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 останове 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  $QF...QF5$ , 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  $SB2$  включают в работу электропривод  $M1$  (14 кВт) централизованной аспирационной системы 3 (рис. 7.1 и 7.2). После этого кнопками  $SB4$  и  $SB6$  включают электроприводы  $M2$  и  $M3$  мощностью по 2,2 кВт, двух блоков триеров 1. Передаточные транспортеры 2 и воздушно-решетные машины 4 работают от электроприводов соответственно  $M4$ ,  $M5$  (по 1,5 кВт) и  $M6$ ,  $M7$  (по 1,1 кВт). Их включают кнопками  $SB8$ ,  $SB12$  и  $SB10$ ,  $SB14$  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 7,  $M9$  (1,1 кВт) машины предварительной очистки 6 и  $M10$  (1,5 кВт) транспортера отходов 19, а затем кнопкой  $SB18$  — электропривод  $M11$  (4 кВт) загрузочной нории 5. Автоматы заслонки нории  $A3H1$  и  $A3H2$  открываются автоматически от блок-контактов  $KM11:2$ .

Останавливают машины в обратной последовательности, нажимая кнопки «Стоп»  $SB17...SB1$ .

В случае переполнения бункеров 18, 20, 21 и 22 переключаются контакты датчиков уровня  $SL1...SL4$  и включается звуковой сигнал  $HA$ , а соответствующая сигнальная лампа  $HL11...HL14$  гаснет.

### 7.3. ОПТИМИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТИТЕЛЬНЫМИ И СОРТИРОВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ

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 позволит повысить производительность машин на 20...25%, снизить простои машин в 4...5 раз, в 2...3 раза уменьшить затраты труда и обеспечить заданное качество обработанного зерна. Этого можно достичь лишь при применении совокупности автоматических устройств, объединенных в оптимальную систему автоматизированного управления технологическими процессами всего послеуборочного комплекса.

Цель оптимизации автоматического управления зерноочистительной машиной состоит в получении максимальной производительности  $q_k$  при заданном значении чистоты  $\psi_k$  обработанного зерна.

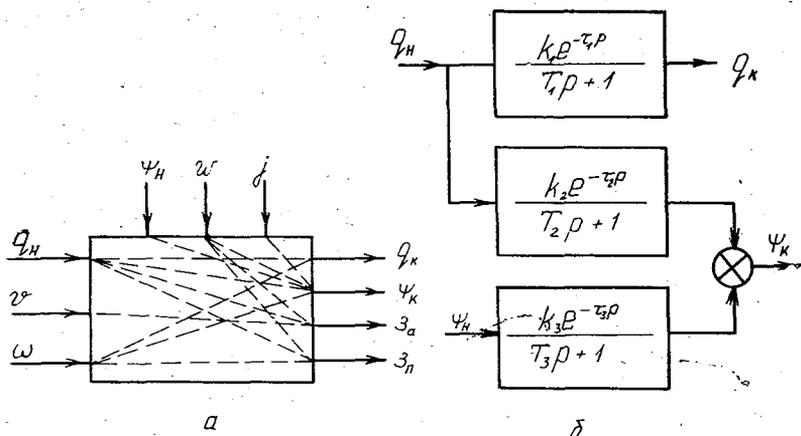


Рис. 7.3. Модель (а) и структурная схема (б) зерноочистительной машины как объекта автоматического управления.

На рисунке 7.3, а зерноочистительная воздушно-решетчатая машина представлена как объект автоматического управления. Качество работы машины определяют по следующим контролируемым и управляемым параметрам: производности машин по чистому зерну  $q_k$ , чистоте выходящего зерна  $\psi_k$ , содержанию зерна в отходах аспирации  $z_a$  и содержанию зерна в крупных примесях  $z_n$ . Управляющими входными воздействиями являются: подача зерна в машину  $q_n$ , скорость воздушного потока в каналах аспирации  $v$  и частота колебания решета  $\omega$ . Чистота  $\psi_n$ , влажность  $w$  и натуральный вес  $j$  поступающего зерна представляют собой возмущающие воздействия.

Поскольку чистота  $\psi_k$  зерна в основном зависит от подачи зерна  $q_n$  и чистоты поступающего в машину зерна  $\psi_n$ , 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. 7.3, б).

Постоянные времени  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$  и времени чистого запаздывания  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  и  $\tau_3$  близки между собой. Для ветрорешетчатых машин вторичной очистки комплекса КЗС они примерно равны  $\tau_1 \approx \tau_2 \approx \tau_3 = 40 \dots 60$  с;  $T_1 \approx T_2 \approx T_3 = 30 \dots 50$  с. Коэффициенты усиления  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k_3$  зависят от настройки машины и внешних возмущающих воздействий.

Для получения хорошей чистоты 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  $\psi_k$  для блока подсевных решет; САУ содержанием зерна  $Z_a$  в отходах каждого канала аспирации и САУ содержанием зерна  $Z_n$  для блока решет, отделяющего крупные примеси. В настоящее время наиболее сложным и практически нерешенным в техническом отношении являются датчики чистоты сортировки, а также датчики содержания зерна в каналах аспирации и в крупных примесях.

#### 7.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗЕРНОСУШИЛОК

В сельском хозяйстве нашей страны используются шахтные и барабанные зерносушилки. Они являются наиболее ответственными объектами автоматизации зерноочистительно-сушильного комплекса и составляют 85% всех контролируемых и управляемых операций на комплексе.

Зерновые стационарные сушилки СЗШ-8 и СЗШ-16 (рис. 7.4) имеют две сушильные камеры, два надсушильных бункера 6, две загрузочные нории 7 влажного зерна, две нории сухого зерна 8, разгрузочные устройства 3, две охлаждающие колонки 9 со шлюзовыми затворами. Теплоноситель из топки 2 по трубопроводу 1 подается в сушильные камеры 4 и 5. Пространство между шахтами используется в качестве диффузора 12, к которому к центральной части снизу подводится теплоноситель, а с боковых сторон отводится с помощью вентиляторов 13 отработанный теплоноситель. Внутри камеры размещены пятигранные коробки 11, с одной стороны каждый короб упирается в глухую стенку, с другой — имеет открытое окно.

Теплоноситель из топки поступает в открытые окна через подводящий диффузор, из них проникает в зерновой слой и погло-

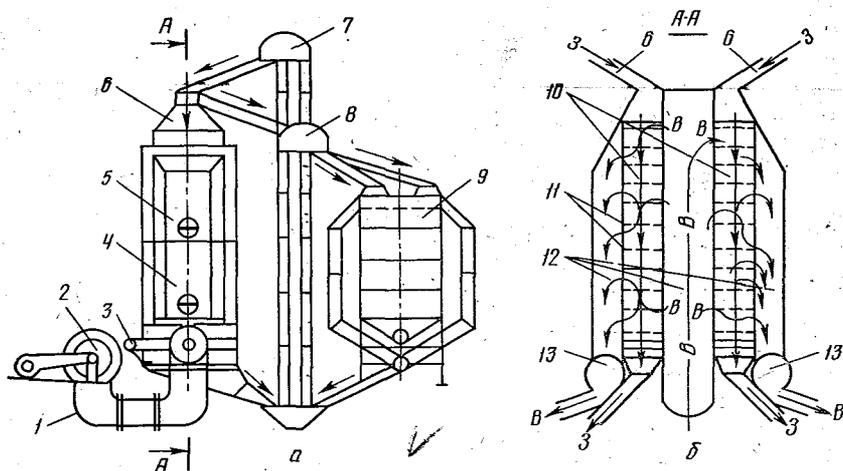


Рис. 7.4. Технологическая схема зерносушилки СЗШ-16 (а) и ее разрез (б):  
 -в- — воздух-теплоноситель; -з- — зерно.

щает влагу, а затем отводится через другой ряд коробов в отводящие диффузоры и вентиляторами 13 выбрасывается наружу.

Влажное зерно после первичной очистки подается в засыпные ковши норий 7, которые поднимают его и через надсушильные бункера 6 заполняют шахты 10 сушилки. Необходимый уровень зерна в сушилке контролируется датчиками минимального и максимального уровня, которые установлены в надсушильных бункерах 6. Датчики уровня управляют работой порционного разгрузочного устройства: при достижении минимального уровня останавливается электродвигатель разгрузочных кареток, при достижении максимального уровня электродвигатель разгрузочных кареток включается снова. Излишек зерна из надсушильного бункера 6 по зерносливам возвращается в завальную яму.

В нижней части шахт в патрубках установлены датчики температуры для дистанционного измерения температуры нагрева зерна в потоке.

Высушенное зерно нориями 8 поднимается и сбрасывается в лотковые расходомеры, откуда попадает в охлаждающие колонки 9. Охладительные колонки выполнены из двух коаксиально расположенных цилиндров. К малому внутреннему цилиндру сверху присоединен всасывающий патрубок вентилятора, при помощи которого отводится отработанный воздух. Зерно располагается между перфорированными стенками внутреннего и внешнего цилиндров и охлаждается благодаря просасыванию воздуха через его слой.

Нижняя часть колонки заканчивается конусом, под которым расположен шлюзовой затвор для периодической порционной разгрузки колонки.

Исполнительный механизм шлюзового затвора управляется от датчиков уровня зерна, контролирующих верхний и нижний допустимый уровень зерна в верхней части колонки. При максимальном уровне зерна шлюзовой затвор открывается, при минимальном — закрывается. Охлажденное зерно подается норией на дальнейшую очистку.

Технологическая схема топки для зерносушилки СЗШ-8 показана на рисунке 7.5.

Система подачи топлива состоит из топливного бака 18, насоса 17, манометра 1, сливного крана 15, дросселя 20, золотника 19, форсунки 4, газодувки 11 и трубопроводов 16 подачи топлива.

Камера сгорания 7 топки имеет экран 5 и кожух 6 из углеродистой стали. В передней части смесительной камеры 9 («улитки») установлен предохранительный клапан 10, предохраняющий топку от взрыва при внезапном воспламенении паров топлива.

Жидкое топливо к форсунке 4 поступает с помощью шестеренного насоса 17. Дистанционное управление подачей топлива осуществляют посредством золотника 19, а давление впрыска устанавливают дросселем 20. Воздух, необходимый для сгорания топлива, подается к форсунке ротационной газодувкой 11 через краны 12 и 13. Дутьевой вентилятор 14 подает воздух в топку до 9 тыс. м<sup>3</sup>/ч.

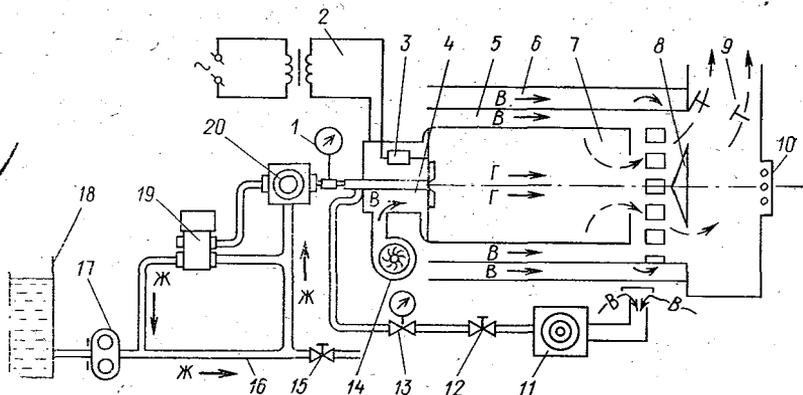


Рис. 7.5. Технологическая схема топки зерносушилки СЗШ-8:  
 -жс- жидкое топливо; -г- топочные газы; -в- воздух; -т- теплоноситель.

При пуске топки включают электродвигатели вентиляторов топки и топливный насос 17. С помощью трансформатора 2 и высоковольтной свечи зажигания 3 воспламеняется пламя в топке, наличие которого контролируется специальным фотодатчиком. Если топливо не воспламеняется, то через 15 с привод вентилятора топки и топливного насоса отключается.

При работе топки в смесительную камеру 9 поступают топочные газы, а по кольцевым зазорам между стенками камеры сгорания, экраном 5 и кожухом 6 — наружный воздух. Для лучшего смешивания газов с воздухом установлен отражатель 8.

Барabanные зерносушилки СЗШБ-2, СЗШБ-4 и СЗШБ-8 производительностью соответственно 2, 4 и 8 т/ч используют для сушки продовольственного зерна, семян трав, а также для приготовления белково-витаминной травяной муки. Рассмотрим технологическую схему (рис. 7.6) зерносушилок СЗШБ-8, которыми комплектуются комплексы послеуборочной обработки зерна типа КЗС-20Б. Она включает топку 1, загрузочную камеру 3, сушильный барабан 4 с подъемными лопатками 5, разгрузочную камеру 7, элеватор 9, охлаждающую колонку 10 со шнеком 12. Привод механизма сушильного барабана осуществляется электродвигателем мощностью 7,5 кВт через двухступенчатый редуктор и приводные ремни. Зерно в сушильный барабан должно поступать равномерным и непрерывным потоком. Зерно в барабан подается по винтовым дорожкам, лишнее зерно пересыпается через подпорное кольцо загрузочной камеры и направляется через клапан-мигалку 13 в приемный бункер.

Под воздействием теплоносителя и лопаток 5 зерно перемещается вдоль барабана и высыпается в разгрузочную камеру 7. Из камеры 7 зерно через шлюзовую затвор 8 направляется элеватором 9 в охлаждающую колонку 10. В охлаждающей колонке зерно перемещается сверху вниз и при помощи вентилятора 11

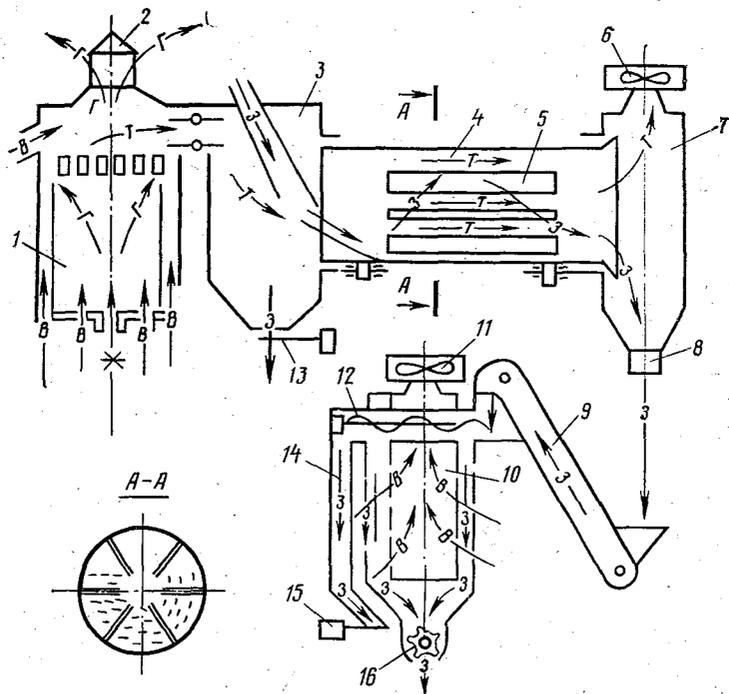


Рис. 7.6. Технологическая схема зерносушилки СЗСБ-8:

-з — зерно; -жс — жидкое топливо; -г — топочные газы; -в — воздух;  
-т — теплоноситель.

продувается наружным воздухом и охлаждается. В верхней части колонки расположен горизонтальный шнек 12 для подачи и разравнивания зерна. Излишнее зерно при загрузке колонки падает в зернослив 14, на конце которого закреплен клапан 15 с контактным датчиком. От контактного датчика и датчика верхнего уровня зерна включается шлюзовый затвор 16, который выпускает порцию зерна. Выпуск зерна прекращается в момент срабатывания датчика минимального уровня, установленного в верхней части охлаждающей колонки.

Теплоноситель готовят в топке 1 путем сжигания жидкого топлива (керосин или смесь 75% керосина и 25% моторного топлива) и нагрева топочными газами воздуха, подаваемого в топку. Побочные газы удаляются через трубу 2, обработанный теплоноситель выбрасывается в атмосферу вентилятором 6.

Принципиальная электрическая схема управления двумя зерносушилками СЗБ-8, входящими в комплект КЭС-20Б, показана на рисунке 7.7. Она состоит из цепей дистанционного пуска и останова агрегатов, управления топкой, световой и звуковой сигнализации.

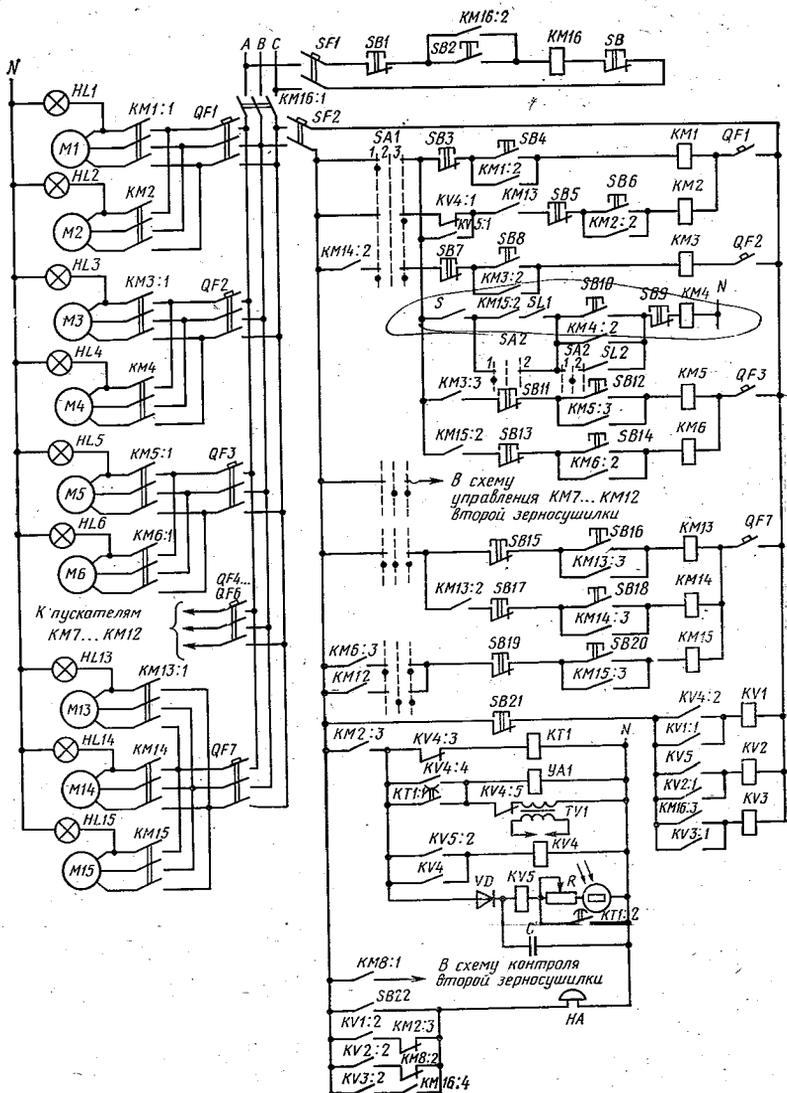


Рис. 7.7. Принципиальная электрическая схема управления барабанными зерносушилками СЗБ-8.

Автоматами  $QF1$  и  $QF2$  и переключателем  $SA1$  выбирают заданный вариант работы оборудования: работа только первой или второй зерносушиллки или их совместная работа (положение переключателя  $SA1$  будет соответственно в 1, 2 или 3).

Перед пуском зерносушиллки включают автоматы  $SF1$  и  $SF2$ , подающие напряжение в схему управления, и кнопкой  $SB2$  включают магнитный пускатель  $KM16$ .

Блок-контакты *KM16:3* через реле *KV3* включают предупредительный звуковой сигнал *НА*, который после пуска агрегатов снимают кнопкой *SB21* через реле *KV1...KV3*.

Рассмотрим работу схемы (7.7 и 7.6) при пуске первой зерносушилки. Кнопками *SB4* и *SB6* включаются электроприводы *M1* (10 кВт) вентилятора 6 сушильного барабана 4 и *M2* (4 кВт) топки 1. От блок-контактов *KM2:3* срабатывает реле выдержки времени *KT1*, которое через 150 с своим контактом *KT1:1* включает трансформатор зажигания *TV1* и электромагнитный клапан *УА1* подачи топлива. При появлении пламени в топке срабатывает фотореле *KV5*, которое включает реле *KV4*.

Последнее становится на самоподпитку через свой контакт *KV4* и отключает реле *KT1*.

Если в течение 15 с в топке пламя при пуске не возникает, то реле *KT1* на 165 с с момента пуска шунтирует цепь *R* и этим вызывает срабатывание реле *KV5*, а затем реле *KV4*. Реле *KV4* одним контактом отключает реле времени *KT1*, а вторым контактом разрывает одну из двух цепей питания магнитного пускателя *KM2*. Реле *KT1*, расшунтируя цепь *R*, отключает фотореле *KV5*, а последнее разрывает цепь питания *KV4*, а затем *KM2*, и вентилятор топки выключается. Блок-контакты *KM2:3* снимают напряжение с автомата контроля пламени и включают через контакты реле *KV1:2* звуковой сигнал *НА*. Аналогичным образом действует схема при погасании пламени в топке по любым причинам. Повторный пуск оператором возможен только после устранения причин погасания пламени.

При успешном пуске топки кнопками *SB12* и *SB14* включают магнитные пускатели *KM5* и *KM6* электродвигателей *M5* (7,5 кВт) сушильного барабана 4 и *M6* (5,5 кВт) вентилятора 11 охлаждающей колонки 10.

Магнитные пускатели *KM13...KM15* с помощью кнопок *SB16...SB20* включают соответственно электроприводы двухпоточных норий: *M13* — охлаждающих колонок, *M14* — разгрузки сушилок и *M15* — промежуточных норий. Мощность каждого электродвигателя нории равна 2,2 кВт.

Только после включения разгрузочной нории сушилок можно включить кнопкой *SB8* электропривод *M3* разгрузочного устройства 8 сушилки.

Аналогичным образом включаются и отключаются электродвигатели *M7...M12* второй зерносушилки.

Электроприводом *M4* разгрузочного устройства 16 охлаждающей колонки 10 можно управлять вручную при помощи кнопок *SB9* и *SB10* или автоматически при помощи датчиков уровня зерна (переключатель *SA2* во втором случае ставят в положение 2).

Величины нижнего и верхнего уровней зерна в охлаждающей колонке контролируются датчиками уровня *SL1* и *SL2*. Если уровень зерна достигнет предельного нижнего значения, то размыкаются контакты *SL1* и разгрузка охлаждающей колонки прекращается. Когда зерно достигает предельного верхнего уровня, то

замыкаются контакты вначале  $SL1$ , а затем  $SL2$ , и начинается разгрузка колонки.

Останавливает зерносушилку оператор, поочередно отключая оборудование в последовательности, обратной пуску, при помощи кнопок «Стоп»  $SB19...SB1$ . В экстренных случаях одновременно все машины останавливают кнопкой  $SB$  или  $SBI$ .

### 7.5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АКТИВНОГО ВЕНТИЛИРОВАНИЯ ЗЕРНА

Активное вентилирование — продувание массы зерна холодным или подогретым воздухом — наиболее эффективный прием временного хранения (консервирования) влажного 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, 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 ч через 4...6 ч.

Для активного вентилирования зерна атмосферным воздухом в колхозах и совхозах используют вентилируемые бункера БВ-6; БВ-12,5; БВ-25, БВ-50 и вентилируемый бункер К-878 фирмы «Петкус» (ГДР). Вентилируемый бункер имеет цилиндрическую форму и выполнен из штампованных перфорированных секций. Внутри бункера находится воздухораспределительная труба (рис. 7.8). Несколько бункеров объединяют в группы. Зерно засыпают между внутренним и внешним цилиндрами.

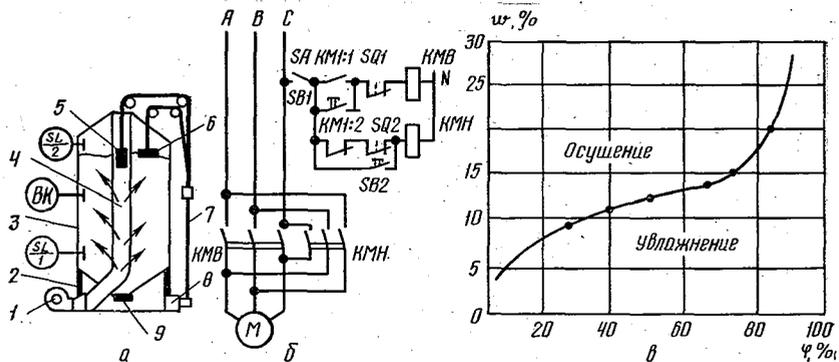


Рис. 7.8. Схемы бункера активного вентилирования (а), управления поршнем-заглушкой (б) и зависимость равновесной влажности зерна от относительной влажности воздуха (в).

В основе сушки вентилированием лежит зависимость так называемой равновесной влажности зерна  $w$  от относительной влажности воздуха  $\phi$  (рис. 7.8, в).

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 подогревают, на каждый  $1^\circ$  нагрева воздуха его относительная влажность снижается примерно на 5%. Обычно воздух при сушке подогревают на  $10...12^\circ$ .

Автоматизация бункеров активного вентилирования зерна предусматривает автоматическое управление загрузкой бункеров, воздухораспределением в бункере, температурой и влажностью зерна и продуваемого воздуха.

Нория загружает зерно в бункер 3, в котором происходит вертикальное и радиальное воздухораспределение (рис. 7.8, а). В центре бункера установлена перфорированная воздухораспределительная труба 4, а внутри нее от электропривода 8 перемещается поршень-заглушка 5. Разгружается бункер самотеком через люк 9.

Вентилятор 1 прогоняет воздух через электрокалорифер 2 и подает его в массу зерна.

Автоматическая система управления воздухораспределением (рис. 7.8, б) воздействует на электропривод  $M$ , который устанавливает поршень-заглушку в требуемое положение следующим образом. Сигнал на перемещение поршня-заглушки подается от блок-контактов  $KM1:1$  при пуске загрузочной нории. Блок-контакты  $KM1:1$  подают питание на катушку  $KMB$  и двигатель  $M$ , и тот передвигает поршень вверх, пока не разомкнутся контакты конечного выключателя  $SQ1$ . Окончание загрузки и отключение нории вызывает замыкание блок-контакта  $KM1:2$  в цепи включения катушки  $KMH$  реверсивного пускателя привода заглушки. Теперь заглушка опускается до тех пор, пока датчик 6 положения не коснется зерна и, разомкнув свои контакты  $SQ2$ , не отключит катушку  $KMH$ . При помощи кнопок  $SB1$  и  $SB2$  можно дистанционно управлять электроприводом 8 и связанной с ним тросом 7 заглушкой.

Схема управления загрузкой, температурой и влажностью зерна бункеров активного вентилирования показана на рисунке 7.9. Переключатели  $SA1$  и  $SA2$  могут быть установлены в два положения:  $C$  — сушка и  $K$  — консервация при ручном  $P$  и автоматическом  $A$  управлении. Датчики уровня  $SL1$  и  $SL2$  контролируют верхний и нижний уровень зерна в бункере. Норию загрузки пускают кнопкой  $SB2$ , в результате чего магнитный пускатель  $KM1$  подает питание на электропривод  $M1$ .

Когда уровень зерна в бункере достигает максимального значения, размыкается контакт  $SL1$ , из цепи тока выводится пускатель  $KM1$ , который своими блок-контактами  $KM1:3$  включает реле времени  $KT$  и магнитный пускатель  $KM2$  электропривода  $M2$  вен-

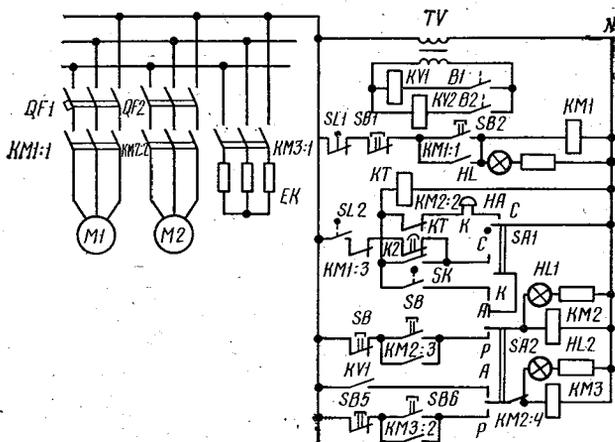


Рис. 7.9. Электрическая схема бункера активного вентилирования зерна.

тилятора (переключатели *SA1* и *SA2* находятся в положениях соответственно *C* и *A*).

Влажность воздуха на входе в слой зерна и выходе из него контролируют влагомерами с контактными датчиками *B1* и *B2*, которые замыкаются при повышенной относительной влажности воздуха соответственно на входе и выходе бункера. Если влажность зерна повышенная, то выносимая воздухом влага замыкает контакты *B2*, в результате чего срабатывает реле *KV2*, которое контактами *K2* включает пускатель *KM2* электропривода вентилятора. Процесс сушки продолжается независимо от положения контактов *KT* до тех пор, пока до установленного значения не снизится вынос влаги из зерна. Тогда размыкаются контакты *B2*, отключается реле *KV2*, и лишается питания пускатель *KM2* электропривода *M2* вентилятора 1. Одновременно размыкающие контакты *KM2:2* включают звонок *HA*, сигнализирующий об окончании процесса сушки.

Если при включении вентилятора *M2* влажность воздуха на выходе ниже равновесной, то выноса влаги не будет. В этом случае вентилятор *M2* отключается контактами реле времени *KT* с выдержкой времени, достаточной для выноса влаги из зерна к датчику *B2*.

Электронагревательные элементы *EK* калорифера включаются только при работающем вентиляторе, когда высока влажность воздуха на входе в зерно. В этом случае замыкаются контакты *B1* влагомера, и реле *KV1* включает магнитный пускатель *KM3* калорифера. Отключается калорифер автоматически в результате размыкания контактов *B1* при снижении влажности окружающего воздуха.

Чтобы задать режим консервации (хранения) зерна, переключатель *SA1* ставят в положение *K*. В этом случае управление ведется по температуре зерна, которая контролируется датчиком температуры *SK*. Если температура зерна достигнет максимально допустимого значения, замыкаются контакты *SK*, и магнитный пускатель *KM2* включает вентилятор. При этом, чтобы снизить (до 65%) относительную влажность воздуха, его пропускают через электрокалорифер. Вручную оборудованием бункера управляют кнопками *SB1...SB6*, предварительно установив в положение *P* переключатель *SA2*.

## 7.6. ХАРАКТЕРИСТИКА ЗЕРНОСУШИЛОК КАК ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ

**Режимы сушки.** Зерноочистительные и сушильные пункты имеют неполную автоматизацию технологических процессов. Рассмотренные схемы автоматизации зерноочистительно-сушильных комплексов обеспечивают дистанционное управление (пуск и останов) и автоблокировку в поточных линиях, защиту от аварийных и ненормальных режимов работы установок и предупредительную сигнализацию, контроль температуры теплоносителя и зерна, измерение предельных значений уровня в емкостях и влажности зерна на входе и выходе сушилки, а также регулирование температуры теплоносителя на входе в сушилку.

Для получения продовольственного и семенного зерна высокого качества параметры процесса сушки необходимо выбирать с учетом ряда факторов как биофизических свойств зерна (вида и типа зерновой культуры, начальной его влажности и температуры), так и технологических показателей процесса сушки (начальной и конечной температуры и влажности теплоносителя, загрузки и экспозиции сушки зерна в сушилке и др.).

Только с учетом указанных факторов можно обеспечить оптимальное автоматическое управление процессом сушки зерна по температуре и влажности. Как показывает практика, при ручном управлении процессом сушки температура теплоносителя (агента сушки) колеблется в пределах от 15 до 20°C, температура нагрева зерна — в пределах от 5 до 7°C, а влажность зерна — в пределах от 6 до 8% средних значений. Из-за инерционности изменения параметров управления оператор не в состоянии стабилизировать управляемые параметры на заданных уровнях, что вызывает нарушение хода процесса сушки, а производительность поточных линий не превышает 70% номинальной. Например, при заниженной температуре теплоносителя производительность сушилки резко падает и увеличиваются удельные затраты энергии на сушку. При повышенной температуре клейковина (белки) зерна подвергается денатурации, что приводит к ухудшению качества продовольственного и особенно семенного зерна. В связи с этим семенное зерно сушат при более низкой температуре, чем продовольственное (табл. 7.1).

### 7.1. Максимально допустимые температурные режимы сушки зерна

Наименование культуры	Влажность зерна до сушки, %	Температура (°C)* при сушке зерна	
		продовольственного	семенного
Пшеница	До 20	140/55	70/40
	Свыше 20	120/55	65/40
Рожь, ячмень, пядь, подсолнечное семя	Независимо от влажности	150/55	65/40
Овес	То же	140/50	65/40
Просо	»	80/40	(50...60)/40
Рис	»	70/35	60/35
Кукуруза	До 18	150/50	60/40
	Свыше 23	150/50	50/40
Горох, вика	До 18	70/30	60/40

\* В числителе — температура теплоносителя, в знаменателе — температура зерна.

Отклонение температуры теплоносителя от установленного режима должно быть не более  $\pm 5^\circ$ , съём влаги за один проход через зерносушилку не должен превышать 6% для злаковых и 3...4% для бобовых культур, а также для кукурузы, риса, проса и гречихи. Температура зерна, вышедшего из охладительных колонок, не должна превышать температуру наружного воздуха более чем на 10...15°.

Математическая модель зерносушилок в значительной степени облегчает определение управляющих и управляемых величин, учет влияний возмущающих воздействий и выбор структуры и типа регулятора.

Поскольку температура нагрева  $\theta$  и влажность  $\omega$  зерна на выходе из зерносушилки зависят от температуры  $\theta_t$ , расхода  $L$ , относительной влажности  $\phi$  подаваемого в сушилку теплоносителя, начальной температуры  $\theta_{т0}$ , исходной влажности  $\omega_0$  зерна, скорости  $v$  движения и времени  $t$  пребывания зерна в сушильной камере, а также от конструктивных параметров  $K$  сушилки

$$\theta, \omega = \psi(\theta_t, L, \phi, \theta_{т0}, \omega_0, v, t, K), \quad (7.1)$$

то для определения взаимосвязей между ними необходимо исследовать математическую модель сушильной камеры.

Аналитически определить взаимосвязи 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. Такие исследования проведены в Ленинградском сельскохозяйственном институте.

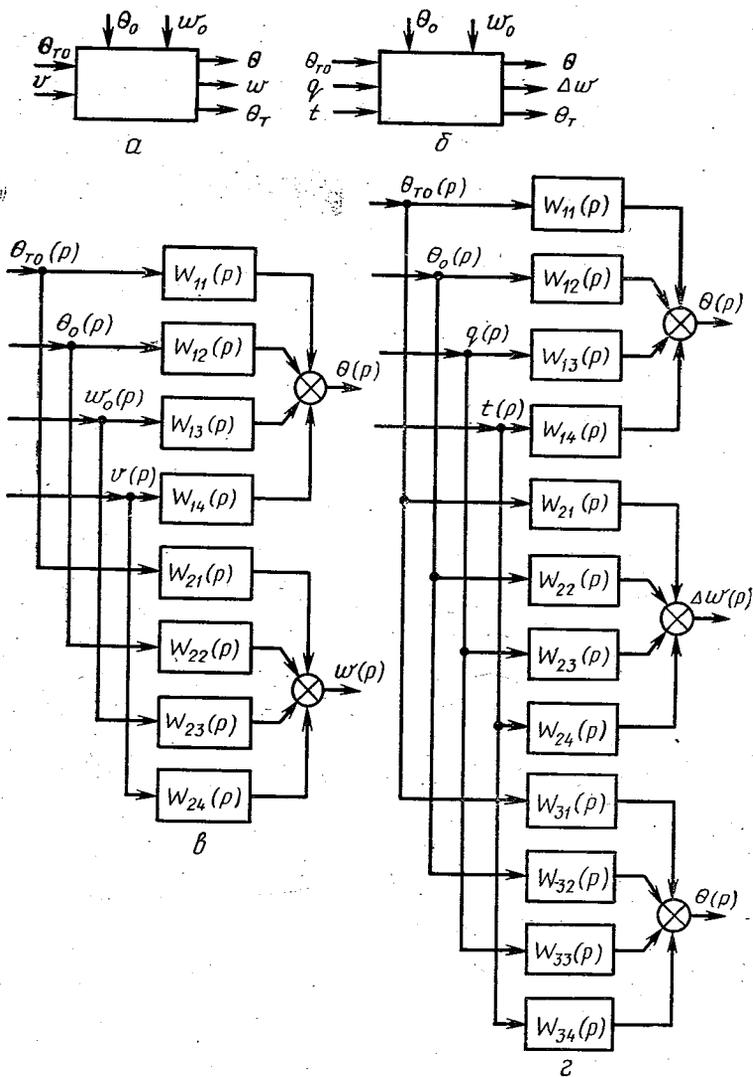


Рис. 7.10. Математические модели для шахтной (а, в) и барабанной (б, г) зерносушилок как объектов управления температурой и влажностью.

Экспериментальные исследования показали, что наиболее сильная корреляционная связь в шахтных сушилках наблюдается между начальной  $w_0$  и конечной  $w$  влажностью зерна, скоростью движения  $v$  и конечной влажностью  $w$  зерна, начальной  $\theta_{T0}$  и конечной  $\theta_T$  температурой теплоносителя, начальной  $\theta_0$  и конечной  $\theta$  температурой зерна.

## 7.2. Вид и значение постоянных величин передаточных функций зерносушилок

Шахтные зерносушилки		Барабанные зерносушилки	
Вид функции*	Значение постоянных для СЗШ-16А**	Вид функции***	Значение постоянных для СЗСБ-4
$W_{11}(p) = \theta(p)/\theta_{\tau 0}(p)$	$k = 0,31; \tau = 60\text{с}; T = 88\text{с}$	$W_{11}(p) = \theta(p)/\theta_{\tau 0}(p)$	$k = 0,12; \tau = 60\text{с}; T_1 = 530\text{с};$ $T_2 = 320\text{с}$
$W_{12}(p) = \theta(p)/\theta_0(p)$	$k = 0,6; \tau = 1380\text{с}; T = 0$	$W_{12}(p) = \theta(p)/\theta_0(p)$	$k = 0,68; \tau = 100\text{с};$ $T_1 = 480\text{с}; T_2 = 300\text{с}$
$W_{13}(p) = \theta(p)/w_0(p)$	$k = -0,2; \tau = 1680\text{с}; T = 0$	$W_{13}(p) = \theta(p)/q(p)$	$k = -3,6; \tau = 60\text{с};$ $T_1 = 350\text{с}; T_2 = 220\text{с}$
$W_{14}(p) = \theta(p)/v(p)$	$k = -13,3; \tau = 60\text{с}; T = 84\text{с}$	$W_{14}(p) = \theta(p)/t(p)$	$k = 0,58; \tau = 60\text{с};$ $T_1 = 230\text{с}; T_2 = 110\text{с}$
$W_{21}(p) = w(p)/\theta_{\tau 0}(p)$	$k = 0,063; \tau = 300\text{с}; T = 0$	$W_{21}(p) = \Delta w(p)/\theta_{\tau 0}(p)$	$k = 0,03; \tau = 360\text{с};$ $T_1 = 330\text{с}; T_2 = 580\text{с}$
$W_{22}(p) = w(p)/\theta_0(p)$	$k = 0,11; \tau = 1800\text{с}; T = 0$	$W_{22}(p) = \Delta w(p)/\theta_0(p)$	$k = 0,1; \tau = 660\text{с};$ $T_1 = 510\text{с}; T_2 = 300\text{с}$
$W_{23}(p) = w(p)/w_0(p)$	$k = 0,67; \tau = 1500\text{с}; T = 80\text{с}$	$W_{23}(p) = \Delta w(p)/q(p)$	$k = -1,7; \tau = 360\text{с};$ $T_1 = 460\text{с}; T_2 = 270\text{с}$
$W_{24}(p) = w(p)/v(p)$	$k = 8,1; \tau = 300\text{с}; T = 60\text{с}$	$W_{24}(p) = \Delta w(p)/t(p)$	$k = 0,24; \tau = 360\text{с};$ $T_1 = 580\text{с}; T_2 = 340\text{с}$
—	—	$W_{31}(p) = \theta_{\tau}(p)/\theta_{\tau 0}(p)$	$k = 0,20; T_1 = 270\text{с}$ $\tau = 0; T_2 = 0$
—	—	$W_{32}(p) = \theta_{\tau}(p)/\theta_0(p)$	$k = 0,125; T_1 = 305\text{с}$ $\tau = 0; T_2 = 0$
—	—	$W_{34}(p) = \theta_{\tau}(p)/t(p)$	$k = 2,8; T_1 = 94\text{с}$ $\tau = 0; T_2 = 0$
—	—	$W_{33}(p) = \theta_{\tau}(p)/q(p)$	$k = -20; T_1 = 354\text{с};$ $T_2 = 160\text{с}; \tau = 0$

\* Все передаточные функции равны выражению  $W(p) = \frac{k(T_2 p + 1)e^{-\tau p}}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}$ .

\*\* Для всех функций  $T_1 = 176\text{с}$ ,  $T_2 = 86\text{с}$ .

\*\*\* Все передаточные функции равны выражению  $W(p) = \frac{k e^{-\tau p}}{T_1^2 p^2 + T_1 p + 1}$ .

В шахтных зерносушилках выходными управляемыми параметрами являются температура  $\theta$  и влажность  $w$  зерна на выходе, а входными управляющими параметрами — температура  $\theta_0$  теплоносителя и скорость движения  $v$  зерна через шахту. Начальные температура  $\theta_0$  и влажность  $w_0$  зерна на входе в сушилку с точки зрения автоматического управления являются мешающими воздействиями. Между остальными параметрами связь (7.1) слабая — с коэффициентом взаимной корреляции менее 0,4, поэтому они в модели рисунка 7.10, а не показаны, то есть ими пренебрегают.

В барабанной зерносушилке 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:  $\Delta w = w_0 - w$ , где  $w_0$  и  $w$  — влажность зерна на входе и выходе сушилки (рис. 7.10, б).

Между указанными на моделях параметрами есть прямые связи (связь температуры на выходе и входе, влажности зерна на выходе и входе сушилки) и перекрестные. Они определяются для шахтной и барабанной зерносушилок передаточными функциями, показанными в таблице 7.2.

В той же таблице даны значения постоянных времени и коэффициентов усиления  $k$ . Эти значения указаны 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 на рисунке 7.10, в и г построены модели шахтной и барабанной зерносушилок как объектов управления температурой и влажностью зерна. Эта модель позволяет 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:  $\theta$ ,  $w$  ( $\Delta w$ ),  $\theta_T$  — при помощи изменения входных величин (температуры теплоносителя  $\theta_0$ , скорости  $v$  или производительности  $q$  и времени  $t$  прохождения зерна через сушилку) по отклонению управляемых параметров и с учетом возмущающих воздействий  $\theta_0$  и  $w_0$ .

Такая система разрабатывается электротехнической промышленностью.

## 7.7. АВТОМАТИЗАЦИЯ МОБИЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Объем автоматизации.** К мобильным относят такие технологические процессы, которые выполняются непрерывно передвигающимися машинами и агрегатами: перевозка грузов, об-

работка почвы, посев и посадка растений, уход за урожаем и уборка его. Их выполняют автомобилями, тракторами, плугами, культиваторами, сеялками, жатками, комбайнами и т. п.

Уровень автоматизации мобильных процессов отстает от уровня автоматизации стационарных процессов из-за сложности создания систем автоматики для мобильных машин. Несмотря на сложности, на тракторах и сельскохозяйственных мобильных машинах широко используются средства автоматики, в том числе:

приборы для контроля температуры, уровня топлива, охлаждающей и тормозной жидкости, давления масла и частоты вращения двигателей внутреннего сгорания;

регуляторы оборотов и мощности, температуры охлаждающей жидкости и масла в системе смазки двигателей внутреннего сгорания;

автоматические защитные устройства, предохраняющие рабочие органы машины от поломок при встрече с препятствиями или ограничивающие тяговые усилия и значение крутящего момента на валу машины;

автоматические устройства для отвода рабочих органов от стволов деревьев, столбов, кустов для машин, работающих в плодоводстве и виноградарстве;

тягово-сцепные устройства для автоматического присоединения и отъединения рабочих машин от тягловых;

сигнализаторы о заполнении сборных емкостей продуктом или о забивании рабочих органов материалом, например для бункеров, шнеков и соломотрясов комбайна;

автоматы для образования тюков сена или соломы в пресс-подборщиках, вязальные аппараты жаток-сноповязалок, прессующие механизмы рулонных пресс-подборщиков и многие другие.

Работа большинства из перечисленных устройств основана на механических или гидромеханических принципах с приводом от вала отбора мощности. Многие устройства связаны с технологическим движением рабочих органов и колес агрегата.

С появлением современных полупроводниковых средств электроники и микропроцессорной техники на мобильных машинах и агрегатах стали использовать электрические средства автоматики в сочетании с гидравлическими исполнительными механизмами для измерения, контроля и управления.

Разработан и внедряется ряд САУ, предназначенных для: вождения тракторов при пахоте, посеве и посадке растений; поддержания постоянства глубины вспашки;

ориентировки трактора и рабочих органов сеялки и культиватора при посеве и междурядной обработке пропашных культур, виноградуников;

вождения зерноуборочного комбайна по краю нескошенной хлебной массы при скашивании урожая или по валкам скошенной хлебной массы при ее обмолоте;

регулирования высоты среза хлебной массы или травы при уборке;

соблюдения равномерности высева семян из сеялок или посадки рас­сады посадочной машиной;

регулирования загрузки молотильных аппаратов и силосоуборочных агрегатов;

выравнивания сельскохозяйственных машин и их рабочих органов, работающих на склонах.

Таким образом, мобильные машины и агрегаты оснащаются средствами и системами автоматики для управления траекторией и скоростью движения, загрузкой рабочих органов и глубиной обработки почвы, шириной захвата и высотой среза, координатами положения рабочих органов и обрабатываемого материала, равномерностью высева и подачи обрабатываемого продукта в машину.

При достижении предельных значений контролируемых параметров или при возникновении аварийных режимов средства автоматики предупреждают персонал или прекращают технологический процесс.

Назначение и объем учебного пособия позволяют здесь рассмотреть только принципы автоматизации основных технологических процессов, выполняемых мобильной техникой. Более детально с автоматизацией перечисленных процессов можно ознакомиться по специальной литературе.

Системы автоматического вождения тракторов предназначены для облегчения работы тракториста, а в перспективе — для создания возможности одному трактористу одновременно управлять несколькими тракторами, а затем для полной замены тракториста автоматом управления движением трактора. Обычно тракторист, особенно при работе на повышенных скоростях, быстро устает и не обращает внимания на малые нарушения агротехнических требований выполнения технологического процесса, что в целом приводит к снижению урожайности.

Разработкой устройств для вождения трактора инженеры занимаются с момента создания первых тракторов. В России впервые в 1911 году О. Конджером и В. Корбеттой был предложен «автоматически действующий руль для пахотных тракторов». Наибольшее развитие получили работы по автовождению тракторов в последние два десятилетия.

Для создания систем автовождения оказалось целесообразным работу трактора разбить на три этапа: выезд в поле и возвращение в хозяйство, движение по рабочей длине гона, повороты в конце гона для заезда на новый гон.

До сих пор не разработаны системы для автоматического вождения тракторов на всех трех этапах и нет целесообразности в этом. Наибольший этап по затратам времени и объему выпол-

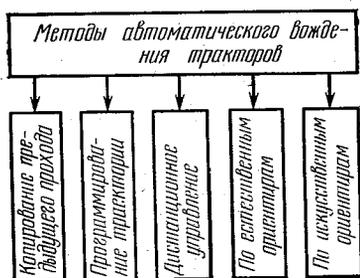


Рис. 7.41. Классификация методов автоматического вождения тракторов.

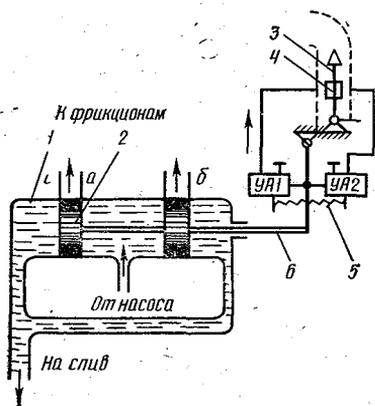


Рис. 7.12. Схема устройства для вождения трактора по копиру.

траектории движения трактора в соответствии с направлением борозды.

Принцип действия системы автовождения по копиру демонстрируется рисунком 7.12. Копир 3 при движении трактора скользит по дну борозды. Если копир отклоняется, например, влево, то замыкается левый контакт 4 и срабатывает электромагнит УА1, питающийся от аккумуляторной батареи трактора. При этом рычаг 6 передвигает поршни 2 золотника 1 тоже влево, и открываются его окна а и б. Масло под давлением, создаваемым гидронасосом, поступает через окно а к левому силовому гидроцилиндру, который отключает левый фрикцион. Вследствие этого трактор начинает поворачиваться влево до размыкания контактов 4, электромагнит УА1 отключается, и пружиной 5 поршни 2 золотника 1 возвращаются в исходное положение, при котором левый и правый фрикционы трактора включены. При отклонении копира вправо срабатывает электромагнит УА2, и давление масла через окно б действует на органы управления поворотом трактора вправо.

Метод копирования прост по принципу действия, но имеет ряд недостатков: накапливается статическая ошибка управления, вследствие этого после нескольких проходов сильно искривляется маршрут движения, и поэтому возрастают затраты энергии на непрерывные повороты трактора. Кроме того, копир при наезде на местные препятствия выскакивает из борозды, и трактор приобретает произвольное движение.

В методе программного автовождения траектория движения задается специальным программным устройством.

Технически осуществить программное автовождение весьма сложно из-за необходимости иметь высокую точность соблюдения траектории движения. Например, на гоне длиной 500 м погреш-

няемой работы связан с нахождением трактора на гоне, поэтому было предложено несколько методов автовождения трактора при его работе (рис. 7.11).

Метод копирования может быть использован на большинстве видов полевых работ: пахоте, севе, культивации, уборке, то есть тогда, когда агрегат должен проходить каждый раз один и тот же путь по равноотстоящим друг от друга траекториям. Первый гон прокладывается трактористом при ручном управлении трактором, а затем по борозде от плуга или специально организованной маркером борозде движется копир, закрепленный впереди трактора, и выдает сигналы на изменение

ность работы программных устройств на пахоте должна быть не больше 0,02% (10 см отклонения), а при квадратно-гнездовой посадке—0,004% (2 см), что практически недостижимо.

Следовательно, программное вождение может быть только в комбинации с копированием: на длине гона трактором управляют от копирующего устройства, а на поворотах от программного.

При дистанционном управлении оператор управляет одним или несколькими агрегатами по проводным линиям связи или радиосвязи. Практически использовалось дублирное вождение трактора: тракторист, кроме своего трактора, управляет по каналу связи соседним. Хотя этот метод сокращает число трактористов, но усложняет их работу по одновременному управлению двумя тракторами.

Методы, использующие естественные и искусственные ориентиры, наиболее удобны при строго заданных маршрутах движения — при выезде тракторов из хозяйства на полевые станы и возврате, вывозке навоза от ферм, доставке кормов, обработке пропашных культур, садов и виноградников (рис. 7.13).

В качестве естественных ориентиров используют рядки растений, края хлебостоя, валки скошенной массы, шпалерную проволоку на виноградниках, магнитное поле земли и даже планеты и звезды, как при навигационном управлении самолетами и кораблями. Искусственные ориентиры специально создают на обрабатываемых полях, прокладывают кабели, организуют местные радиополя, делают метки из удобрений и т. п. Наиболее полно опробован метод вождения по электромагнитному полю, создаваемому проводами. Для этого прокладывают под почвой провода и по ним пропускают высокочастотные токи (десятки кГц), которые вокруг провода создают электромагнитное поле, воспринимаемое специальными датчиками, установленными на тракторах.

Провода закладывают на глубину до 0,7 м вдоль гона на расстоянии двойной ширины захвата рабочей машины, на концах гона прокладывают поперек гона отдельный провод с электромагнитным полем иной частоты, который служит сигналом для разворота трактора на 180° (при челночной обработке поля).

На рисунке 7.13 показан принцип автовождения трактора по проволоке. Система автоматического вождения отстроена так, что выдерживает определенное расстояние датчика 2 от проволоки 1. При изменении этого расстояния сигнал от датчика в зависимости от знака отклонения поступает через усилитель У на элек-

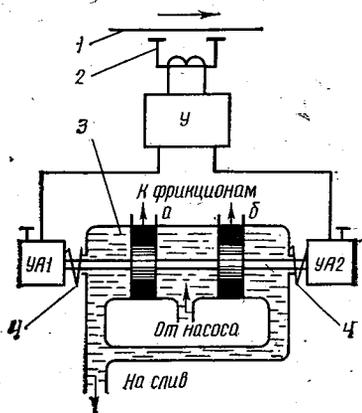


Рис. 7.13. Схема устройства для вождения трактора по проволоке.

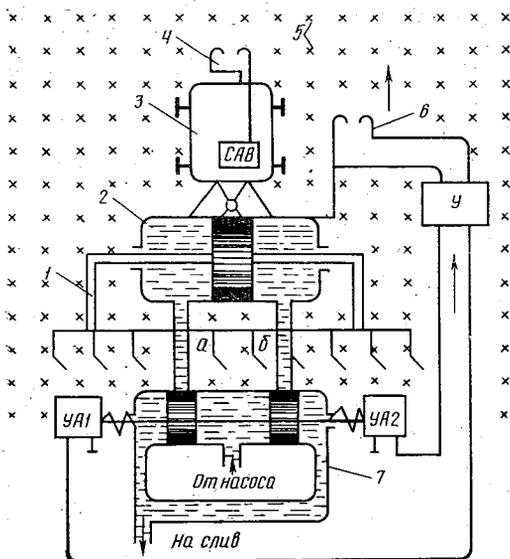


Рис. 7.14. Схема устройства для управления культиватором.

тромагниты УА1 или УА2 гидравлического золотника 3. Золотник управляет гидроцилиндрами боковых фрикционов трактора аналогично схеме на рисунке 7.12. При устранении указанного отклонения поршни золотника 3 (рис. 7.13) занимают исходное положение под действием пружин 4. Из-за сложности систем управления и ряда других причин автовождение пока не нашло широкого применения.

Системы управления рабочими органами культиваторов при обработке пропашных культур, свеклоуборочных комбайнов и других машин работают аналогичным образом. Автоматическое управление траекторией движения сошников культиватора исключает ошибочное срезание культурных растений. При ручном управлении культиватором для удаления сорняков неопытный тракторист может подрезать до 40% культурных растений.

В подобных системах автовождения используют оптические датчики или электроконтактные щупы — проволочные электроды 4 и б (рис. 7.14). Электроды 4 используются в системе автовождения (САВ) трактора 3. Электроды б закрепляются на культиваторе на высоте, соответствующей высоте обрабатываемой культуры. При отклонении корпуса культиватора 1 электроды соприкасаются с культурными растениями в рядке 5 и образуют замкнутую электрическую цепь через растение, землю и рабочую машину. Поскольку из-за большого сопротивления (от 1 до 25 МОм) этой цепи ток составляет доли микроампера, то используется усилитель У. С усилителя сигнал поступает на электромагнит УА1 или УА2 в зависимости от знака отклонения куль-

тиватора. Электромагниты переставляют поршни золотника 7 и открывают окна а и б. Масло под давлением поступает в одну полость силового цилиндра 2 и передвигает его поршень, соединенный с рамой культиватора, в обратном направлении до тех пор, пока не разорвется цепь электрод — растение. Из второй полости цилиндра масло возвращается в гидросистему.

Автоматические системы управления глубиной пахоты предназначены для контроля и стабилизации глубины вспашки прицепными и навесными плугами.

Среди многих предложенных методов управления глубиной до практического использования были доведены силовой, высотный и комбинированный способы.

Силовой способ основан на том, что тяговое сопротивление плуга пропорционально глубине вспашки. При увеличении или уменьшении тягового сопротивления специальная пружина, установленная между трактором и плугом, сжимается или разжимается и перемещает поршень управляющего золотника. Вследствие этого при помощи силового гидроцилиндра происходит выглубление или заглубление лемехов плуга до заданной величины тягового усилия. Одновременно этот способ позволяет стабилизировать нагрузку трактора и держать ее в пределах экономичной работы трактора.

Однако силовой способ удовлетворительно работает только на однородных почвах при постоянной скорости движения трактора, то есть когда тяговое усилие зависит только от глубины хода лемеха.

Для неоднородных почв был предложен высотный способ (рис. 7.15). Перед лемехом 1 плуга устанавливается специальное опорное колесо 2, которое является датчиком глубины, а задающим и сравнивающим органом является пружина 3. При изменении глубины вспашки происходит открытие окон а и б золотника 4.

Через открытые окна масло под давлением поступает в силовой цилиндр, который регулирует высоту плуга, восстанавливая глубину пахоты.

Недостаток высотного способа — стабилизация глубины пахоты только того лемеха, перед которым устанавливается опорное колесо. Применяют также комбинированный способ, объединяющий устройства силового и высотного способов управления. Разрабатываются другие способы регулирования глубины пахоты.

Автоматическое управление высотой среза кормовых трав, кукурузы и другой зеленой массы на корм скоту применяют на силосоуборочных комбайнах и сенокосилках. Высота среза долж-

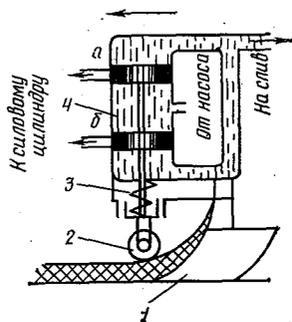


Рис. 7.15. Схема устройства для управления глубиной пахоты.

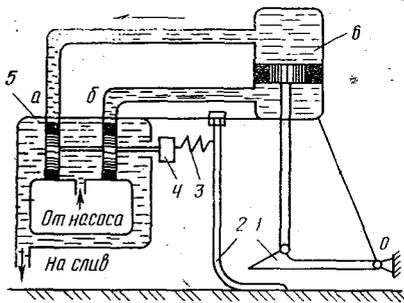


Рис. 7.16. Схема устройства для управления высотой среза.

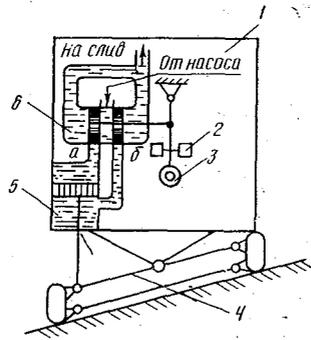


Рис. 7.17. Схема устройства для выравнивания остова комбайна.

на быть минимально допустимой, что повышает сбор кормов с полей и лугов.

Для этого используют ползковый щуп (рис. 7.16), копирующий рельеф поля. Щуп 2 к поверхности поля прижимается пружиной 3. Если высота среза соответствует заданной, то окна а и б золотника 5 закрыты, а поршень силового цилиндра 6 и режущий аппарат 1, жестко скрепленный с поршнем, находятся на постоянной высоте от поверхности поля. При изменении рельефа поля ползковый датчик 2 открывает окна а и б золотника 5, и при помощи силового гидроцилиндра 6 происходит восстановление заданной высоты режущего аппарата 1. При этом окна золотника закрываются; поскольку щуп возвращается в исходное положение. Предохранительное устройство 4 предотвращает поломки золотника при наезде ползкового щупа на препятствие.

**Автоматическое управление выравниванием остова зерноуборочного комбайна при работе на склонах** позволяет сохранять параллельность хедера комбайна поверхности почвы и горизонтальность положения молотильного барабана и очистительных устройств. Вручную эти операции выполнять очень сложно, так как угол наклона поверхности холмистой и горной местности меняется непрерывно.

При работе комбайна без системы автоматического управления остовом на поперечных склонах с углом уклона более  $8^\circ$  перерабатываемая масса скапливается на наклонной стороне комбайна, вследствие этого нарушается технологический процесс обмолота зерна: увеличивается до 20...30% невымолот, до 30% — повреждаемость зерна и случаются забивания молотильных барабанов хлебной массой. Для выравнивания корпус горного комбайна устанавливают на параллелограммной ходовой части 4 (рис. 7.17) и комбайн оборудуют гидросистемой управления. При наклоне корпуса 1 комбайна, например, влево грузовой маятник 3

также отклоняется влево и открывает окна *a* и *б* золотника *б*. Масло под давлением поступает в окно *a* и действует на поршень силового гидроцилиндра *5*. Поскольку этот поршень закреплен жестко с ходовой частью комбайна, то поворачивается остов комбайна по часовой стрелке относительно точки его крепления. Когда остов занимает горизонтальное положение, поршни золотника под действием маятника перекрывают окна золотника и жестко фиксируют положение гидроцилиндра. Демпфирующие устройства *2* предназначены для исключения ложных срабатываний системы при толчках и кратковременном отклонении остова от горизонтального положения.

Автоматическое управление оптимальной загрузкой молотилки зерноуборочного комбайна осуществляется регулированием скорости передвижения комбайна посредством изменения передаточного числа вариатора *2*, передающего вращающий момент от вала двигателя *1* комбайна на привод колес *3* (рис. 7.18). Например, при увеличении толщины хлебной массы на хедере *4* ползковый датчик толщины массы замыкает верхние контакты *5*, и включается электромагнит *УА1*, который передвигает поршень золотника *б* и открывает окна *a* и *б*. Масло под давлением через окно *a* поступает в гидроцилиндр *7* и передвигает поршень силового цилиндра вниз. В результате этого у вариатора *2* увеличивается передаточное число, комбайн снижает скорость движения, и, следовательно, уменьшается подача хлебной массы в молотильный

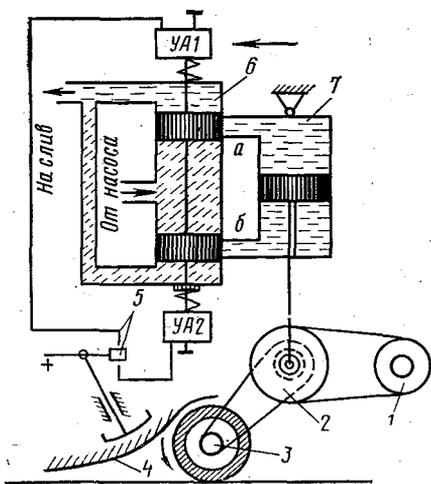


Рис. 7.18. Схема устройства для управления загрузкой комбайна.

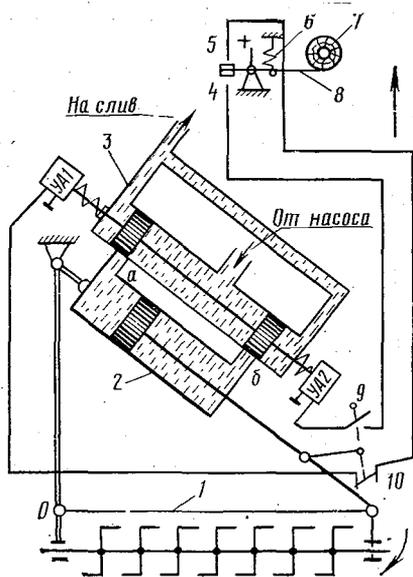


Рис. 7.19. Схема устройства для управления фрезой в садах.

барабан. При этом размыкаются контакты 5, а поршни золотника 6 под действием пружины закрывают окна а и б. Имеются другие схемы регулирования загрузки молотильного барабана, например, по измерению крутящего момента на его валу, а также по измерению толщины хлебной массы под цепями наклонного транспортера жатки. САУ загрузкой молотильного барабана обеспечивает уменьшение потерь зерна и лучшее качество обмолота.

Автоматическое устройство для управления фрезой используется при обработке приствольных полос в садах для отвода фрезы от стволов деревьев или кустов. Отвод фрезы 1 осуществляет силовой гидроцилиндр 2 при соприкосновении щупа 8 с деревом или кустом 7 (рис. 7.19). Щуп поворачивается по часовой стрелке и замыкает контакты 5. В результате этого срабатывает электромагнит УА1, который открывает окна а и б золотника 3. Масло под давлением поступает через окна в верхнюю полость цилиндра 2 и штоком поршня поворачивает фрезу 1 по часовой стрелке до тех пор, пока не разомкнется в крайнем положении конечный выключатель 10 и замкнется 9.

При этом электромагнит УА1 отключается, и окна золотника 3 закрываются поршнями под действием пружин, фиксируя фрезу в отведенном состоянии. После обхода фрезой препятствия щуп 8 под действием пружины 6 возвращается в исходное состояние и замыкает контакты 4, что приводит к срабатыванию электромагнита УА2 и открытию окон а и б золотника. При этом масло поступает через окно б в нижнюю полость гидроцилиндра 2, а фреза занимает рабочее положение, при котором размыкается конечный выключатель 9 и окна золотника перекрываются его поршнями.

Рассмотренные примеры автоматического управления показывают лишь общие методы и принципы, в основном гидроэлектроавтоматизации мобильных процессов. В настоящее время разрабатываются электронные средства автоматизации тех же и других процессов в сельском хозяйстве.

**Значительно увеличить производство овощей в защищенном грунте.**

Из Продовольственной программы СССР

## **Глава 8. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ**

### **8.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

В решениях Продовольственной программы большая роль отводится тепличному овощеводству. Предусматривается круглогодичное снабжение населения свежими овощами, а также расширение их ассортимента.

Согласно научно обоснованным нормам питания, человек должен равномерно в течение всего года потребить 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 менее 10% овощей, а в июле — сентябре поступает более 90% огурцов и 70% 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.).

Теплицы, особенно зимние, представляют собой весьма сложные, дорогостоящие и энергоемкие технические объекты с разветвленными системами электро-, тепло- и водоснабжения и канализации.

Расходы на строительство 1 м<sup>2</sup> защищенного грунта для парников составляют 20...25 руб., для теплиц — от 25 до 40 руб., а для теплиц с дополнительным электроосвещением при выращивании рассады — 40 руб. и более. На производство 1 кг тепличных овощей в средней полосе расходуется до 160...200 МДж тепловой и 1,2...2,3 кВт·ч электрической энергии. На обогрев 1 га площади зимних теплиц расходуется за сезон около 3 тыс. тонн условного топлива, то есть на порядок больше, чем на обогрев такой же площади жилых помещений.

В настоящее время в мире имеется около 200 тыс. га защищенного обогреваемого грунта, в том числе более 14 тыс. га в СССР, из них около 4 тыс. га капитальных зимних и более 6 тыс. га пленочных теплиц.

С 1971 г. строительство теплиц переведено на промышленную основу и ориентировано на создание крупных тепличных комбинатов с высокой степенью механизации и автоматизации технологических процессов. Схемой размещения тепличных хозяйств предполагается большую часть их построить на юге страны. Благодаря высокой солнечной радиации в южных теплицах расходу-

ется в 2 раза меньше топлива, в 1,5 раза меньше электроэнергии, овощи получают в январе — феврале, то есть на 2...3 месяца раньше, чем в средней зоне. Южные тепличные овощи отличаются более высокими питательными качествами. Транспортные расходы на доставку овощей с юга в средние и северные зоны страны составляют всего 5...15% себестоимости производства. Для Москвы, Ленинграда и других промышленных центров строятся крупные теплицы в Ставропольском крае, например, рядом с г. Усть-Джегута москвичи осваивают тепличный гигант площадью 120 га.

В различных зонах СССР созданы крупные тепличные комбинаты: среди них совхоз-комбинат «Московский» (60 га), совхоз «Ленинградский» (34 га), Владимирский (21 га), «Кисловодский» «Симферопольский», «Кировабадский» тепличные комбинаты по 18 га каждый и др. Тепличные хозяйства объединяются в специализированные производственные объединения: московская фирма «Весна», ленинградская фирма «Лето» и т. д.

Механизация и автоматизация технологических процессов в защищенном грунте резко сокращают затраты труда и себестоимость продукции, повышают энерговооруженность труда и на 10...15% урожайность овощей, экономят 15...20% тепловой энергии. В целом в тепличных комбинатах затраты труда на 1 га защищенного грунта доходят до 180 тыс. ч в год, а себестоимость 1 т продукции — до 1500 руб. В то же время в совхозе «Марфино» фирмы «Весна», имеющем высокий уровень организации, механизации и автоматизации труда, эти показатели улучшены в три раза. Затраты труда составляют около 50 тыс. ч в год, а себестоимость 1 т продукции немногим больше 500 руб. Урожайность достигает 35...40 кг овощей с 1 м<sup>2</sup>, а при использовании перспективной технологии с системой управления микроклиматом и методов стимуляции развития растений получают до 50 кг огурцов и 25 кг томатов с 1 м<sup>2</sup> тепличной площади.

Ускоренное развитие защищенного грунта с увеличением производства продукции и снижением ее себестоимости возможно только при широком внедрении комплекса мероприятий по электрификации и автоматизации технологических процессов.

## 8.2. ВИДЫ СООРУЖЕНИЙ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

Сооружения защищенного грунта разделяют на утепленный грунт, парники и теплицы.

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 плёночными 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 внесезонных 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 м<sup>2</sup> с двухскатной арочной светопроницаемой кровлей без внутренних опорных стоек. Несущими опорами для крыши в таких теплицах являются металлические или деревянные арки, закрепленные непосредственно на фундаментах или на опорных стойках стен 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.

Достоинство ангарных и блочных теплиц — лучшая освещенность, возможность применения почвообрабатывающих и транспортных машин. Но из-за большой высоты и ширины у ангарной теплицы площадь светопроницаемых ограждений завышена, что увеличивает теплопотери.

В последние годы появились экспериментальные теплицы других видов: вантовые (подвесные), воздухоопорные (надувные), с водонаполненной плоской кровлей, башенные и т. п.

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.

В будущем могут найти применение широкопролетные теплицы с подвесным светопроницаемым перекрытием и башенные.

Примером *широкопролетной* является теплица «Москва-гигант» в Московской области общей площадью 1 га. Она состоит из двух половин размером по  $36 \times 144,5$  м без промежуточных опор.

*Башенные теплицы* — это многоэтажные стеклянные сооружения высотой 20...40 м с экономным использованием земли. По высоте теплицы сооружены непрерывный конвейер со стеллажами для растений. При движении конвейера стеллажи в нижнем положении получают минеральную подкормку и увлажнение. Такую теплицу можно строить в любом месте: на бросовых землях или как пристройку к многоэтажному дому в городе.

### 8.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ СООРУЖЕНИЙ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

Для сравнительной оценки сооружений защищенного грунта применяют ряд показателей.

Световой режим определяется степенью использования солнечной энергии, которая характеризуется интегральным коэффициентом проницаемости световой и инфракрасной солнечной энергии через светопроницаемые ограждения защищенного грунта.

Коэффициент проницаемости  $k_{\text{п}}$  равен отношению потока солнечной энергии  $\Phi_{\text{т}}$ , прошедшего через ограждения, к потоку энергии  $\Phi_{\text{п}}$ , поступившему от солнца:  $k = \Phi_{\text{т}}/\Phi_{\text{п}}$ .

Значение  $k_{\text{п}}$  зависит от коэффициента пропускания  $k_{\text{м}}$ , коэффициента затенения  $k_{\text{з}}$  и коэффициента загрязнения  $k_{\text{г}}$  светопроницаемого материала, а также от коэффициента  $k_{\text{у}}$ , зависящего от угла падения светового потока на плоскость светопроницаемого материала:

$$k_{\text{п}} = k_{\text{м}}(1 - k_{\text{з}})(1 - k_{\text{г}})k_{\text{у}}. \quad (8.1)$$

Значение коэффициента пропускания  $k_{\text{м}}$  характеризует светопроницаемость материала. Например, для стекла он равен 0,8...0,85, для синтетических пленок — 0,85...0,9, для стеклопластика — 0,75...0,85.

Коэффициент затенения характеризует площадь светонепроницаемых ограждений и равен отношению площади тени от све-

тонепроницаемых ограждений  $S_n$ , закрывающей защищенный грунт, к общей площади защищенного грунта  $S_T$ :  $k_3 = S_n/S_T$ .

Коэффициент затенения для современных теплиц равен 0,03...0,1, а для воздухонаполненных приближается к нулю.

В процессе эксплуатации поверхность ограждения может загрязняться так, что светопрозрачность снижается на 50% и более ( $k_T \geq 0,5$ ). 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 моющими средствами при помощи специальных механизмов.

В теплицах на Крайнем Севере овощи выращивают при искусственном свете (электросветокультура). 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 м<sup>2</sup>, стремясь создать облученность растения не менее 5...8 тыс. лк.

В центральной зоне электродосвечивание применяется только в рассадном отделении с удельной мощностью до 200 Вт/м<sup>2</sup>.

Тепловой режим культивационных сооружений должен соответствовать оптимальным температурам воздуха и почвы, зависящим от фазы роста и типа растений, от способа выращивания и освещенности. Оптимальная температура воздуха для теплолюбивых культур (томат, огурец, баклажан, перец) при солнечной погоде равна  $24 \pm 4$  °С, в пасмурную погоду 22 °С, ночью 15...20 °С, для умеренно требовательных к теплоте культур (редис, салат, сельдерей, укроп и т. п.)  $16 \pm 4$  °С. Оптимальное значение среднесуточной температуры почвы для первых культур равно 22...26 °С, а для вторых — на 3...4° ниже.

При прорастании семян всех культур температуру поддерживают на уровне 20...25 °С, а после появления всходов снижают до 18...20 °С у теплолюбивых и до 6...8 °С — умеренно требовательных к теплоте растений.

Тепловой режим культивационных сооружений поддерживают при помощи технических средств обогрева и вентиляции. Он определяется коэффициентами теплопроводности и теплопередачи ограждений, а также конструктивными особенностями сооружений.

Коэффициент теплопроводности зависит от материала ограждения: для стекла он равен 1,25, для синтетических пленок — 0,96...1,05, для стеклопластика — 0,88 кДж/(м·ч·°С).

Коэффициент теплопередачи зависит не только от материала ограждения, но и от условий теплообмена. В существующей практике для теплиц с ограждением из стекла толщиной 4 мм его принимают равным 23, для однослойных пленочных ограждений — 33...42, для двухслойных пленочных ограждений — 17...25 кДж/(ч·м<sup>2</sup>·°С).

Конструктивные особенности ограждения характеризуются коэффициентами ограждения  $k_o$  и объема  $k_v$ . Коэффициент  $k_o$  ра-

вен отношению площади светопроницаемого ограждения  $S_c$  и инвентарной площади теплиц  $S_T$ :  $k_0 = S_c/S_T$ .

Для ангарных теплиц коэффициент ограждения  $k_0$  равен 2...2,5, а для блочных теплиц — 1,15.

Коэффициент объема определяется как отношение объема к инвентарной площади теплицы и равен средней высоте сооружения. Значение коэффициента объема определяется из возможности создания оптимальных условий для роста растений и механизации технологических процессов. В то же время с ростом высоты теплицы увеличиваются коэффициент ограждения и соответственно затраты на обогрев.

**Водный режим.** Урожайность в культивационных сооружениях в значительной степени зависит от влажности почвы и относительной влажности воздуха. Влажность почвы необходимо поддерживать на уровне 75...90% полной полевой влажности (ППВ), а относительную влажность воздуха для рассады огурцов и баклажанов — 65...75%, томата и перца — 55...65, салата и капусты — 60...70%. В послерассадный период относительная влажность воздуха для огурцов и баклажанов должна быть 85...95%, томата и перца — 55 и 65, салата и капусты — 75 и 85%.

Влажностью почвы и воздуха управляют при помощи различных устройств орошения (дождевание, полив из шлангов, подпочвенный полив, капельный полив). Температура воды для полива должна быть на уровне температуры почвы и воздуха в теплице (порядка 20...25 °C). Расход воды зависит от сезона и типа растений и составляет 5 и 15 л/м<sup>2</sup>.

**Воздушно-газовый режим** в значительной мере определяет продуктивность фотосинтеза и конечную урожайность овощных культур. Растениям необходим кислород для дыхания и углекислый газ для фотосинтеза. Наибольшее значение имеет углекислый газ  $CO_2$ , оптимальное значение которого в воздухе для огурцов должно составлять 0,25 и 0,35%, для томата — 0,1...0,15%, то есть 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 м<sup>3</sup> 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%.

**Режим питания.** Интенсивное использование почвы в теплицах под 3...5 культурами за сезон предъявляет повышенные требования к составу субстратов и минеральному питанию.

Почвосмеси для теплиц и парников приготавливают легкими, плодородными, структурными. Для приготовления почвосмесей используют дерновую и полевую землю, перегной, торф, песок,

древесные опилки, навоз, соломенную резку и т. п. с оптимальным содержанием азота, фосфора, калия, магния и других минеральных удобрений. На основе агрохимических анализов почвосмесей применяют корневые и внекорневые подкормки растворами минеральных макро- и микроэлементов.

Большую роль в жизнедеятельности растений играет реакция среды, которая определяется значением рН. Необходимость управления величиной рН возникает при подготовке и внесении в почву жидких минеральных удобрений.

Выращивание овощей без почвы на питательных растворах получило наименование гидропонного метода (гидропоника в переводе с греческого означает «работа водой»).

При использовании гидропонного метода 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 подают к ней специальный питательный раствор.

Стоимость таких теплиц в 2 раза выше, чем почвенных, из-за необходимости оснащения гидропонных теплиц стеллажами для размещения субстрата, растворным узлом с резервуарами для хранения отдельных видов жидких концентрированных удобрений и приготовления растворов минерального удобрения и системой распределительных трубопроводов питательного раствора. Технология использования раствора предусматривает периодическое (через 2...3 дня) регулирование значения рН, проведение ежедневного агрохимического анализа на содержание основных элементов питания и через месяц — полную смену питательного раствора.

Тем не менее в СССР построено более 100 га гидропонных теплиц. В связи с уменьшением затрат из-за отсутствия обработки почвы удельные затраты труда в них в 2 раза ниже, а урожайность, по многолетним наблюдениям, выше на 20...50%. Кроме того, сокращается период от посева до плодоношения овощей. Гидропонный способ незаменим там, где невозможно использовать грунтовые теплицы.

#### 8.4. СПОСОБЫ ОБОГРЕВА ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

В практике защищенный грунт обогревают за счет солнечной радиации, биотоплива, 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, проникая через светопрозрачные ограждения, нагревают почву, воздух, растения.

Нагретые тела испускают инфракрасные тепловые излучения, которые через светопрозрачные ограждения практически обратно не проникают. Поэтому внутри сооружений происходит накопление теплоты. Однако солнечный обогрев дает большее значение суточных колебаний температуры: днем она повышается, а ночью резко снижается. Солнечный обогрев в утепленном грунте и парниках широко распространен в южных районах, а также на Крайнем Севере в период полярного дня.

**Биологический обогрев** осуществляют за счет теплоты, выделяемой органическими материалами в процессе их разложения микроорганизмами. В качестве биотоплива используют навоз животных, городские отбросы и органические отходы от промышленных предприятий. После заправки защищенного грунта биотопливом температура его постепенно за 1...3 недели повышается до 60...70 °С, затем снижается до 20...30 °С и держится на этом уровне в течение двух месяцев. Биологический обогрев наиболее удобен в парниках и весенних небольших теплицах, где постепенное снижение температуры биотоплива компенсируется увеличением солнечной радиации. Однако на заправку биотопливом требуются большие затраты труда, и в то же время практически невозможно управлять температурой его разложения.

**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%).

Для водяного обогрева почвы в парниках на глубине 60...65 см в песчаной подушке укладывают асбоцементные трубы диаметром 50...100 мм, а для обогрева воздуха прокладывают вдоль парубней под рамами металлические трубы диаметром 50 мм с уклоном 0,003. Циркуляцию горячей воды создают принудительно при помощи электронасоса.

В блочных теплицах трубы для циркуляции горячей воды укладывают в почве, по поверхности почвы, а также вдоль стен и под стеклянной кровлей. Зимние теплицы обогревают водой с температурой 70...90 °С, парники — 50...70 °С, утепленный грунт — 40 °С.

В качестве дополнительного и особенно аварийного обогрева используют воздушно-калориферные установки, которые благодаря малоинерционности и легкой управляемости быстро выравнивают температуру по всей площади теплицы. В этом случае источником теплоты является водяной, газовый или электрический калорифер, а теплоносителем — воздух теплицы, прогоняемый вентилятором через калорифер.

В некоторых теплицах воздушное отопление осуществляют путем непосредственного сжигания газа в теплице с одновременным обогащением атмосферы углекислым газом. Несмотря на простоту этого метода отопления и высокий коэффициент (около

100%) использования теплоты, он не нашел широкого распространения из-за неравномерности распределения температуры и наличия в газах вредных для растений соединений. Высокую экономическую эффективность обогрева защищенного грунта дает использование отходов теплоты промышленных предприятий; так, в себестоимости тепличных овощей около 50% затрат приходится на стоимость обогрева, то есть около 3 руб. на 1 м<sup>2</sup> зимних теплиц в год. В то же время, используя теплоту, получаемую только от тепловых электростанций, можно обогревать около 120 тыс. га теплиц, то есть на порядок больше имеющихся площадей теплиц. Построены теплицы, которые обогреваются низкотемпературными тепловыми отходами промышленных предприятий или геотермальными водами. Они позволяют снизить себестоимость продукции на 5...10% и сократить расход топлива в 3...10 раз.

Электрический обогрев используют в основном в парниках. Он бывает почвенный, воздушный и комбинированный — почвенно-воздушный. Для электрообогрева применяют трубчатые или оголенные проволочные нагревательные элементы, специальные нагревательные провода или асфальтобетонные нагревательные элементы, электродные и другие.

В качестве трубчатых нагревательных элементов используют оцинкованную проволоку диаметром 2,5...3 мм, протянутую внутри керамических или асбоцементных труб диаметром 75...100 мм. Трубы прокладывают в слое песка на глубине не менее 200 мм от поверхности почвы на теплоизоляционной подложке из шлака и гравия.

Нагревательные элементы присоединяют к сети напряжением 380/220 В. Средняя мощность нагревательных элементов для южных зон должна составлять 150...180 и для остальных зон 180...200 Вт на 1 м<sup>2</sup> площади.

Оголенные проволочные нагревательные элементы выполняют из стальной оцинкованной проволоки диаметром 3...4 мм, которую укладывают в теплоаккумулирующем слое песка петлями под обогреваемой почвой и закрепляют в натяжных планках в торцах обогреваемого участка. Напряжение питания элементов используют сниженное до 12...50 В от специальных понижающих трансформаторов.

Электропромышленность выпускает подогревательный оцинкованный сельскохозяйственный провод типа ПОСХП с полиэтиленовой изоляцией. Диаметр провода 1,1 мм, а вместе с изоляцией 3 мм, длительно допустимая температура нагрева изоляции не должна превышать 90 °С, что соответствует удельной мощности 25 Вт на 1 м длины провода. Провод ПОСХП заливают теплоаккумулирующим слоем, состоящим из цементно-песочной смеси (1:10), а сверху насыпают слой почвы. Провод подключают к напряжению 380/220 В. Асфальтобетонные нагревательные элементы выполняют в виде плит толщиной 6...7 см на все дно площади парников. В плиту закладывают зигзагом стальную

оцинкованную проволоку диаметром 2...3 мм, которую подключают к напряжению 380/220 В.

Электродный способ обогрева заключается в том, что в почву закладывают металлические электроды и при их помощи через почву пропускают ток, нагревающий ее. Однако этот способ не нашел использования в практике из-за большого расхода металла (8...9 кг на 1 кВт установленной мощности обогрева), непостоянства сопротивления почвы и большой неравномерности распределения температуры по площади почвы.

## 8.5. ОБЪЕМ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛИЦАХ

Тепличное хозяйство — наиболее трудоемкая отрасль растениеводства с ежегодными затратами до 10...18 ч на 1 м<sup>2</sup> 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, предпосевная обработка семян, изготовление питательных кубиков, 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 тракторным плугом, сгребают бульдозером, погружают на транспортные средства погрузчиком-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, например СТМ-8/20. 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 ФС-0,7А или

МПТ-1,2. 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 и 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 м<sup>2</sup>, длительность пропаривания 8...10 ч. После пропаривания почвосмеси для уменьшения концентрации солей промывают дождеванием в 3...5 приемов с общим расходом воды до 200...400 л/м<sup>2</sup>.

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 заносит токсические вещества. Торфоперегнойные питательные кубики (горшочки) изготавливают на специальных станках конвейерного типа. Станок — простой по устройству. Он состоит из бункера, конвейера и штампа с электроприводом. Принцип работы следующий: при подъеме штампа лента конвейера загружается из бункера ровным слоем торфоперегнойной массы и перемещается под штамп. Когда штамп идет вниз, лента останавливается, происходит прессовка и нарезка нескольких сот кубиков размером до 100×100 мм.

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 тепличными специальными поддонами и подъемниками. Для перевозки рассады из блока в блок теплиц по открытому холодному воздуху применяют крытые фургоны.

Автоматизация технологических операций в защищенном грунте дает существенный эффект: увеличивается производительность и улучшаются условия труда, экономится топливо и электроэнергия, снижается заболеваемость посадочного материала и взрослых растений, повышается урожайность и сокращаются сро-

ки созревания растений и овощей. Условия труда и быта рабочих на автоматизированных тепличных комплексах не хуже, а иногда лучше, чем на промышленных предприятиях.

В малых теплицах и парниках уровень автоматизации по контролю и управлению микроклиматом пока невысокий и ограничивается в основном одним параметром — температурой.

На тепличных комплексах промышленного типа автоматические контроль и управление используют практически для многих параметров, а именно: температуры и влажности почвы и воздуха, содержания углекислого газа, степени освещенности, температуры воды для полива почвы, увлажнения воздуха, вентиляции и скорости перемещения воздуха в теплице, концентрации растворов минеральных удобрений почвы, режимов питания стеллажей гидропонных теплиц, значения pH и других параметров. Для выбора оптимального режима в соответствии с внешними погодными условиями предусмотрено автоматическое слежение за ними и изменение внутренних параметров микроклимата. Кроме того, средства автоматики широко используются на вспомогательных установках тепло- и энергоснабжения, снабжения водой и т. п.

#### 8.6. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛИЦЫ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ

При разработке работоспособной системы автоматического управления температурой в защищенном грунте, обеспечивающей агротехнические требования по равномерному распределению температурного поля в корнеобитаемом слое и воздухе, необходимо иметь математические зависимости между изменениями температуры почвы и воздуха в форме передаточных функций.

Определение передаточной функции системы почвенного обогрева. Подход к выводу математических уравнений обогреваемого грунта имеет ряд специфических особенностей, на которых следует остановиться. Математическое моделирование процесса обогрева корнеобитаемого слоя (субстрата) сводится к нахождению зависимости значения текущей температуры  $\theta$  в любой точке данного слоя, в заданное время  $t$ :

$$\theta = f(x, y, z, t), \quad (8.2)$$

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 собой неоднородную капиллярно-пористую среду, процесс распространения теплоты в которой является комбинацией различных взаимосвязанных видов теплопередачи: контактной теплопроводности, лучеиспускания, конвекции. Кроме того, вывод уравнений динамики теплопередачи в слое субстрата усложняется наличием в нем влаги, растворенных веществ, неоднородных включений твердых частиц и корневой системы расте-

ний, неодинаковой плотностью и структурой субстрата, а также влиянием солнечной радиации и температуры внешней среды.

Однако при выводе уравнений динамики теплопередачи возможен ряд допущений, который не приводит к существенным погрешностям, а именно: замена всех видов теплопередачи одним процессом контактной теплопроводности, представление субстрата непрерывной, однородной и изотропной средой, по которой теплота распространяется только вверх по координате  $z$  (по высоте) перпендикулярно к плоскости размещения нагревательных элементов. Благодаря этим допущениям пространственно-временное распределение температуры в обогреваемом субстрате описывается одномерными дифференциальными уравнениями теории теплопроводности. Однако и в этом случае получаются сложные уравнения теплопроводности, которыми затруднительно пользоваться при проектировании и исследовании систем автоматического регулирования субстрата.

Для облегчения решения поставленной задачи используют так называемые методы конечно-разностных аппроксимаций, которые позволяют заменить систему с распределенными параметрами системой, состоящей из отдельных элементов с сосредоточенными параметрами. Применительно к субстрату уравнения теплопередачи записывают для отдельных точек по глубине обогреваемого слоя, то есть рассматривают 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 записывают 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 последовательно соединенные звенья.

Следовательно, уравнение динамики обогреваемой  $i$ -й зоны можно описать следующим дифференциально-разностным уравнением:

$$d\theta_i/dt = (a_i/\Delta^2) (\theta_{i-1} + \theta_{i+1} - 2\theta_i), \quad (8.3)$$

где  $a_i$  — коэффициент температуропроводности, зависящий от места расположения  $i$ -й зоны.

На каждую  $i$ -ю зону субстрата действия изменения температуры соседних зон  $\theta_{i-1}$  и  $\theta_{i+1}$  рассматривают как внешнее возмущение  $f(t)$ , а температуру данной зоны  $\theta_i$  — как выходную величину.

При этом условии уравнение (8.3) можно представить так:

$$d\theta_i/dt + 2a_i\theta_i/\Delta^2 = f(t)_i \quad (8.4)$$

или после преобразования в операторную форму:

$$\left( \frac{\Delta^2}{2a_i} p + 1 \right) \theta_i(p)_i = [k\Delta^2/(2a_i)] f(p)_i. \quad (8.5)$$

Из уравнения (8.5) передаточная функция  $i$ -й зоны обогреваемого субстрата в операторной форме

$$W(p)_i = \theta(p)_i / [f(p)_i] = k_i / (T_i p + 1), \quad (8.6)$$

где  $k_i = k\Delta^2 / (2a_i)$  — коэффициент усиления звена  $i$ -й зоны;  $T_i = \Delta^2 / (2a_i)$  — постоянная времени;  $f(p)_i$  — функция внешнего возмущения в операторной форме.

Общая передаточная функция обогреваемого слоя субстрата как звена САУ температуры составляет

$$W_c(p) = \frac{k_1 k_2 \dots k_n}{(T_1 p + 1)(T_{n-1} p + 1) \dots (T_1 p + 1)}, \quad (8.7)$$

где  $k_1, k_2 \dots k_n$  — коэффициенты усиления первой, второй и  $n$ -й зоны обогреваемого слоя субстрата;  $T_1, T_{n-1}, T_n$  — постоянные времени тех же зон.

Таким образом, получают уравнение передаточной функции  $n$ -го порядка, которое легко представить последовательным соединением  $n$ -аперiodических звеньев первого порядка и исследовать модель на аналоговых электронных машинах.

**Определение передаточной функции системы обогрева приземного слоя воздуха в теплице.** Определим передаточную функцию системы обогрева приземного слоя воздуха типовой блочной теплицы площадью 1 га.

Система обогрева воздуха 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. Другими словами, в горячую воду, забираемую из котельной насосом, добавляют через смесительный клапан определенное количество возвратной воды, отдавшей теплоту для обогрева воздуха теплицы.

Таким образом, регистр как звено системы регулирования представляет собой звено чистого (транспортного) запаздывания. Время запаздывания  $\tau$  определяется расстоянием  $l$  от места установки датчиков температуры до смесительного клапана и скоростью движения теплоносителя.

Время чистого запаздывания  $\tau$  пропорционально времени заполнения рабочего объема  $V$  системы обогрева:

$$\tau = (l/L)(V/Q), \quad (8.8)$$

где  $L$  — длина труб регистра;  $l$  — расстояние от клапана до датчика;  $Q$  — производительность циркуляционного насоса.

Передаточная функция этого звена

$$W(p) = e^{-\tau p}. \quad (8.9)$$

Кроме этого, в системе обогрева имеется 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 [21], выражается уравнением второго порядка

$$W_0(p) = k(Tp + 1)/(T_2^2 p^2 + T_1 p + 1). \quad (8.10)$$

Общая передаточная функция блочной теплицы в режиме обогрева воздуха следующая:

$$W_T(p) = W_0(p) W(p) = \frac{k(Tp + 1)}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} e^{-\tau p}. \quad (8.11)$$

Для сравнительной оценки приведем значения постоянных величин, полученных исследованиями [21] 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  $\theta_v$  и теплоносителю  $\theta_T$  между установившимися начальными ( $\theta_{в,н}$ ;  $\theta_{т,н}$ ) и конечными ( $\theta_{в,к}$ ,  $\theta_{т,к}$ ) значениями:

$$k = \frac{\theta_{в,к} - \theta_{в,н}}{\theta_{т,н} - \theta_{т,к}}. \quad (8.12)$$

Этот коэффициент показывает, на сколько градусов происходит изменение температуры воздуха при изменении температуры воды на  $1^\circ$ .

**Определение передаточной функции теплицы в режиме вентиляции.** 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.

Следовательно, 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.

Динамику вентиляции в период открытия форточек можно выразить передаточной функцией звена чистого запаздывания (8.9) при допущении, что время чистого запаздывания  $\tau$  составляет половину времени открытия  $t_0$  фрамуг на заданное значение:  $\tau=0,5t_0$ .

Передаточную функцию переходного процесса в период установившейся вентиляции выводят из дифференциального уравнения баланса теплоты в теплице:

$$v_i dt - v dt + P dt = V di, \quad (8.13)$$

где  $v$  — подача вентиляторов,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $i_n$  — теплосодержание наружного воздуха,  $\text{Дж}/\text{м}^3$ ;  $i$  — теплосодержание воздуха в теплице,  $\text{Дж}/\text{м}^3$ ;  $P$  — теплота, выделяемая за 1 с в теплице объемом  $V$  ( $\text{м}^3$ ), Вт.

Учитывая, что теплосодержание воздуха  $i$  и его температура  $\theta$  связаны через теплоемкость  $c$  [Дж/(м<sup>3</sup>·°С)] зависимостью  $i=c\theta$ , уравнение (8.13) можно записать так:

$$v\theta_n dt - v\theta dt + (P/c) dt = Vd\theta, \quad (8.14)$$

где  $\theta$  и  $\theta_n$  — температура внутреннего и наружного воздуха.

Решая уравнение относительно  $\theta$ , получим

$$\theta = \left( \theta_n + \frac{P}{cV} \right) (1 - e^{-t/T}) + \theta_0 e^{-t/T}, \quad (8.15)$$

где  $\theta_0$  — начальная температура воздуха в теплице;  $T=V/v$  — постоянная времени объекта.

Первый член уравнения (8.15) показывает интенсивность повышения температуры наружного воздуха при его заборе и смешивании с внутренним, а второй — интенсивность снижения начальной температуры воздуха в теплице.

В реальных условиях величину  $v$  определить сложно, поскольку форточки рассредоточены по всей крыше теплицы. Поэтому определяют постоянную времени по экспериментально снятой кривой разгона, то есть по экспериментальной зависимости температуры от времени после открытия форточек:  $\theta=f(t)$ .

Согласно уравнению (8.15), переходный процесс в период установившейся вентиляции можно описать передаточной функцией аperiodического звена первого порядка.

Таким образом, блочная теплица как объект управления температурой в режиме вентиляции представляется передаточной функцией

$$W_B(p) = ke^{-\tau p} / (Tp + 1), \quad (8.16)$$

где  $k$  — коэффициент усиления объекта, показывающий, на сколько градусов происходит снижение температуры при однократной замене воздуха в теплице.

Для той же теплицы совхоза «Московский» установлено, что  $k=0,45^\circ$ ;  $\tau=2$  мин;  $T=3$  мин.

Сравнивая эти величины с аналогичными параметрами теплицы в режиме обогрева, можно видеть, что теплица в режиме вентиляции имеет инерционность на порядок ниже. Это позволяет быстро восстанавливать заданное значение температуры при ее отклонениях. Однако из-за возможной инерционности датчика температуры малая тепловая инерционность теплицы в режиме вентиляции может привести к значительным величинам перерегулирования температуры, что отрицательно скажется на развитии растений. Для снижения инерционности датчика температуры предложено использовать аспирационный экран, при помощи которого вокруг датчика создается усиленный поток воздуха, при котором постоянная времени датчика снижается обратно пропорционально скорости потока.

## 8.7. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБОГРЕВА ПАРНИКОВ

В парниках выращивают рассаду для открытого грунта и раннеспелые овощи в весенний период. По техническому оснащению и уровню механизации и автоматизации технологических процессов они занимают промежуточное место между утепленным грунтом и ангарными теплицами.

Простейшие парники обогревают биотопливом, широкое распространение получил обогрев горячей водой и при помощи электроэнергии. Иногда сочетают водяной обогрев с электрическим, который включают в период резких похолоданий и заморозков.

Вследствие короткого срока выгонки рассады и высокой ее плотности посадки (на  $1 \text{ м}^2$  несколько сотен штук) экономически всегда эффективно использовать для обогрева электрическую энергию. Для обогрева используют трубчатые и оголенные нагревательные элементы с удельной мощностью  $100\text{--}200 \text{ Вт/м}^2$ , годовая стоимость обогрева  $1 \text{ м}^2$  парников — около 3 руб.

Рассмотрим примеры автоматического управления температурой при помощи электрического обогрева.

Автоматизация обогрева парников и утепленного грунта как достаточно простых сооружений защищенного грунта сводится к автоматическому управлению температурой почвы и воздуха в зависимости от погодных условий, вида и возраста растений.

Управление тепловым режимом может быть ручным (неавтоматизированным): переключения нагревательных элементов на разные напряжения, включение отдельных групп нагревателей и т. п. Однако автоматическое управление температурой в парниках куда предпочтительнее: только затраты электроэнергии по сравнению с ручным управлением сокращаются на  $15\text{--}20\%$ .

Самый распространенный способ автоматического управления температурой в парниках основан на принципе периодического включения и отключения нагревательных элементов при помощи магнитных пускателей в зависимости от температуры внутри парника. Электрическая схема управления режимом работы нагревательных элементов для одной группы, состоящей из четырех парников, показана на рисунке 8.1. Нагревательные элементы переводят с одного напряжения питания на другое ( $220$  или  $380 \text{ В}$ ) переключателями  $SA1$  и  $SA2$ . Ручной режим задают, ставя тумблер  $SA3$  в положение  $P$ , автоматический — в положение  $A$ , отключенному состоянию нагревателей соответствует положение  $O$ . Для автоматического управления тепловым режимом в воздушном пространстве одного из  $4\text{--}6$  последовательно соединенных парников устанавливают датчик температуры  $BK$ .

В парниках только с почвенным обогревом на группу парников ставят один датчик температуры почвы. Его углубляют в почву парника на глубину около  $0,1 \text{ м}$ . Переключателем  $SA1$  включают нагревательные элементы для обогрева воздуха, а переключателем  $SA2$  — элементы обогрева почвы.

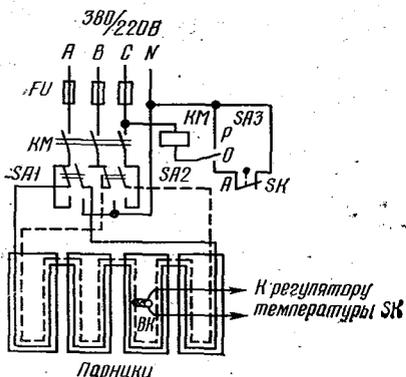


Рис. 8.1. Схема автоматического управления температурой в парниках с почвенно-воздушным электрообогревом.

Оно же может применяться для управления температурой почвы и воздуха в пленочных теплицах площадью до 0,5 га. Электрообогрев осуществляется от параллельно соединенных шести рядов стального неизолированного провода диаметром 6 мм, уложенного на глубине не менее 0,25 м в парнике с расстоянием между проводами 0,25 м. Для обогрева воздуха нагревательные провода монтируют на внутренних боковых стенках парника.

Датчики устанавливают в одном из парников, расположенном в центре каждого участка, состоящего из 240 рам: в почве на глубине 0,1 м — датчик температуры почвы, а на боковой стенке парника — датчик температуры воздуха.

Электрообогревательные элементы объединяют в 4 группы по 480 рам и подключают к понижающему трансформатору типа ТМОБ-63. Для питания четырех таких трансформаторов устанавливают электрическую подстанцию мощностью не менее 250 кВт·А.

Понижающие трансформаторы в режиме разогрева парника включают по схеме «звезда — звезда», а в режиме обогрева — по схеме «звезда — треугольник». Трехфазное линейное напряжение на вторичной стороне можно устанавливать переключением ответвлений трансформатора: в первом режиме 125, 103 и 85 В, а во втором — 70, 60 и 49 В.

Рассмотрим работу принципиальной схемы комплекта оборудования для одного понижающего трансформатора (рис. 8.2). Оборудование может работать в ручном режиме при установке универсального переключателя SA1 в положение P или в автоматическом — при установке SA1 в положение A. Ручное включение и отключение трансформатора и электронагревателей EK1...EK4 осуществляют дистанционно при помощи кнопок «Пуск» SB2 и

При низкой температуре регулятор температуры в автоматическом режиме работы контактами SK включает магнитный пускатель КМ одновременно с подачей напряжения 380/220 В. По мере повышения температуры до заданной контакты SK размыкаются, и пускатель КМ отключает нагревательные элементы.

Электротехнической промышленностью разработано для парников комплектное оборудование типа КП-1. Оно предназначено для автоматического управления температурой воздуха и почвы в парниках на 1920 рам с почвенным и воз-

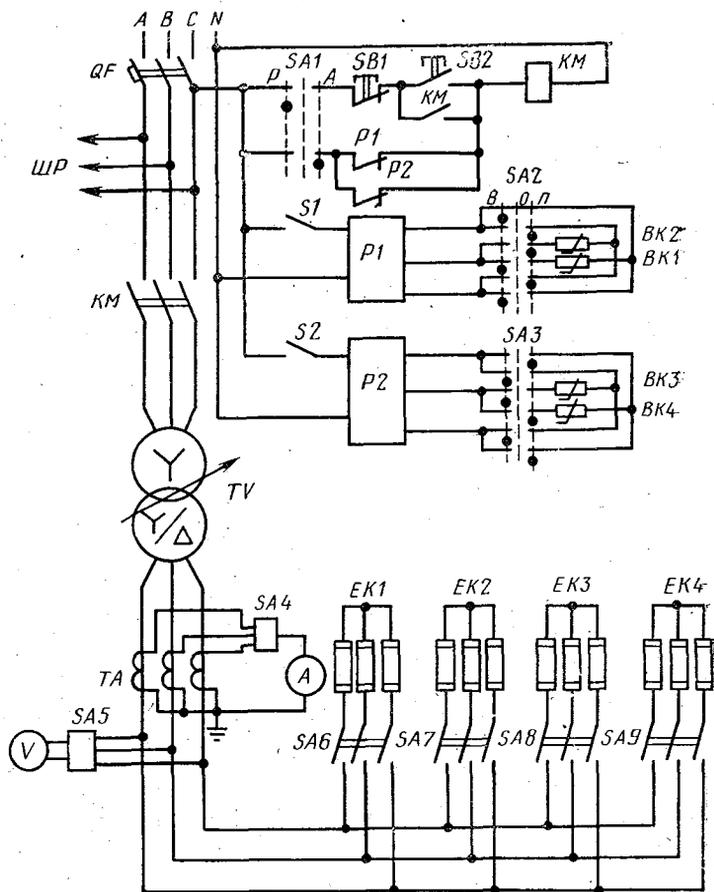


Рис. 8.2. Принципиальная электрическая схема комплекта оборудования типа КП-1.

«Стоп» *SB1*, предварительно включив соответственно рубильники *SA6...SA9* обогрева почвы и воздуха и автомат *QF*.

Автоматическое управление осуществляется при помощи логометров *P1* и *P2*, выполняющих одновременно роль регулятора и роль измерительного прибора для визуального контроля фактической температуры почвы и воздуха в парниках. В измерительные цепи логометров включены по мостовой схеме термометры сопротивления типа TCM, являющиеся датчиками температуры почвы *BK2*, *BK4* и воздуха *BK1* и *BK3*.

Мостовая схема уравнивается при заданной агрослужбой температуре. Если фактическая температура ниже заданной, то замыкаются контакты *P1* или *P2* и включаются магнитным пускателем *KM* трансформатор *TV* и электронагревательные эле-

менты. При повышении температуры до заданной размыкаются контакты  $P1$  и  $P2$ , а магнитный пускатель  $KM$  отключает электропитание. Переключателями  $SA1$  и  $SA2$  и рубильниками  $SA6... SA9$  включают обогрев почвы или воздуха. К штепсельному разъему  $ШР$  подключают электрифицированные механизмы для обработки почвы и ухода за растениями. Силу тока и значение напряжения во всех фазах контролируют амперметром и вольтметром с переключателями  $SA4$  и  $SA5$ . Точность регулирования температуры  $+1,5^\circ$ .

## 8.8. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ МИКРОКЛИМАТОМ В АНГАРНЫХ ТЕПЛИЦАХ

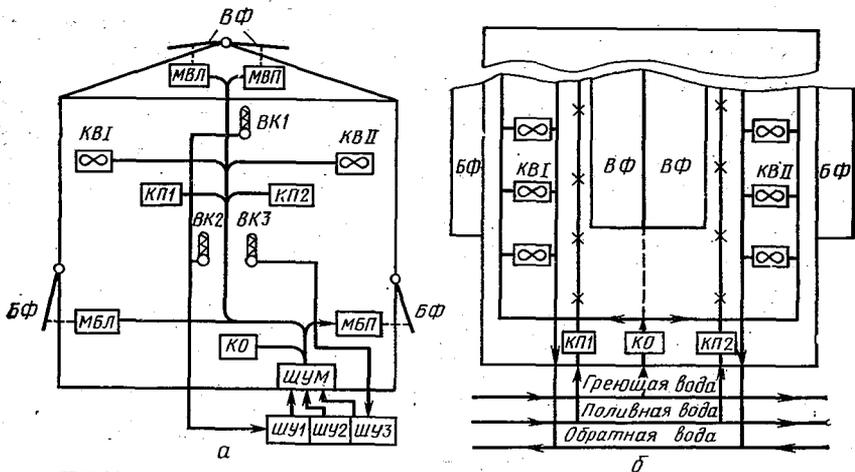
**Общие сведения.** Автоматическое управление температурным режимом осуществляется устройствами регулирования температуры и количества греющего теплоносителя, а также устройствами управления открытием и закрытием форточек вентиляции. В ангарных теплицах в основном используется комбинированный обогрев: водяной обогрев почвы и воздуха и воздушно-калориферный обогрев воздуха от водяных калориферов. Основной обогрев осуществляется греющими регистрами, а дополнительный — от калориферов. От калориферов подогретый воздух подается по воздуховодам и распределяется вентиляционной системой по всей теплице. Благодаря малой инерционности калориферный обогрев дает возможность управлять температурой воздуха с высокой точностью.

Вентиляция теплицы осуществляется через форточки, расположенные в боковых стенах и на кровле. Увлажнение воздуха происходит путем распыления воды через форсунки, закрепленные в подвешенных в теплице водопроводах на расстоянии примерно 3 м одна от другой. Для сбора и отвода воды, образующейся на конструкциях теплицы при распылении и конденсации влаги, устроены специальные желоба, по которым вода стекает в канализацию. Вода на увлажнение воздуха и полив почвы поступает из водоподогревателя под постоянным давлением, создаваемым насосной станцией. Полив осуществляется при помощи дождевальнoй установки или шлангов водой с температурой  $16... 25^\circ\text{C}$ .

Отечественной промышленностью разработано несколько комплектов оборудования для управления микроклиматом ангарных теплиц, например, типа АМТ-600, СК-2, ОРМ-1, УТ-12 и другие. В качестве примера рассмотрим принцип работы комплекта УТ-12.

Основной элементной базой УТ-12 являются бесконтактные транзисторные логические элементы серии «Логика-Т». В связи со снятием этой серии с производства комплект переводится на микросхемную элементную базу серии К-155 и др.

Комплектное оборудование УТ-12 размещено в отдельных шкафах и включает САУ:



Оборудование		Состояние оборудования при отклонении температуры от заданной, град												
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
Клапан отопления		З а к р ы т												
ВЕНТШАЦА	верхняя правая													
	верхняя левая													
	боковая правая													
	боковая левая													
Отопительные калориферы	КВ I	Включен												
	КВ II	Отключен												

в

Рис. 8.3. Схема размещения оборудования УТ-12 в теплице (а — вид с торца, б — вид сверху) и последовательность его работы (в).

температурой воздуха в теплицах, в бытовых помещениях и коридоре;  
 температурой почвы;  
 температурой поливной воды;  
 поливом почвы и увлажнением воздуха;  
 концентрацией растворов минеральных удобрений;  
 подачей углекислого газа и облучением растений.

Комплект рассчитан на управление указанными параметрами в 12 отделениях теплицы, а также температурой в соединительном коридоре и в бытовых помещениях. Он обеспечивает поддержание температуры воздуха, почвы и поливной воды с точностью до  $\pm 1,5^\circ$  в диапазоне заданных температур (0...40 °С), концентрации растворов минеральных удобрений с точностью до  $\pm 0,005$  МПа в диапазоне от 0,01 до 0,2 МПа осмотического давления. Кроме управления параметрами микроклимата, комплект УТ-12 осуществляет их измерение и регистрацию.

В первом шкафу управления ШУ1 (рис. 8.3) размещены САУ температурой воздуха и почвы в 12 отделениях теплицы и тем-

пературой воздуха соединительного коридора и бытовых помещений, а также контрольно-регистрационная система температуры воздуха в 12 отделениях теплицы.

Во втором шкафу управления *ШУ2* размещены САУ поливом почвы и увлажнения воздуха, а также САУ подачей углекислого газа и облучением растений в 12 отделениях теплицы.

В третьем шкафу *ШУ3* расположены САУ температурой поливной воды, концентрацией растворов минеральных удобрений, система контроля температурой наружного и в 24 точках внутреннего воздуха, а также система контроля скорости ветра.

В четвертом шкафу расположена пускозащитная аппаратура насосов поливной воды и насосов подачи концентрированного раствора минеральных удобрений, а также пускозащитная аппаратура технологических установок приготовления минеральных удобрений и управления температурой воздуха коридора и бытовых помещений.

В пятом шкафу управления установлена промежуточная аппаратура, предназначенная для управления электромагнитными вентилями полива и другим оборудованием теплицы. В соединительном коридоре для каждого отделения теплицы расположены местные шкафы управления оборудованием (*ШУМ*).

В теплице устанавливают панель датчиков температуры и панель датчиков влажности. Кроме того, устанавливают датчики освещенности, скорости ветра, температуры поливной воды, концентрации растворов минеральных удобрений и другие.

Электропитание шкафов *ШУ1...ШУ3* осуществляют от специальных блоков, подключаемых к трехфазной сети 220/380 В.

САУ температурой работает по многопозиционному закону регулирования и воздействует на 16 исполнительных механизмов, охватывающих 12 отделений тепличного блока, соединительный коридор, бытовое помещение и две системы почвенного обогрева.

Управление температурой воздуха в теплице осуществляется при помощи двух групп водяных калориферов *КVI* и *КVII*, коньковой (верхней) *ВФ* и боковой *ВФ* систем форточек. Греющая вода из котельной подается в теплицу через клапан отопления *КО*, а теплая вода для полива — через клапаны *КП1* и *КП2*. Открытие и закрытие верхней и боковой форточной вентиляции осуществляются при помощи исполнительных механизмов верхней левой *МВЛ* и правой *МВП*, а также боковых левой *МБЛ* и правой *МБП* систем вентиляции.

Последовательность работы и состояние оборудования управления температурой в теплице зависят от значения и знака отклонения температуры от заданной (рис. 8.3, *в*). Электрическая схема управления температурой воздуха приведена на рисунке 8.4.

Блок дешифрации *BD1* генерирует импульсы с периодом 15 с. Кольцевой счетчик *BD2* и 16-позиционный переключатель поочередно подключают датчики температуры *ВК1...ВК16* и задат-

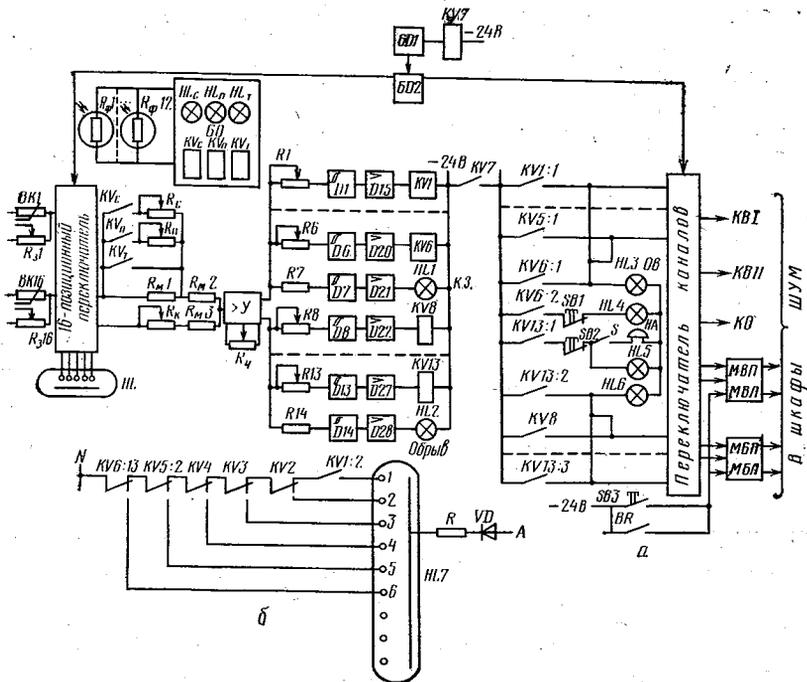


Рис. 8.4. Принципиальные электрические схемы управления температурой воздуха в ангарных теплицах (а) и включение цифровой сигнальной лампы (б).

чики  $R_3, 1 \dots R_3, 16$  к измерительному мосту через каждые 4 минуты.

Сигнал разбаланса с измерительного моста усиливается фазочувствительным усилителем  $\mathcal{U}$  и поступает на пороговые элементы  $D1 \dots D14$ , собранные по схеме двухпозиционного селектора уровня напряжений.

Переменными резисторами  $R1 \dots R6$ ;  $R8 \dots R13$  осуществляют настройку порога срабатывания каждого из элементов  $D1 \dots D6$ ;  $D8 \dots D13$  с шагом в  $1^\circ$  в диапазоне отклонений температуры от  $-6$  до  $+6^\circ$  от заданной. Элементы  $D7$  и  $D14$  срабатывают соответственно при коротком замыкании и обрыве в цепях датчиков температуры.

Элементы  $D15 \dots D28$  служат усилителями мощности. Их нагрузкой являются катушки реле  $KV1 \dots KV6$ ,  $KV8 \dots KV13$  и лампы  $HL1$  и  $HL2$ , сигнализирующие соответственно о коротком замыкании и обрыве в цепях управления.

Напряжение 24 В подается в шкафы ШУМ (см. рис. 8.3 и 8.4) на управление исполнительными механизмами через замыкающие контакты  $KV7$ . При этом блок  $BD1$ , включающий реле  $KV7$  через каждые 15 с, обеспечивает пятисекундную выдержку

времени срабатывания реле *KV7*. Эта выдержка необходима для исключения передачи ложного сигнала к исполнительным механизмам, возникающего из-за переходных процессов в переключателях датчиков.

Пороговые элементы срабатывают и через реле *KV1...KV13* включают соответствующие исполнительные механизмы в зависимости от отклонения температуры воздуха от заданной: правая (левая) верхняя коньковая вентиляция включается при повышении температуры в теплице на 2 (3)°, а правая (левая) боковая стенная вентиляция — на 4 (5)°.

При отклонении температуры от заданной на  $-1^\circ$  клапан отопления *КО* (рис. 8.3) открывается «шагами» (один «шаг» за один цикл опроса); на  $-3^\circ$  — включается первая отопительная группа калориферов *KBI*; на  $-4^\circ$  — вторая *KBII*. При отклонении температуры от заданной на  $\pm 6^\circ$  срабатывают пороговые элементы *D6* или *D13*, которые через реле *KV6* или *KV13* включают аварийную звуковую *HA* и световую *HL4* или *HL5* сигнализации.

Сигнальные лампы *HL3* и *HL6* показывают знак отклонения температуры (соответственно ниже или выше заданной). Значение отклонения температуры определяется по высвеченной цифре в неоновой лампе. Например, при отклонении на  $-1^\circ$  включается реле *KV1* и загорается цифра 1 неоновой лампы *HL7*, при  $-2^\circ$  срабатывает реле *KV2* и своим контактом *KV2* подключает в схему цифру 2 и т. д. (рис. 8.4, 6). Сигнальная лампа *HL* показывает в цифрах номер подключенного отделения теплицы.

Резисторами *R<sub>31</sub>...R<sub>316</sub>* устанавливаются заданные значения температуры в 16 объектах, резистором *R<sub>к</sub>* корректируют измерительный мост, а резистором *R<sub>ч</sub>* — изменяют чувствительность (коэффициент усиления) усилителя *У*.

Блоком *БО* вместе с 12 датчиками освещенности *R<sub>ф1</sub>...R<sub>ф12</sub>* автоматически корректируется заданное значение температуры в зависимости от освещенности в теплице. При освещенности более 10 клк срабатывает реле *KV<sub>с</sub>*, контакты которого включают сигнальную лампу *HL<sub>с</sub>* «Светло» и резистор *R<sub>с</sub>*, вызывающий температурную надбавку уставки до 5°. При снижении освещенности до 5...10 клк срабатывает реле *KV<sub>п</sub>*, которое включает сигнальную лампу *HL<sub>п</sub>* «Пасмурно» и резистор *R<sub>п</sub>*, соответствующий температурной надбавке около 2,5°. При низкой освещенности, например в ночное время, срабатывает реле *KV<sub>т</sub>*, которое включает сигнальную лампу *HL<sub>т</sub>* и выдает своим контактом *KV<sub>т</sub>* задание на управление температурой, соответствующей темному периоду суток. Перевод схемы с автоматического управления на ручное и обратно выполняют в соответствующем шкафу местного управления *ШУМ*.

В случае необходимости экстренного закрытия форточек или изменения их положения одновременно во всех 12 отделениях используют кнопку *SB3*. Полностью форточки закрываются также и автоматически по команде от анемометра *BR* при достижении скорости ветра предельно допустимого значения. Положение фор-

точек, текущее значение температуры наружного воздуха и температуры в теплицах контролируют приборы. Кроме этого, температура в теплицах регистрируется 12-канальным автоматическим мостом.

### 8.9. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОЛИВОМ

Автоматическое управление поливом в ангарных теплицах при помощи оборудования УТ-12 осуществляется раздельно для нижней и верхней систем полива. Вода для полива поступают через нижнюю систему труб, которую используют также для подачи растворов минеральных удобрений. Трубы для полива можно устанавливать на высоте от 0 до 2,2 м.

Поливная вода распределяется по группе труб через электромагнитный вентиль. В каждой теплице установлена группа вентиля, которая поочередно включается на 2...4 мин в одной теплице, затем в другой и т. д.

Увлажнение воздуха в теплице происходит за счет кратковременного (на 10...30 с) открытия вентиля системы труб верхнего полива. Высота подвески системы верхнего полива не изменяется. Воду, используемую для полива и увлажнения, предварительно подогревают до заданной температуры.

Система автоматического управления температурой поливной воды размещается в шкафах ШУЗ (рис. 8.3), а в четвертом шкафу — оборудование управления насосами и регулирующим клапаном КЛ. Она работает следующим образом (рис. 8.5).

Датчик температуры поливной воды ВК2 и датчик R1 температуры в диапазоне от 0 до 40 °С подсоединяют к блоку регулирующего прибора БРП1. При отклонении температуры от заданной на  $\pm 1^\circ$  срабатывают соответствующие пороговые элементы в блоке БРП2 и включается реле КV1 или КV2. При снижении температуры на  $1^\circ$  включается реле КV1, которое вызывает срабатывание исполнительного механизма ИМ, увеличивающего через регулирующий клапан КР впуск греющей воды в подогреватель поливной воды ППВ. При повышении температуры на  $1^\circ$  включается реле КV2, которое подает сигнал к ИМ на уменьшение пропуска греющей воды через регулирующий клапан. Для исключения перерегулирования при изменении открытия исполнительного механизма применяют импульсный прерыватель — генератор импульсов БД1 и реле КV3. На реле КV3 от блока БД1 поступа-

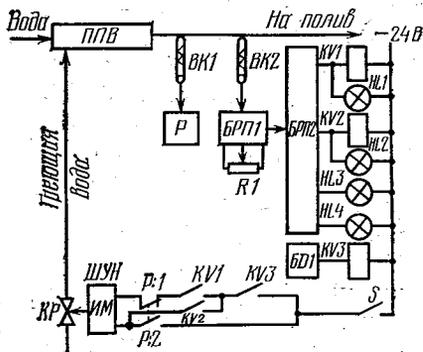


Рис. 8.5. Принципиальная схема управления температурой поливной воды.

ют через каждые 20 с импульсы с установленной при наладке длительностью от 1 до 10 с. Изменение выпуска греющей воды происходит кратковременно только при замкнутом положении контактов реле *KV3* и *KV1* или *KV2*, что исключает перерегулирование температуры из-за инерционности ППВ. Логометр *P* при помощи датчика *BK1* измеряет температуру поливной воды и ограничивает ее максимальное значение в случае возникновения аварийной ситуации.

При достижении максимально допустимого значения температуры воды логометр размыкает контакты *P1* и замыкает контакты *P2*, что вызывает форсированное закрытие регулирующего клапана *KP*. Затем при снижении температуры воды до установленного значения контакты логометра возвращаются в исходное положение и вводят в работу систему регулирования температуры воды. Сигнальные лампы показывают следующее: *HL1* — температура воды меньше заданной, *HL2* — больше заданной, *HL3* — обрыв и *HL4* — короткое замыкание в цепи датчиков.

Схема автомата полива приведена на рисунке 8.6, а. Программу полива 12 теплиц набирают тумблерами *SA2...SA24*, программу увлажнения — тумблерами *SA1...SA23* (на рисунке не показаны). 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) управляют переключателем *SA1*, а кратность полива (1...5) — тумблерами *SA25...SA29*. При помощи реле *KV1...KV12* и тумблеров *SA2...SA24* включают соответствующие группы электромагнитных вентилей полива *VA1...VA12* через промежуточные реле, расположенные в местных шкафах управления ПУМ. Вентили могут быть включены вручную при помощи тумблера *SA30* и переключателя *SA31*. Последовательность работы элементов схемы показана на рисунке 8.6, б.

Систему полива включают кнопкой *SB* или по цепи *a* через реле *KV14* (см. рис. 8.8) в заданное время суток. При этом включаются реле *KV18* и *KV19* (рис. 8.6), 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 БДЗ срабатывает реле *KV23*, которое включает основной насос полива ПП через промежуточное реле, расположенное в шкафу ШУН.

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», который через 1 мин

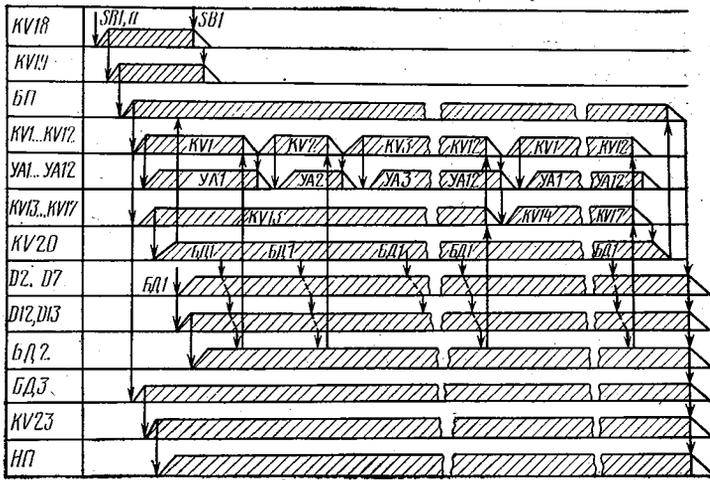
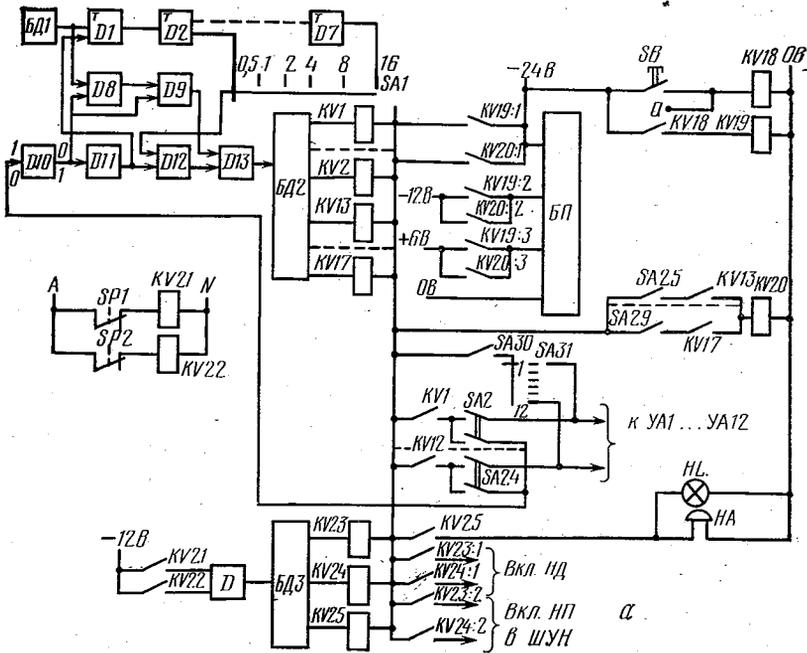


Рис. 8.6. Принципиальная электрическая схема автомата УТ-12 полива почвы (а) и последовательность работы элементов схемы (б).

при помощи блока кольцевого счетчика *БДЗ* отключает реле *KV23* и подключает реле *KV24*. Реле *KV24* подает команду на включение резервного насоса полива *НП*. Если в течение следующей минуты давление в системе полива не появится, то реле *KV24* отключится, а реле *KV25* включит ревун *НА* и сигнальную лампу *НЛ* «Авария». Насосы-дозаторы *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 выход 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 16 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 из *SA2...SA24* не включен. В этом случае при срабатывании соответствующего реле из *KV1...KV12* на вход элемента *D10* «НЕ» 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.

#### 8.10. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ РАСТВОРОВ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Система автоматического управления концентрацией растворов минеральных удобрений (рис. 8.7) 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 бассейне *Б*, откуда насосами-дозаторами *НД* подают его

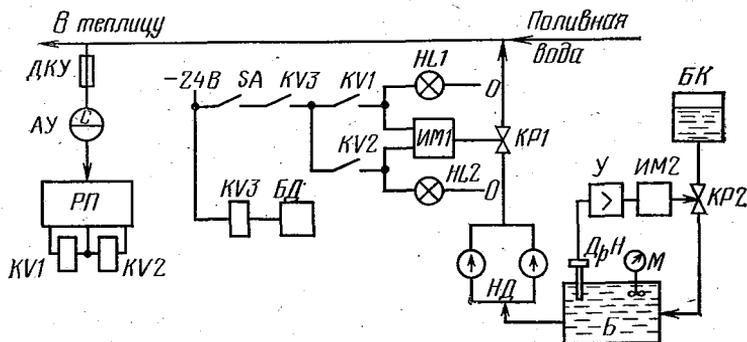


Рис. 8.7. Принципиальная электрическая схема управления концентрацией растворов минеральных удобрений.

через регулирующий клапан *KP1* в поливную воду. Насосы *HD* включаются от реле *KV22*, *KV23* и *KV24* аналогично включению поливных насосов *HP* (рис. 8.6, а).

Концентрацию удобрений в поливной воде измеряют датчиком *DKY* (рис. 8.7) кондуктометрического типа (по электропроводности раствора). Он имеет встроенный терморезистор, предназначенный для компенсации температурной погрешности.

Датчик устанавливают в трубопровод за участком смещения концентрированного раствора и поливной воды. Его присоединяют через анализатор удобрений *AУ* к регулируемому прибору *PP*, который настраивают на двухпозиционное управление исполнительным механизмом *ИМ1* при помощи реле *KV1* «Концентрация больше» и *KV2* «Концентрация меньше». Например, если концентрация минеральных удобрений в поливной воде больше заданной, то срабатывает реле *KV1*, которое включает исполнительный механизм на уменьшение пропуски клапаном *KP1* концентрированного раствора. При этом загорается сигнальная лампа *HL1*. Если концентрация удобрений меньше заданной, то срабатывает реле *KV2* и исполнительный механизм открывает регулирующий клапан *KP1*. При достижении концентрации заданного значения реле *KV1* или *KV2* отключает исполнительный механизм. Для улучшения качества двухпозиционного регулирования используется импульсный прерыватель, состоящий из реле *KV3* и блока *БД* генератора импульсов с периодом 20 с. Его принцип действия приведен в описании системы регулирования температуры питательной воды (рис. 8.5).

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 рН. При  $\text{pH} < 4$  рост большинства растений затормаживается из-за снижения усвоения растением катионов минеральных веществ из почвы. При  $\text{pH} > 8$  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 рН, которое для большинства растений находится в пределах от 5 до 7 единиц рН. В процессе 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.

Схема управления значением рН раствора минеральных удобрений показана в правой части рисунка 8.7.

При отклонении рН раствора от заданного значения на выходе датчика  $\Delta \text{pH}$  изменяется гальваническое напряжение, которое усиливается усилителем  $У$  с большим входным сопротивлением. С усилителя сигнал поступает на исполнительный механизм  $ИМ2$ , который изменяет степень открытия регулирующего клапана  $КР2$ . Это приводит к изменению подачи из бака  $БК$  специального раствора, корректирующего значение рН раствора удобрений в бассейне  $Б$ . Мешалка с электроприводом  $М$  обеспечивает выравнивание концентрации минеральных удобрений и значения рН по всему объему раствора.

Управлять значением рН обязательно необходимо при выращивании растений в гидропонных теплицах.

#### 8.11. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОДКОРМКОЙ УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ И ДОСВЕЧИВАНИЕМ РАСТЕНИЙ

Подкормку растений углекислым газом осуществляют путем сжигания природного газа в специальных генераторах  $\text{CO}_2$  или подачи в теплицу дымовых газов из тепличных котельных, реже из специальных газовых баллонов, содержащих  $\text{CO}_2$ .

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  $\text{CO}_2$  работает по заданной временной программе с 24-часовым циклом (рис. 8.8). На вход

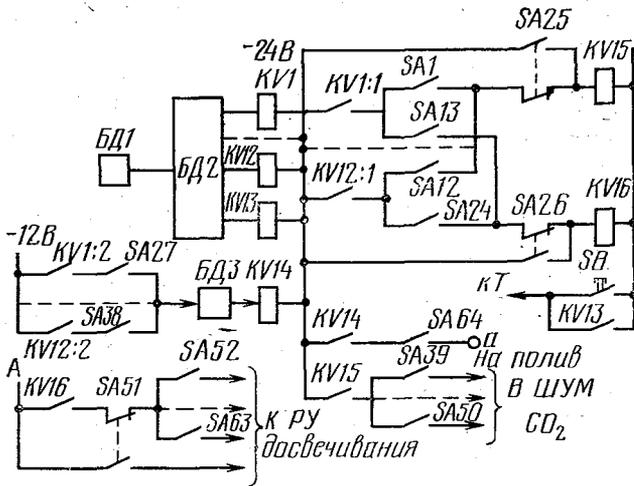


Рис. 8.8. Принципиальная схема управления подкормкой углекислым газом, досвечиванием растений и включением полива в заданное время.

12-позиционного кольцевого счетчика *БД2* поступают от блока генератора *БД1* импульсы с периодом 2 ч. Эти импульсы поочередно включают реле *KV1...KV12*, которые управляют промежуточным реле *KV15*. Реле *KV15* управляет газогенераторами  $CO_2$  в теплицах через промежуточные реле, размещенные в шкафу *ШУМ*. После отключения реле *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  $CO_2$ , набирают тумблерами *SA39...SA50*, а длительность подкормки  $CO_2$  устанавливают 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 *OT-400E* и *OT-400И* с ртутной лампой ДРЛФ мощностью 400 Вт на 220 В. Лампа, подвешенная на высоте 1,5 м, равномерно освещает площадь до 4 м<sup>2</sup>.

Схема автоматического управления досвечиванием работает аналогично схеме управления подкормкой  $CO_2$ .

Контакты реле *KV16* подключают фазу *A* через тумблеры *SA52...SA63* «Участок досвечивания» к распределительным щиткам *PУ* управления досвечиванием.

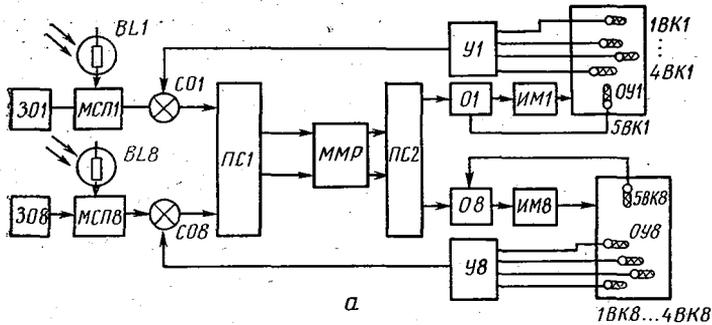
Длительность досвечивания определяется в часах и равна двойному числу одновременно включенных тумблеров *SA13...SA24* «Досвечивание», а начало и конец досвечивания определяются первым и последним из включенных тумблеров. Ручное управление досвечиванием осуществляют тумблерами с распределительных щитков управления *PУ*.

Реле *KV1...KV12* и *KV14* совместно с блоком дешифрации *БДЗ* и тумблерами *SA64*; *SA27...SA38* осуществляют «Включение полива в заданное время» через реле *KV18* (рис. 8.6, *a*). При помощи тумблеров *SA27...SA38* (рис. 8.8) 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.

## 8.12. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В БЛОЧНЫХ ТЕПЛИЦАХ

В последние годы теплицы в СССР оснащают по линии СЭВ комплектным оборудованием техники промышленного измерения, управления и регулирования для комплекса теплиц в 6 га производства Народного предприятия «Тельтов» (ГДР). Комплект оборудования «Тельтов» непрерывно совершенствуется и выполняется на интегральных микросхемах. Его выпускают в двух вариантах — многоканальном и локальном. Система по многоканальному варианту включает восемь каналов (контуров) управления температурой и влажностью воздуха в теплицах с водотрубным обогревом, каналы управления температурой воды подпочвенного обогрева и воды для полива, канал управления концентрацией раствора минеральных удобрений в поливной воде, систему полива почвы и увлажнения воздуха, систему управления установками досвечивания растений и систему контроля и сигнализации о состоянии оборудования и значении управляемых параметров.

Комплект «Тельтов» локального варианта рассчитан на управление 10 автономными теплицами и в каждой из них позволяет регулировать параметры микроклимата в зависимости от освещенности и других метеоусловий, контролировать основные эксплуатационные параметры системы и сигнализировать об аварийных отклонениях основных параметров управления от заданных значений. Он также позволяет оператору на месте или централизованно с диспетчерского пункта управлять технологическими процессами и выполнять ряд других технологических операций: управлять температурой питательного раствора для гидропонных теплиц, защитным экраном для затенения теплиц, дополнительным освещением, экстренно закрывать форточки теплиц при усилении ветра и т. п.



а

Оборудование	Состояние оборудования при отклонении температуры от заданной, град							
	-7	-2,5	-1,5	-0,7	0,7	2	5	10
Водяное отделение	Хatched	Хatched	Хatched	Хatched	Хatched			
Калориферы I	Хatched	Хatched	Хatched	Хatched				
Калориферы II	Хatched	Хatched	Хatched	Хatched				
Коньковые и доковые форточки					Хatched	Хatched	Хatched	Хatched
Осевой вентилятор					Хatched	Хatched	Хatched	Хatched
Аварийная сигнализация	Хatched							Хatched

б

Рис. 8.9. Функциональная схема управления температурой системы «Тельтов» (а) и последовательность работы оборудования в теплице (б).

Функциональная схема управления температурой воздуха в теплице многоканальной системы «Тельтов» приведена на рисунке 8,9, а. Принцип ее действия аналогичен работе схемы УТ-12 (рис. 8.4, а).

Текущее значение температуры в каждой теплице ОУ1...ОУ8 измеряется четырьмя термометрами сопротивления (датчики температуры 1ВК...4ВК), показания которых усредняются в устройстве У и передаются на органы сравнения СО и на показывающие приборы, установленные на пульте оператора. Требуемое значение температуры устанавливается задающими органами ЗО и корректируется в зависимости от внешней освещенности при помощи фоторезисторов ВЛ и многоканальных сумеречных переключателей МСН. Выходы сравнивающих органов СО1...СО8 и исполнительные механизмы ИМ1...ИМ8 соответствующих объектов управления ОУ1...ОУ8 подключаются при помощи синхронных переключателей РС1 и РС2 поочередно к многоканальному многопозиционному регулятору ММР. Этот регулятор при отклонении температуры от заданной последовательно управляет че-

рез исполнительные механизмы регулирующими органами, которыми являются форточки естественной вентиляции и трехходовые смесительные клапаны. Клапаны изменяют добавку горячей воды, поступающей из котельной, в замкнутую греющую систему водяного отопления. Температура греющей воды замеряется датчиками *5BK1...5BK8* и в случае достижения предельно допустимых значений автоматически ограничивается при помощи ограничителей *01...08*. Одновременно выдается светозвуковой сигнал.

После возвращения температуры в заданные пределы ограничительные блокировки снимаются автоматически.

Открытие и закрытие клапана водяного отопления происходит ступенчато до 5 шагов, а фрамуг — до 3 шагов. Шаг перемещения регулирующего органа задают при наладке системы таким образом, чтобы температура за один шаг изменялась на  $0,5...1^{\circ}$ .

На рисунке 8.9, б показана последовательность включения регулятором *ММР* оборудования управления температурой в блочной теплице в зависимости от отклонения фактической температуры от заданной. При отклонении температуры на  $-0,7^{\circ}$  исполнительный механизм переставляет на 1 шаг регулирующий клапан, установленный на входе теплоносителя в теплицу. Если температура понижается, то при следующих циклах опроса датчиков температуры регулятор выдает поочередно импульсы на второй, а затем третий, четвертый и пятый шаг регулирующего клапана. При отклонении температуры до  $-1,5^{\circ}$  включаются калориферы группы *I*, а при  $-2,5^{\circ}$  — калориферы группы *II*. В случае отклонения температуры до  $-7^{\circ}$  срабатывает звуковая и световая аварийная сигнализация.

При повышении температуры происходит автоматическое отключение указанного оборудования в обратной очередности: вначале отключаются воздухокалориферы *II* и *I* группы соответственно при отклонении  $-2,5$  и  $-1,5^{\circ}$ , а затем регулировочный клапан при  $+0,7...2,5^{\circ}$  уменьшает ступенчато выпуск теплоносителя в теплицу. При дальнейшем росте положительного отклонения температуры до  $5^{\circ}$  открываются коньковые и боковые форточки, а затем включается осевой вентилятор.

В жаркий летний день положительное отклонение температуры может расти даже при всех включенных вентиляторах. При достижении отклонения температуры  $+10^{\circ}$  включается аварийная и звуковая сигнализация. При снижении отклонения температуры сначала отключается осевой вентилятор при  $+5^{\circ}$ , а затем ступенями закрываются форточки коньковой и боковой вентиляции.

Управление влажностью воздуха происходит следующим образом. При отклонении относительной влажности воздуха от заданной включается в работу схема автоматического управления увлажнением или осушкой воздуха. Осушка воздуха осуществляется методом «сухого отопления», то есть путем повышения температуры воздуха при помощи системы отопления, а затем открытия форточек системы естественной вентиляции.

При осушке воздуха автоматическая система управления температурой выводится из работы. Если температура воздуха в теплице превысит заданное значение на  $10^{\circ}$ , то «сухое отопление» прекращают.

Система полива и увлажнения в многоканальном комплекте «Тельтов» состоит из двух блоков, каждый из которых объединяет 30 контуров орошения и управляет ими. Оба блока могут быть настроены на автоматический полив или увлажнение до 60 контуров продолжительностью полива от 0,5 до 20 мин каждого контура и кратностью 1...4 раза.

Увлажнение осуществляется в один цикл длительностью 0,1 от заданной длительности полива. Повторно система увлажнения может быть включена только по истечении выдержки времени, достаточной для испарения поданной в теплицу воды. При одновременной подаче сигналов на полив и увлажнение, а также при проходе сигнала на увлажнение во время полива в первую очередь выполняется команда увлажнения, даже с прерыванием цикла полива. После окончания цикла увлажнения полив теплицы продолжается в соответствии с заданной программой.

Подогрев поливной воды осуществляют аналогично системе УТ-12. Защита от повышения и понижения температуры поливной воды действует на открытие электромагнитного клапана на линии сброса воды в канализацию.

О начале и конце полива, номере поливаемой теплицы и номере цикла полива, а также о потребности в поливе теплицы сигнализируют соответствующие лампочки.

Световая сигнализация срабатывает также при предельных значениях температуры поливной воды, отключении насоса, отключении напряжения управления и повреждении электромагнитных вентилях.

Схема управления концентрацией растворов минеральных удобрений позволяет вручную или автоматически вводить жидкие удобрения в поливную воду. Автоматическое включение насосов-дозаторов растворов минеральных удобрений происходит только в том случае, когда кратность полива превышает единицу. Жидкие удобрения вводятся в поливную воду только в первом цикле полива. Этим гарантируется в последующие циклы промывка системы полива от удобрений. В случае прекращения полива автоматически прекращается подача раствора.

Управление подкормкой растений углекислым газом в комплекте «Тельтов» осуществляется от программного реле. По команде этого реле включаются все газогенераторы одной теплицы минимум на 1 ч. Вентиляционные форточки на время подкормки принудительно закрываются.

Управление досвечиванием используется в рассадных отделениях и может осуществляться автоматически, полуавтоматически и вручную. При автоматическом управлении включение досвечивания осуществляется от датчика при естественной освещенности ниже 5 клк. При этом все пять распределительных устройств РУ

в теплице площадью 0,5 га включаются поочередно с регулируемой выдержкой времени от 0,5 до 6 мин. Этим исключаются броски тока, которые могли быть при одновременном включении всех ламп досвечивания. Датчик освещенности имеет выдержку времени 1...2 с, исключающую ложное срабатывание схемы на отключение при кратковременных вспышках света (от молнии, освещения фар автомобиля и т. п.).

Отключение досвечивания осуществляется от программного реле через 2...24 ч. При полуавтоматическом управлении включают досвечивание вручную, а отключается оно от программного реле.

### 8.13. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПРИ ПОМОЩИ ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «ТЕЛЬТОВ»

Локальная система «Тельтов» рассчитана на управление микроклиматом от одной до десяти автономных (локальных) теплиц. В каждой теплице предусмотрено управление температурой воздуха при помощи водотрубного и калориферного обогрева, естественной вентиляции и увлажнения воздуха, а также управление температурой почвы, влажностью воздуха и концентрацией  $\text{CO}_2$  в теплице.

В системе предусмотрена возможность управления температурой питательного раствора для гидропонных теплиц, управления защитными экранами затенения, дополнительным освещением, а также увлажнением и поливом почвы. Блок полива состоит из двух секций, каждая из которых способна обеспечить либо режим только увлажнения, либо режим параллельной работы устройств увлажнения и полива. Блок может управлять в теплице 16 электромагнитными вентилями, объединенными в общую или в отдельные системы увлажнения и полива, при этом осуществляется регулирование температуры поливной воды.

Длительность цикла увлажнения в системе можно изменять автоматически в зависимости от естественной освещенности.

Каждый из узлов устройств набирается из отдельных модулей, закрепленных при помощи штепсельных разъемов на поворотной раме в кассетном шкафу.

По рисунку 8.10 рассмотрим функциональную схему управления параметрами микроклимата локальной системой «Тельтов».

Управление температурой воздуха осуществляется с непрерывной коррекцией заданного значения в зависимости от освещенности.

Температура воздуха в теплице измеряется четырьмя датчиками температуры  $BK1...BK4$  и через усилитель  $У1$  подается к пороговым элементам  $D4$  и  $D5$ , которые срабатывают и выдают сигналы о достижении предельных отклонений управляемой температуры  $\theta_{\max}$  и  $\theta_{\min}$ .

Задающее воздействие для регуляторов температуры  $P1...P3$  корректируется в суммирующем усилителе  $У2$  как сумма сигнала

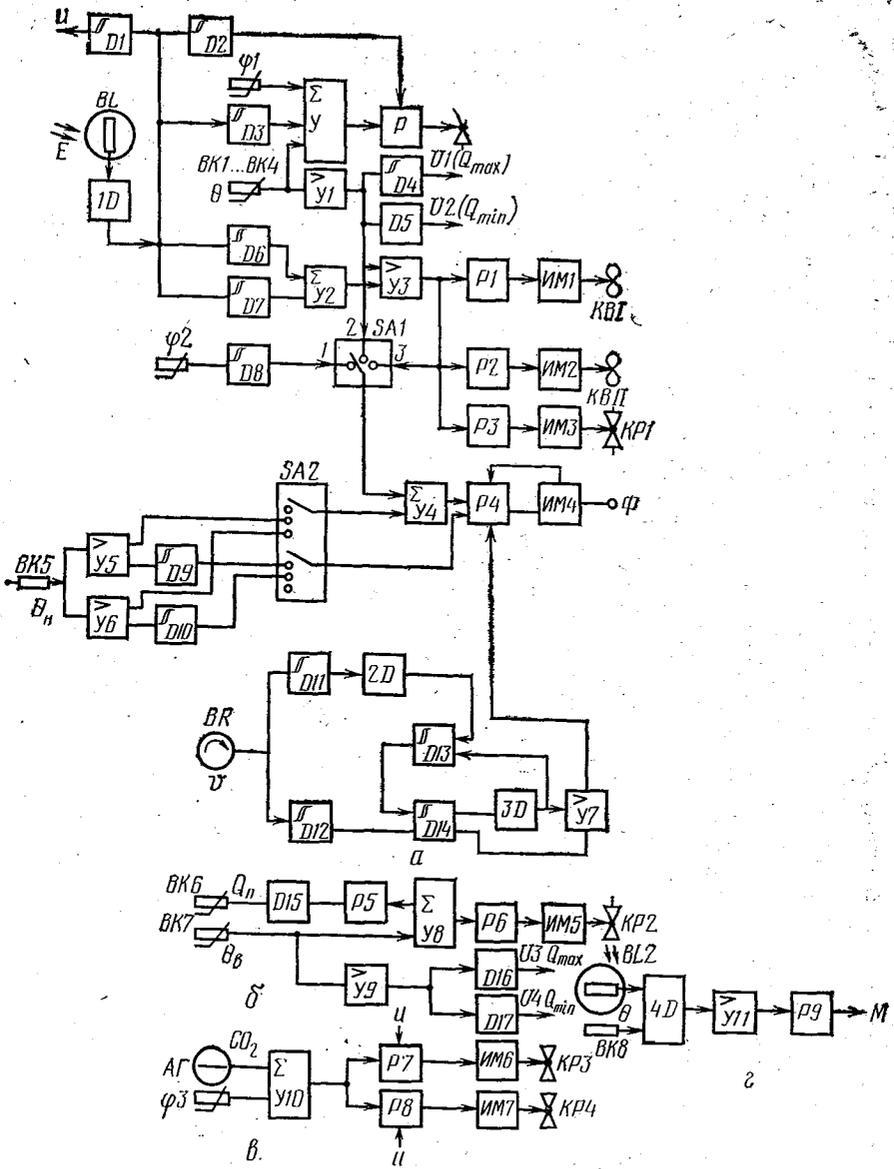


Рис. 8.10. Функциональные схемы управления технологическими процессами в автономных теплицах системы «Тельтов»:

а — температурой и влажностью воздуха; б — температурой почвы; в — подкормкой углекислым газом; г — теплозащитным экраном.

лов, пропорциональных заданному значению ночной температуры (с элемента  $D6$ ) и уровню освещенности, определяющему момент перехода от ночной температуры к дневной и обратно (с элемента  $D7$ ).

Естественный уровень освещенности  $E$  измеряется фотодатчиком  $BL$  и преобразуется в постоянное напряжение 0...2,5 В в пределах от 0 до 50 клк освещенности, а затем через элемент выдержки времени  $ID$  и пороговые элементы  $D6$  и  $D7$  поступает к усилителю  $У2$ .

Выдержка времени в элементе  $ID$  необходима для отстройки от ложной корректировки температуры в теплице при кратковременных изменениях освещенности.

С усилителя  $У3$  сигнал поступает на ПИ-регулятор  $P3$ , управляющий при помощи исполнительного механизма  $ИМ3$  трехходовым регулирующим клапаном  $KP1$  на водотрубном обогреве, и на двухпозиционные регуляторы  $P1$  и  $P2$ , управляющие через исполнительные механизмы  $ИМ1$ ,  $ИМ2$  двумя группами калориферов  $KB1$  и  $KBII$ .

Если система обогрева теплицы имеет раздельное управление водотрубным обогревом почвы и шатра, то при снижении температуры регулятор  $P3$  переключается на управление обогревом шатра только после того, как обогрев почвы будет включен на полную мощность.

Предельные значения температуры воздуха определяются по появлению напряжений  $U1$  и  $U2$  на выходе элементов  $D4$  и  $D5$ .

При перегреве воздуха в теплице в работу автоматически вступает система естественной вентиляции.

Система управления вентиляцией состоит из переключателя  $SA1$ , суммирующего усилителя  $У4$ , пропорционального регулятора  $P4$ , исполнительного механизма  $ИМ4$  и группы форточек  $\Phi$ . В зависимости от положения переключателя  $SA1$  регулятор  $P4$  либо действует как стабилизатор температуры без коррекции по освещенности (переключатель  $SA1$  в положении 2), либо управляет температурой с корректировкой по освещенности (положение 3), либо работает в режиме осушения воздуха методом «сухого отопления» (положение 1). В последнем случае система работает от датчика относительной влажности  $\varphi_2$  в пределах от 65 до 98%. Регулятор  $P4$  охвачен жесткой обратной связью с положением регулирующего органа исполнительного механизма  $ИМ4$ , что способствует повышению качества управления температурой.

Этот же канал управления исключает возможность попадания в теплицу холодного воздуха при снижении температуры  $\theta_n$  наружного воздуха. Сигнал от датчика  $BK5$  наружной температуры усиливается усилителями  $У5$  и  $У6$  и передается через переключатель  $SA2$  и суммирующий усилитель  $У4$  к регулятору  $P4$ , который при помощи исполнительного механизма  $ИМ4$  закрывает форточки.

По второму каналу через пороговые элементы  $D9$  и  $D10$  подается к регулятору  $P4$  сигнал блокировки, запрещающий откры-

тие форточек от команд, приходящих с переключателя *SA1*. Работа регулятора *P4* на открытие форточек блокируется в случае снижения наружной температуры ниже 15°C. Переключателем *SA2* выбирают канал ограничения, соответствующий выращиваемой культуре. Если форточки были открыты, то сигналы, поступающие с переключателя *SA2* на усилитель *У4* и регулятор *P4*, подают команды исполнительному механизму *ИМ4* на закрытие форточек. Сигнал подается до тех пор, пока разбаланс входных сигналов на суммирующем усилителе *У4* не станет равным нулю. Таким образом, система вентиляции имеет переменное ограничение степени открытия форточек, зависящее от значения наружной температуры. Необходимую степень ограничения открытия форточек задают специальным задатчиком, не показанным на рисунке.

Система вентиляции имеет защиту от увеличения скорости ветра, которая вызывает принудительное закрытие форточек при достижении предельной скорости ветра в течение длительного периода времени.

Скорость ветра измеряется чашечным анемометром *BR*, напряжение с которого поступает к пороговым элементам *D11* и *D12*, определяющим соответственно минимальное и максимальное значение скорости ветра. Если при закрытых форточках скорость ветра достигнет установленного максимального значения, то через пороговый элемент *D12*, логический элемент «ИЛИ» *D14* и усилитель *У7* выдается на регулятор *P4* сигнал, блокирующий открытие форточек от любых других сигналов.

Если форточки были открыты, то сигнал с элемента *D14* через элемент выдержки времени *3D* (<1 мин) и усилитель *У7* подается на регулятор *P4*, который вызывает принудительное закрытие форточек. Следовательно, кратковременное увеличение скорости ветра не вызывает закрытия форточек, а лишь блокирует их открытие.

При снижении скорости ветра срабатывает пороговый элемент *D11*, и по истечении выдержки времени *2D* сигналы на выходе элемента «И» *D13* и элемента *D14* исчезают, следовательно, и запрет на открытие форточек снимается.

Управление увлажнением воздуха в теплице осуществляется двухпозиционным регулятором *P*, управляющим клапаном *KP* системы увлажнения, по сигналу от датчика влажности  $\phi 1$  реагирующего на понижение относительной влажности (при выращивании томатов) или датчиков температуры *BK1...BK4* воздуха (при выращивании огурцов).

Заданное значение относительной влажности воздуха корректируется через элемент *D3* от датчика *BL* в зависимости от уровня естественной освещенности, причем с ограничением при помощи элемента *D2* корректирующего сигнала в соответствии с агротехническими требованиями. Датчик  $\phi 1$  контролирует относительную влажность в пределах от 45 до 83%, а корректировка по освещенности происходит в диапазоне от 1 до 7%. При сни-

жении освещенности до заданного уровня элемент D2 блокирует схему включения системы увлажнения.

Систему увлажнения включают устройством управления поливом, обеспечивающим заданные продолжительность цикла и последовательность разового увлажнения участков.

Управление устройством полива почвы в локальном варианте аппаратуры «Тельтов» выполняется в несколько этапов: пуск, работа, повторный пуск, прерывание программы полива в случае появления команды на увлажнение, а затем окончание программы полива после завершения цикла увлажнения и останов.

Перед пуском переключателями управления устанавливают кратность полива, набирают номера участков теплиц и продолжительность их полива. Пуск осуществляется вручную или от программного часового устройства. При работе схемы включается на 10 с звуковой сигнал предупреждения персонала о начале полива, а затем насосы подачи воды, и начинается полив первого участка. При помощи включенного генератора импульсов, 2 последовательно включенных счетчиков и регистров сдвига поочередно подключаются до 16 электрических вентилях полива одной теплицы с установленной длительностью и кратностью (по аналогии с работой автомата полива системы УТ-12).

После завершения полива набранных участков одной теплицы включается группа так называемых адресных реле следующей теплицы, и цикл полива повторяется в другой теплице. Схема управления позволяет переключать часть или все вентили с полива на автоматическое управление увлажнением. При подаче команды на увлажнение полив теплицы автоматически прерывается. После выполнения цикла увлажнения полив теплицы продолжается в соответствии с заданной программой.

При кратности полива больше однократного можно включать автоматическую систему управления подкормкой растений растворами минеральных удобрений.

Насосы-дозаторы подают раствор удобрений в поливную воду только в первую кратность полива, в следующие кратности трубопроводы промываются от остатков удобрений.

В схеме управления предусмотрен повторный пуск системы увлажнения через установленный постоянный интервал времени или через интервал времени, зависящий от освещенности. При увеличении освещенности этот интервал может уменьшаться на порядок. В интервале учтена возможность полного испарения воды после выполнения предыдущего цикла увлажнения.

Останов программы может быть выполнен оператором, а также произойти автоматически в случае повышения температуры поливной воды или прекращения ее подачи, снижения освещенности ниже 2 клк или при исчезновении напряжения сети.

Выполнение всех операций полива и увлажнения, а также автоматический останов программы, повреждение вентилях, возникновение аварийных режимов и отключение насосов сопровождаются световой сигнализацией.

Система автоматического управления температурой почвы состоит из двух контуров (рис. 8.10, б): внутреннего малоинерционного контура стабилизации температуры греющей воды  $\theta_v$  с ПИ-регулятором *P6* и внешнего инерционного контура с П-регулятором *P5*, который обеспечивает изменение задающего воздействия ПИ-регулятору в зависимости от температуры почвы  $\theta_n$ . Отклонение температуры почвы и воды от заданных значений измеряется соответственно датчиками *BK6* и *BK7* и через элемент *D15*, регулятор *P5* и суммирующий усилитель *У8* передается в ПИ-регулятор *P6*, который при помощи исполнительного механизма *ИМ5* и регулирующего клапана *KP2* управляет температурой греющей воды в системе подпочвенного обогрева. Предельные значения температуры греющей воды контролируются по появлению напряжений *У3* и *У4* на выходе элементов *D16* и *D17*.

В системе автоматического управления подкормкой растений углекислым газом (рис. 8.10, в) концентрацию  $CO_2$  измеряют газоанализатором *АГ*, выходной сигнал которого после усиления суммирующим усилителем *У10* подается на двухпозиционные регуляторы *P7* и *P8*. При этом задания этих регуляторов по концентрации  $CO_2$  отличаются между собой на 0,04%, что обеспечивает поочередное включение исполнительных механизмов *ИМ6* и *ИМ7* и регулирующих клапанов *KP3* и *KP4* двух групп газогенераторов.

Включение схемы подкормки  $CO_2$  автоматически блокируется от элемента *D1* (сигнал *и*) при снижении освещенности до уровня, при котором замедляется процесс фотосинтеза, а также при открытых форточках и повышенной относительной влажности воздуха ( $\phi_3$ ) в теплице.

Управление досвечиванием в локальном варианте аппаратуры «Тельтов» выполнено аналогично многоканальному варианту.

При значительных увеличениях солнечной радиации или снижении температуры в ночное время предусмотрено использовать специальные теплозащитные экраны, команду на подъем которых вырабатывает датчик освещенности *BL2* или датчик температуры *BK8* (рис. 8.10, г). Сигнал от датчика освещенности, составляющий 0...100 клк, или от датчика наружной температуры проходит через элемент выдержки времени *4D*, усилитель *У11* и двухпозиционный регулятор *P9* на привод *M* исполнительного механизма. Теплозащитный экран в ночные часы позволяет экономить до 45% теплоты путем уменьшения ее потерь лучеиспусканием через ограждения.

#### 8.14. АВТОМАТИЗАЦИЯ ГИДРОПОННЫХ ТЕПЛИЦ И ШАМПИНЬОННИЦ

Автоматизация гидропонных теплиц. Отличительной особенностью автоматизации технологических процессов в гидропонных теплицах является САУ узлом приготовления и раздачи

питательного раствора. Эта система осуществляет регулирование температуры питательного раствора в резервуаре путем изменения подачи греющей воды в змеевик трубного обогрева раствора и регулирование уровня раствора в резервуаре путем подпитки его водопроводной водой.

Исполнительный орган подпитки включается с выдержкой времени, достаточной для полного слива раствора из всех стеллажей теплицы после цикла подкормки растений.

Раствор подается в стеллажи теплицы 4...5 раз в сутки по команде программного реле или вручную. Температура раствора должна быть не более 30 °С. Дисконный распределитель раствора обеспечивает поочередное заполнение одной группы стеллажей и одновременно слив раствора из другой группы. Распределитель автоматически переключается с одной на другую группу стеллажей по сигналу датчика уровня раствора в стеллажах.

В САУ технологическими процессами гидропонных теплиц может входить регулятор температуры обогрева субстрата. Остальные системы автоматического управления параметрами микроклимата гидропонных теплиц аналогичны системам автоматизации грунтовых теплиц.

**Автоматизация шампиньонниц.** В тепличных комплексах широкое применение находят шампиньонницы, то есть специальные помещения для круглогодичного выращивания шампиньонов. При выращивании грибов помещения должны иметь хорошую вентиляцию, температуру воздуха около 16 °С, влажность грунта — 40...45%, относительную влажность воздуха — 85...90%. Грибы выращивают в темноте, освещение включают только в периоды сбора грибов, обслуживания и смены компостов в стеллажах.

Компост готовят из смеси соломы, навоза или помета, который подвергают предварительной ферментации.

Оптимальные параметры микроклимата шампиньонниц зависят от фазы развития грибов и должны изменяться несколько раз за цикл выращивания. Это обстоятельство накладывает специфические особенности на работу систем автоматического управления микроклиматом.

Цикл выращивания шампиньонов длится 84 дня и состоит из ряда технологических операций: заполнения стеллажей компостом, пастеризации и разогрева компоста, посева мицелия грибов, укладки слоя покровной почвы после прорастания мицелия, сбора шампиньонов, освобождения стеллажей от отработавшего компоста и их стерилизации.

Управление температурой воздуха в камере шампиньонницы осуществляется от датчика температуры воздуха *ВК1* (рис. 8.11) пропорциональным регулятором *Р* при помощи исполнительного механизма *ИМ* и трехходового смесительного клапана *КР1*. Клапан *КР1* изменяет соотношение подачи горячей и обратной воды, направляемой насосом *Н* к установкам водотрубного обогрева *ВО*.

При повышении температуры в камерах теплицы выше заданной тот же регулятор открывает электромагнитный клапан *КР3*,

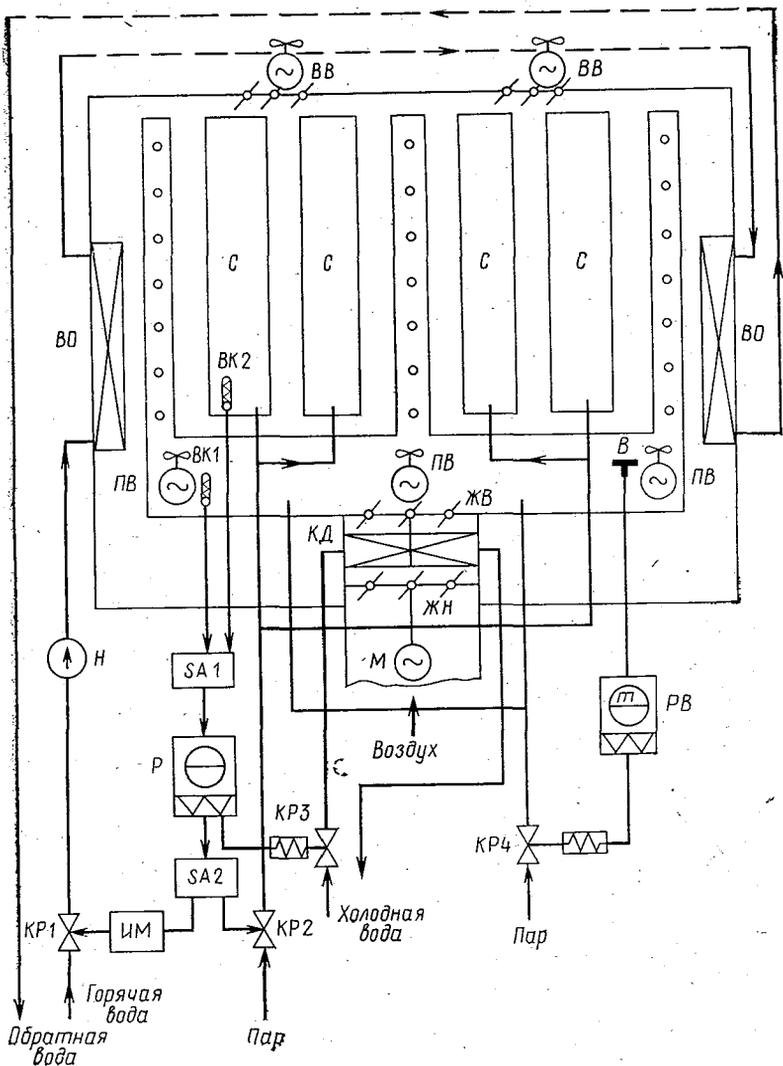


Рис. 8.11. Функциональная схема управления микроклиматом шампиньонниц.

установленный на трубопроводе подачи холодной воды к калориферу-доводчику *КД*. Через этот калорифер и систему жалюзи *ЖВ* (верхних) в камеру нагнетается свежий воздух, а через нижние жалюзи *ЖН* происходит его рециркуляция. Воздух предварительно обрабатывается в центральном кондиционере (на схеме не показан), где очищается от механических примесей, обеззараживается ультрафиолетовым облучением и нагревается до температуры  $13^{\circ}\text{C}$ . Его относительная влажность доводится до 80%.

Установки охлаждения и доводки воздуха до кондиций имеют свою систему автоматизации (см. п. 13.6).

Количество воздуха, проходящего через калорифер-доводчик, оператор устанавливает вручную при помощи управляемого дистанционного электропривода *М* системы двух механически связанных жалюзи: верхних *ЖВ* и нижних *ЖН*. Воздух от кондиционера к калориферу подводится через воздуховод, расположенный между верхней и нижней системой жалюзи. При открытии верхних жалюзи нижние закрываются. При этом за счет работы приточных вентиляторов *ПВ* приток в камеру охлажденного воздуха увеличивается, а кратность обмена рециркуляционного воздуха через нижние жалюзи уменьшается.

Температуру воздуха в камерах снижают также включением системы вытяжных вентиляторов *ВВ*.

При пастеризации компоста к регулятору *РТ* переключателями *СА1* и *СА2* подключают датчик температуры компоста *ВК2* и электромагнитный клапан *КР2* на паропроводе. При помощи этой системы управляют температурой пастеризации компоста в заданных пределах (55...60 °С).

Увлажняют воздух в шампиньоннице путем подачи пара на вход приточных вентиляторов *ПВ*, обеспечивающих всос пара и перемешивание его с воздухом в камере. Влажностью воздуха управляет путем изменения через регулирующий клапан *КР4* подачи пара при помощи датчика *В* относительной влажности воздуха и двухпозиционного регулятора влажности *РВ*.

**Широко применять прогрессивные способы хранения картофеля, плодов и овощей.**

Из Продовольственной программы СССР

## **Глава 9. АВТОМАТИЗАЦИЯ ХРАНИЛИЩ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**

### **9.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

В Продовольственной программе СССР предусмотрено повышение уровня механизации и автоматизации технологических процессов не только при производстве и заготовке сельскохозяйственной продукции, но и при ее переработке и длительном хранении.

Правильное хранение сельскохозяйственной продукции позволяет обеспечить круглогодичное снабжение населения страны продуктами питания и сохранить их высокие питательные и вкусовые качества, внешний вид.

В колхозных и совхозных хранилищах хранят фуражное и семенное зерно, зеленые корма (сено, сенаж, силос), комбикорм, продукцию молочнотоварных и птицеводческих ферм, а также картофель, корнеклубнеплоды, различные овощи и фрукты.

Потребность сельского хозяйства в типовых хранилищах недостаточно удовлетворена. Из-за неправильных режимов хранения хозяйства несут огромные потери. Например, потери питательных веществ в сене, соломе и силосе при нарушении режимов хранения составляют более 20%.

При закладке сельскохозяйственной продукции на длительное хранение используют средства механизации и автоматизации транспортировки и загрузки продукции в хранилище, управления параметрами микроклимата и защиты продукции от порчи, сортировки и выгрузки продукции, контроля качества и учета количества продукции при загрузке, хранении и реализации.

Средства и способы транспортировки, сортировки, загрузки и выгрузки продукции изучают в курсе «Механизация сельского хозяйства». В настоящей главе рассмотрены средства и способы управления параметрами микроклимата в хранилищах и новые методы контроля и сортировки сельскохозяйственной продукции.

Основные параметры микроклимата в хранилищах — температура и относительная влажность воздуха в массе хранимого продукта. Процессы автоматического управления температурой в картофеле- и овоцехранилищах — наиболее сложные.

Во-первых, при хранении большой массы картофеля и овощей в хранилищах колхозов и совхозов, не оборудованных системами автоматического управления, при положительных температурах возникают очаги загнивания продукта, которые быстро распространяются на рядом расположенные клубни картофеля и овощи.

Во-вторых, обычно картофель и овощи стараются хранить при

минимально допустимых температурах, и при сильных морозах иногда подмораживается продукция в периферийных слоях.

В-третьих, для визуального контроля сохранности продукции ее закладывают слоем небольшой толщины и оставляют места для прохода обслуживающего персонала, что приводит к относительно малому использованию объема хранилищ. Вследствие этого при хранении картофеля и овощей в неавтоматизированных овощехранилищах полезный объем сооружений составляет 30...40% общего объема, а порча продукции доходит до 30% и более.

С 1965 г. в колхозах и совхозах нашей страны строят хранилища картофеля и овощей на 500...3000 т, а в специализированных хозяйствах — до 10 000 т с системой активной вентиляции.

Овощехранилища строят из кирпича или бетонных блоков с перекрытиями из железобетонных плит. Для лучшей теплоизоляции применяют строительные газосиликат, газобетон и другие теплоизоляционные материалы, а сами хранилища наполовину заглубляют в грунт.

Метод активной вентиляции заключается в том, что через массу хранимого продукта периодически принудительно прогоняют воздух, расходуя до 100, а иногда до 300 м<sup>3</sup> воздуха в час на 1 т картофеля.

В случае необходимости в овощехранилищах устанавливают калориферы для подогрева воздуха в зимний период или холодильные машины для предварительного охлаждения вентиляционного воздуха в осенне-весенний и летний периоды.

## **9.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОВОЩЕХРАНИЛИЩА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ**

Активная вентиляция позволяет поддерживать в хранилищах оптимальный температурно-влажностный режим. Одновременно она обеспечивает удаление с поверхности корнеплодов и овощей влаги, а из их массы — продуктов дыхания, ведущих к развитию болезнетворных микроорганизмов.

Воздух в массу хранимого продукта подают при помощи приточных вентиляционных систем, оборудованных центробежными или осевыми вентиляторами. Режим работы вентиляционной системы зависит от температуры наружного воздуха, вида и массы хранимого продукта. Для снижения температуры хранимого продукта наружный воздух нагнетается вентилятором через приточную шахту по вентиляционному каналу в массу продукта. При недопустимо низких и высоких температурах наружного воздуха вентилятор прогоняет через продукт внутренний (рециркуляционный) воздух, а приточная камера в это время закрыта клапаном.

Рассмотрим процессы управления микроклиматом овощехранилищ при хранении картофеля. Технологический процесс хранения картофеля можно разделить на три основных периода: лечебный, охлаждения и хранения.

**В лечебный период** с целью быстрого заживления механических поврежденных картофеля необходимо поддерживать в межклубневом пространстве насыпи температуру на уровне 14...18 °С и высокую относительную влажность воздуха (более 90%) с минимальным воздухообменом.

При температуре картофеля выше 18 °С должна включаться активная вентиляция и подавать воздух температурой на 3...4° ниже температуры массы хранимого продукта.

Если в закроем хранилища заложен больной картофель (пораженный фитофторой, нематодой и т. п.), то лечебный период проводится при температуре 8...10 °С с последующим охлаждением до 1...2 °С.

При закладке мокрого картофеля его немедленно подсушивают усиленной активной вентиляцией при относительной влажности воздуха не выше 80%.

**В период охлаждения**, который наступает после двухнедельного лечебного периода, температуру хранимого картофеля постепенно снижают до 2...4 °С.

Для этого клубни картофеля вентилируют наружным воздухом или смесью его с внутренним воздухом в те периоды суток, когда температура наружного воздуха не менее чем на 4...5° ниже температуры насыпи картофеля. Охлаждают клубни медленно: на 0,5...0,6° в сутки при максимальной влажности воздуха до 100%. Период охлаждения длится 20...25 суток.

**Период хранения** — это основной период. Он начинается, когда температура картофеля в насыпи достигает 3...4 °С. Вентиляционные установки включаются при повышении температуры в насыпи до 4 °С и более. Зимой продукт активно вентилируют смесью наружного и внутреннего воздуха, а при больших морозах — только рециркуляционным воздухом. В остальные времена года насыпь вентилируют наружным воздухом, который забирают в наиболее холодное время суток, или воздухом, охлажденным в специальных холодильных установках.

Во всех случаях относительная влажность воздуха должна быть максимальной, но без образования конденсата на картофеле. При пониженной влажности вентиляционного воздуха возникают большие потери массы клубней, и они теряют свой товарный вид.

Аналогичные агротехнические требования предъявляются к системе автоматического управления микроклиматом хранилищ других видов овощей.

При разработке и выборе систем автоматики необходимо знать передаточные функции массы хранимой продукции и верхней зоны в основном режиме «Хранение».

В режимах «Лечение» и «Охлаждение» температура массы хранимой продукции всегда выше заданной, а продолжительность работы системы активной вентиляции зависит от настройки программных реле или от температуры наружного воздуха и от массы хранимой продукции.

Передающую функцию массы хранимой продукции можно определить аналитическим путем из уравнения динамики теплообмена массы хранимой продукции и вентилируемого воздуха.

Теплообмен в насыпи штучной сельскохозяйственной продукции представляет собой сложное физическое явление. 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.

Уравнение теплообмена с учетом внутренних источников и затрат теплоты на испарение влаги из продукта

$$cV(1-\mu)d\theta/dt = q - q_n - \alpha V(\theta - \theta_B), \quad (9.1)$$

где  $c$  — объемная теплоемкость клубней, Дж/(м<sup>3</sup>·°С);  $V$  — объем слоя хранимой продукции, м<sup>3</sup>;  $\mu = (V - V_0)/V$  — скважность слоя хранимой продукции, равная для картофеля 0,38...0,45;  $V_0$  — объем клубней, м<sup>3</sup>;  $\theta$  — температура клубней, °С;  $t$  — время, с;  $q$  — количество теплоты, выделяемое в объеме  $V$  продукции в одну секунду, Дж/с;  $q_n = w i$  — количество теплоты, затраченное на испарение влаги  $w$  (кг/с) с теплоемкостью водяного пара  $i$  (Дж/кг), Дж/с;  $\alpha$  — объемный коэффициент теплообмена, Дж/(м<sup>3</sup>·с·°С);  $\theta_B$  — температура воздуха в межклубневом пространстве, °С.

Преобразуя уравнение (9.1), получим

$$[c(1-\mu) - (q/V)(dt/d\theta) + (q_n/V)(dt/d\theta)]Vd\theta/dt = -\alpha V(\theta - \theta_B). \quad (9.2)$$

Так как в скобках левой части уравнения (9.2) все слагаемые имеют размерность объемной теплоемкости [Дж/(м<sup>3</sup>·°С)], то уравнение (9.2) можно записать так:

$$c_p d\theta/dt = -\alpha(\theta - \theta_B), \quad (9.3)$$

где  $c_p$  — расчетная объемная теплоемкость слоя картофеля.

Уравнение теплового баланса для воздуха, проходящего через слой клубней толщиной  $h$ , можно записать в частных производных

$$c_B \mu d\theta_B/dt = \alpha(\theta - \theta_B) - c_B v d\theta_B/dh, \quad (9.4)$$

где  $c_B$  — объемная теплоемкость воздуха, Дж/(м<sup>3</sup>·°С);  $v$  — скорость воздуха, равная количеству воздуха (м<sup>3</sup>), проходящего через поперечное сечение слоя продукции (м<sup>2</sup>) за 1 с, м/с.

Из уравнений (9.2) и (9.4) видно, что интенсивность изменения температуры в массе продукции зависит от скорости прохождения приточного воздуха, толщины слоя  $h$  насыпи клубней, скважности слоя  $\mu$ , а также от начальных значений температур клубней  $\theta$  и воздуха  $\theta_B$ .

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 (9.3) и (9.4). Передаточные функции массы хранимого продукта можно определить также экспериментально по кривым разгона.

Установлено, что при подаче воздуха  $L \leq 50$  м<sup>3</sup> в 1 ч на тонну насыпи клубней передаточную функцию можно выразить так:

$$W(p) = \frac{k}{(T_1 p + 1)}, \quad (9.5)$$

а при  $L \geq 50$  м<sup>3</sup>/(т·ч):

$$W(p) = k / (T_2^2 p^2 + T_1 p + 1). \quad (9.6)$$

С ростом подачи воздуха от 50 до 250 м<sup>3</sup>/(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 ч при подаче 1 м<sup>3</sup> воздуха на 1 т клубней. Постоянные времени зависят также от подачи воздуха: при  $L \leq 50$   $T = 7 \dots 8$  ч; при  $L \geq 50 \dots 250$  м<sup>3</sup>/(т·ч);  $T_1 = 8 \dots 6$  ч;  $T_2 = 2 \dots 1,6$  ч.

При отключенной вентиляции температура массы хранимого продукта повышается за счет теплоты самосогревания. Передаточная функция массы продукта при самосогревании без отвода теплоты

$$W(p) = k_c / p, \quad (9.7)$$

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  $k_c = 0,13$ ).

Передаточную функцию верхней зоны овощехранилища можно определить из дифференциального уравнения теплового баланса

$$cGd\theta/dt = q - \alpha F(\theta - \theta_0) - cG_b(\theta_b - \theta), \quad (9.8)$$

где  $c$  — удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С);  $G$  и  $\theta$  — масса и температура воздуха в верхней зоне, соответственно кг и °С;  $q$  — тепловыделение от продукции, Дж/с;  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи от воздуха к ограждению, Дж/(м<sup>2</sup>·с·°С);  $F$  — площадь поверхности ограждений, м<sup>2</sup>;  $\theta_0$  — температура ограждений, °С;  $\theta_b$  и  $G_b$  — температура и удельный расход воздуха на входе в верхнюю зону, соответственно °С и кг/с.

Если из-за отсутствия численных значений величин, входящих в уравнение (9.8), трудно найти аналитическим путем количественное выражение передаточной функции, то следует снять экспериментально кривую разгона и по ней одним из существующих методов определить передаточную функцию верхней зоны. Она выражается тремя составляющими (по числу параллельно действующих возмущений), а именно, согласно уравнению (9.8), от изменения  $q$ ,  $\theta - \theta_0$  и  $\theta_b - \theta$ :

$$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1}; \quad W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1};$$

$$W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1}. \quad (9.9)$$

Для типового овощехранилища на 1000 т значения коэффициентов можно принять  $k_1=0,3$ ;  $k_2=0,5$ ;  $k_3=0,2$ ;  $T_1=2,3$  ч;  $T_2=0,12$  ч и  $T_3=0,04$  ч.

Передаточная функция смесительной камеры. Во всех овощехранилищах с автоматическим управлением микроклиматом используется смесительная камера с регулируемым клапаном, которую как объект управления можно описать уравнением теплового баланса в приращениях:

$$c\theta_n \Delta G_n + c\theta_p \Delta G_p = c\Delta\theta_n G, \quad (9.10)$$

где  $\theta_n$  и  $\theta_p$  — 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  $G$ , кг/с.

С учетом указанных соотношений уравнение (9.10) можно представить в виде

$$\left[ \frac{\theta_n - \theta_p}{G} \right] \Delta G_n = \Delta\theta_n,$$

откуда определяется значение передаточной функции смесительной камеры как усилительного звена

$$W(p) = \frac{\Delta\theta_n}{\Delta G_n} = \frac{\theta_n - \theta_p}{G} = k. \quad (9.11)$$

### 9.3. 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.

Отечественная промышленность выпускает две типовые системы для управления микроклиматом в овощехранилищах: оборудование типа ОРТХ и комплекс «Среда».

Оборудование регулирования температуры хранилищ (ОРТХ) 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 ОРТХ входят следующие основные устройства (рис. 9.1): смесительный клапан 3 с подогревателем 1 и исполнительным механизмом 4, приточная 2 и вытяжная 5 шахты, два рециркуляционно-отопительных агрегата 6 (на схемах рис. 9.1 и 9.2 второй агрегат не показан), вентиляционно-

распределительный канал 7, вентилятор 8 приточной системы и шкаф автоматического управления активной вентиляцией (ШАУ-АВ). В шкафу размещены регуляторы температуры  $P1...P5$ , программное реле времени  $KT$ , ключи и кнопки управления. В связи с неблагоприятными для работы аппаратуры условиями предусмотрен автоматический обогрев шкафа от электроподогревателя  $EK$ , действием которого управляет контактное термореле  $SK$  через промежуточное реле  $KV1$  (рис. 9.2). Температуру контролируют датчики  $BK$  (терморезисторы и термометры сопротивления) и замеряет логометр  $P$ .

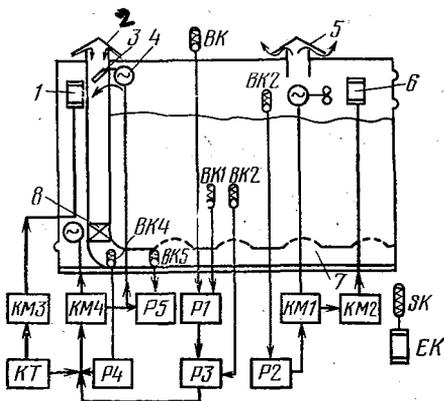


Рис. 9.1. Технологическая схема автоматического управления температурным режимом в овощехранилище.

Система активной вентиляции может работать в режиме ручного дистанционного или автоматического управления.

В ручном режиме переключатели  $SA1$  и  $SA3$  ставят в положение  $P$  и кнопками  $SB1$  и  $SB2$  управляют вентиляторами и калориферами двух рециркуляционно-отопительных систем, кнопками  $SB3$  и  $SB4$  — подогревателем смесительного клапана, кнопками  $SB5$  и  $SB6$  — приточной вентиляцией. В этом режиме при помощи регулятора  $P4$  (типа ПТР-2) автоматически может отключиться только приточный вентилятор, когда температура наружного воздуха снизится до минимально допустимого значения. При допустимой температуре контакт  $P4$  замкнут.

В автоматическом режиме переключатель  $SA1$  переводят в положение  $A$ . Последовательность работы схемы зависит от периода хранения. В *лечебный период* переключатель  $SA2$  ставят в положение  $L$ , а переключатель  $SA3$  — в положение  $H$  (нейтральное), в результате чего действует только приточный вентилятор, который периодически включается и отключается магнитным пускателем  $KM4$ , управляемым контактами  $KT$  программного реле времени. Программное реле  $KT$  настраивается на шестизачное включение приточного вентилятора в сутки в каждом случае на 30 мин. В этом режиме исполнительный механизм  $ИМ$  закрывает смесительный клапан полностью, а вентиляция осуществляется рециркуляционным воздухом.

В *период охлаждения* переключатель  $SA2$  ставят в положение  $O$  и в работу вводится дифференциальный терморегулятор  $P1$  (типа ПТРД-2), который при помощи датчиков  $BK1$  и  $BK2$  сравнивает температуры наружного воздуха и в массе хранимого продукта. Если разница между ними больше так называемого дифференциала (свыше  $2...3^{\circ}$ ), то срабатывает терморегулятор

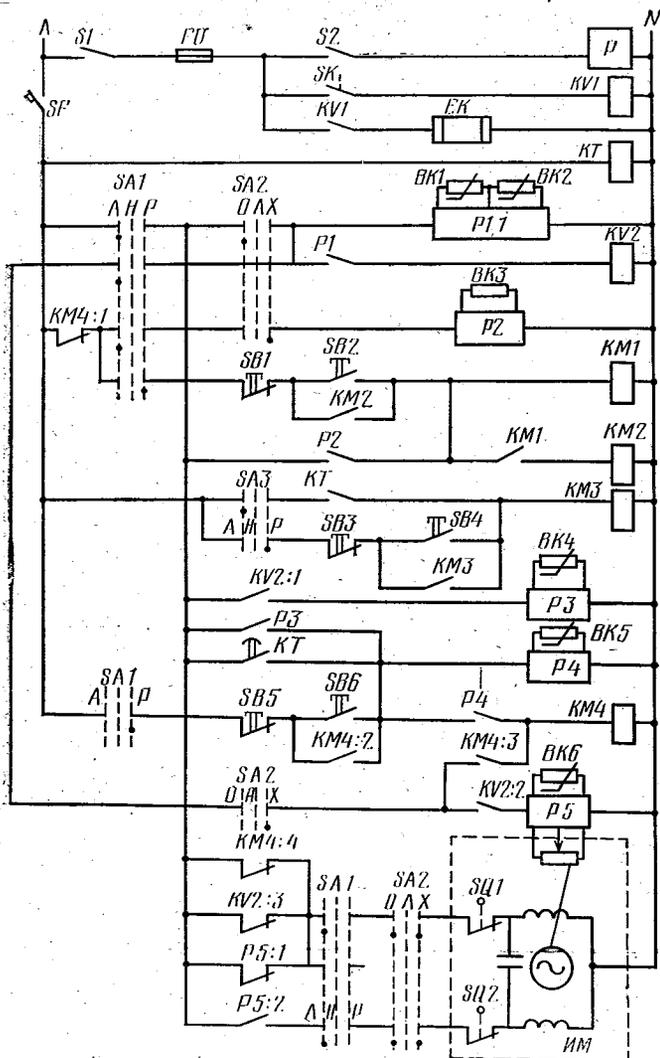


Рис. 9.2. Принципиальная электрическая схема шкафа ШАУ-АВ.

*P1* и включает промежуточное реле *KV2*. Kontakтами *KV2:1* реле *KV2* вводит в работу терморегулятор *P3* типа ПТР-2, а затем *P4*. В результате этого пускатель *KM4* включает приточный вентилятор, а kontakтами *KV2:2* включает пропорциональный терморегулятор *P5* (типа ПТР-II), который посредством датчика *BK6* и исполнительного механизма *ИМ* управляет температурой воздуха в системе вентиляции. При отклонении этой температуры от заданной терморегулятор *P5* своими замыкающими *P5:2* и раз-

мыкающими *P5:1* контактами включает исполнительный механизм, поворачивающий заслонку смесительного клапана в такое положение, при котором устанавливается необходимая температура смешанного наружного и рециркуляционного воздуха. Охлаждение продолжается до тех пор, пока температура в массе хранимого продукта не достигнет заданного значения, после чего посредством датчика *BK3* и терморегулятора *P3* отключается приточный вентилятор.

Если температура наружного воздуха длительное время превышает температуру в массе продукта, то вентиляция ведется только рециркуляционным воздухом. Сигнал на включение вентилятора подается от программного реле времени через контакты *KT*. В этом случае смесительный клапан закрыт, и теплый наружный воздух в хранилище не поступает.

В период хранения переключатель *SA2* ставит в положение *X*. Приточный вентилятор включается контактами *KT* программного реле времени 4...6 раз в сутки для снятия перепадов температуры в массе продукта. При этом блок-контактами *KM4:3* магнитного пускателя через переключатели *SA1* и *SA2* подключаются терморегулятор *P1*, реле *KV2* и терморегулятор *P3*. В дальнейшем схема действует в целом, как и в режиме охлаждения.

Если температура в течение заданного при помощи реле времени *KT* цикла работы не снизилась до нормы, то вентилятор продолжает работать до тех пор, пока не разомкнутся контакты регулятора *P3*. При отключении вентилятора смесительный клапан автоматически закрывается при помощи блок-контактов *KM4:4*, управляющих работой исполнительного механизма *ИМ*.

В том случае, когда температура в верхней части хранилища над продуктом оказывается меньше заданной, что может вызвать выпадение конденсата в продукт, от датчика *BK3* срабатывает терморегулятор *P2* и через магнитные пускатели *KM1* и *KM2* включает рециркуляционно-отопительные агрегаты.

Рециркуляционно-отопительные агрегаты работают только при выключенном приточном вентиляторе (блок-контакты *KM4:1* замкнуты), отключение их осуществляется контактом *P2* терморегулятора, когда температура верхней зоны равна заданному значению.

Автоматическое управление подогревателем смесительного клапана задают переключателем *SA3* (положение *A*) при снижении наружной температуры до минус 15 °С. Он включается или автоматически от реле *KT*, или вручную кнопками *SB3* и *SB4* (*SA3* в положении *P*).

#### 9.4. СИСТЕМА ТИПА «СРЕДА-1» АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ

Система типа «Среда-1» предназначена для автоматического контроля, измерения и регулирования температуры в овоще- и картофелехранилищах, содержащих до 8 секций. Она позволяет управлять установками активной вентиляции и отопле-

ния, а также холодильными машинами как в автоматическом, так и в ручном режимах.

«Среда-1» обеспечивает автоматическое пропорциональное управление температурой воздуха, забираемого вентилятором из окружающей среды и направляемого в массу хранимого продукта. Эта система одновременно управляет температурой массы хранимого продукта и температурой воздуха верхней зоны при двухпозиционном регулировании с дифференциалом (зоной возврата) от 0,5 до 10°.

В процессе управления система «Среда-1» позволяет автоматически контролировать температуру воздуха в приточном канале в пределах  $\pm 20^\circ\text{C}$  и обеспечивает измерение с визуальным отсчетом значения температуры в 39 точках хранилища с ручным переключением датчиков. В качестве датчиков используют термометры сопротивления. При помощи блока управления осуществляется световая сигнализация об отклонении температуры от заданной в отдельных точках секций хранилища, о работе соответствующих исполнительных механизмов и о режиме управления (автоматическом или ручном).

На рисунке 9.3 показана схема размещения отопительно-вентиляционного оборудования одной секции овощехранилища, а на рисунке 9.4 — функциональная схема системы «Среда-1».

В каждой секции овощехранилища установлены два рециркуляционно-отопительных агрегата *РОА* (рис. 9.3), приточный вентилятор *М*, смесительный клапан с исполнительным механизмом *ИМ*, обогреватель клапана *ЕК* и несколько датчиков температуры воздуха: в верхней зоне *ВК<sub>в</sub>*, в канале *ВК<sub>к</sub>* и датчики *ВК<sub>м</sub>* температуры массы хранимого продукта.

Датчики температуры массы хранимого продукта устанавливают на глубине 0,5...0,7 м от верхнего уровня насыпи картофеля на металлическом тросе с некоторой свободной петлей для исключения натяжения соединительного кабеля при усадке массы продукта. В каждой секции устанавливают по одному датчику температуры *ВК<sub>м</sub>* для двухпозиционного регулятора *Р<sub>м</sub>* и для регулятора разности температур *РР* и по 3...4 датчика для контроля температуры массы, осуществляемого при помощи логометра *Р*.

Датчики температуры верхней зоны *ВК<sub>в</sub>* устанавливают на половине свободной высоты зоны, а у северных секций на расстоянии 1...1,5 м от северной стены: один датчик для логометра *Р* и один — для двухпозиционного регулятора *Р<sub>в</sub>*, управляющего включением и отключением рециркуляционно-отопительных агрегатов.

Датчики температуры *ВК<sub>к</sub>* устанавливают в воздуховодном канале после вентилятора перед раздающими клапанами: один датчик для логометра *Р*, второй для двухпозиционного регулятора температуры *Р<sub>к</sub>*, управляющего включением и отключением вентилятора, третий для регулятора пропорционального действия *Р<sub>п</sub>*, управляющего при помощи исполнительного механизма *ИМ* положением смесительного клапана.

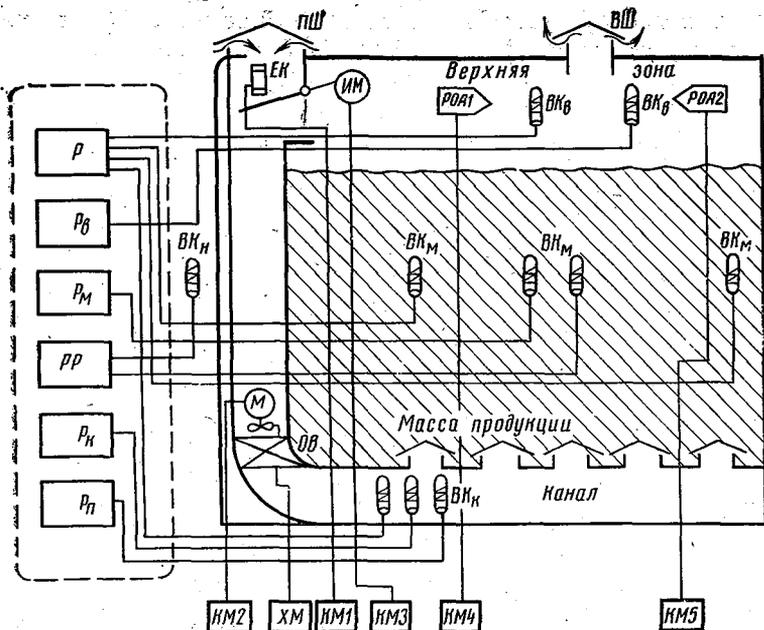


Рис. 9.3. Схема размещения отопительно-вентиляционного оборудования хранилищ (одной секции):

$ВК_В$  и  $РТ_В$ ,  $ВК_М$  и  $РТ_М$ ,  $ВК_К$  и  $РТ_К$  — датчики и регуляторы температуры воздуха в верхней зоне, массе продукции и вентиляционном канале;  $P$  — логометр;  $РТ_П$  — пропорциональный регулятор воздуха в канале;  $РР$  — регулятор разности температур;  $КМ_1...КМ_5$  — магнитные пускатели;  $ЕК$  — электрообогреватель клапана;  $ИМ$  — исполнительный механизм;  $М$  — приточный вентилятор;  $ПШ$  и  $ВШ$  — приточная и вытяжная шахты;  $РОА$  — рециркуляционно-отопительные агрегаты;  $ХМ$  — холодильная машина.

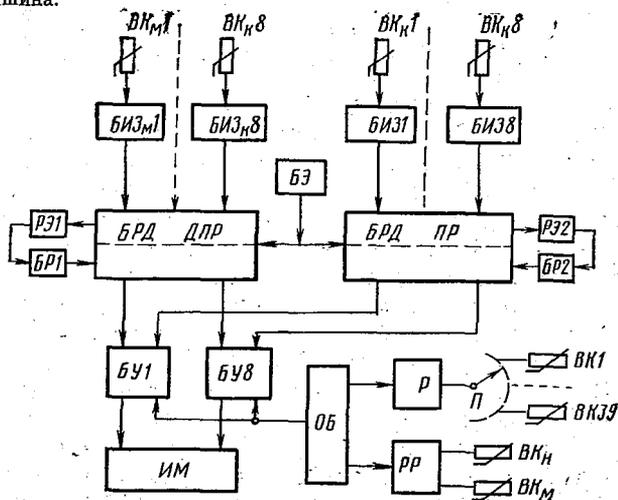


Рис. 9.4. Функциональная схема системы типа «Среда-1»:

$ВК$  — датчики температуры;  $БИЗ$  — блоки измерения и задания;  $БЭ$  — электронный блок;  $РЭ$  — электронное реле;  $БР$  — блок реле;  $БРД ДПР$  и  $БРД ПР$  — блоки распределителей двухпозиционного и пропорционального регулирования;  $БУ$  — блоки управления;  $ИМ$  — исполнительный механизм;  $ОБ$  — общий блок.

Датчик температуры  $BK_n$ , замеряющий температуру наружного воздуха, устанавливают не ближе 0,5 м от стены хранилища и защищают от прямого попадания солнечных лучей. Включение и отключение оборудования осуществляется автоматически по сигналу регуляторов, а ручное — при помощи магнитных пускателей  $KM1...KM5$ .

Принцип действия системы «Среда-1» рассмотрим по функциональной схеме, изображенной на рисунке 9.4. Отклонение температуры от заданной в отдельных 8 секциях хранилищ измеряется 32 датчиками температуры  $BK_{м1}, BK_{в1}, BK_{к1}...BK_{м8}, BK_{в8}, BK_{к8}$  и  $BK_{к1}...BK_{к8}$  и формируется в электрический сигнал в 32 блоках измерений и заданий  $БИЗ_{м1}...БИЗ_{к8}$  и  $БИЗ1...БИЗ8$  (в каждой из 8 секций 3 блока для двухпозиционного регулирования температуры в верхней зоне, в массе хранимого продукта и канале и один блок для пропорционального регулирования температуры воздуха в подводящем канале). Сформированный аналоговый сигнал от 24 блоков  $БИЗ_{м1}...БИЗ_{к8}$  поочередно подается при помощи блока распределителей  $БРД$  двухпозиционных регуляторов  $ДПР$  на электронное реле  $РЭ1$ , а от 8 блоков  $БИЗ1...БИЗ8$  при помощи блока распределителей  $БРД$  пропорционального регулятора  $ПР$  — на электронное реле  $РЭ2$ .

Электронные реле  $РЭ1$  и  $РЭ2$  преобразуют аналоговый сигнал в релейный и передают его в блоки электромагнитных реле  $БР1$  и  $БР2$ .

Сигналы с блоков реле  $БР1$  и  $БР2$  снова в той же синхронной очередности коммутируются блоками распределителей  $БРД$   $ДПР$  и  $БРД$   $ПР$  и подаются в соответствующие блоки управления  $БУ1...БУ8$ . В последних блоках формируется команда управления исполнительными механизмами  $ИМ$  хранилища, обеспечивающими поддержание заданной температуры.

Таким образом, блоки  $БИЗ$ ,  $РЭ$  и  $БР$  образуют регуляторы с двухпозиционными и пропорциональными зонами управления, а блоки распределителей  $БРД$   $ДПР$  и  $БРД$   $ПР$  — синхронный автоматический переключатель для поочередного опроса температуры в верхней зоне, массе продукта и воздухоподводящем канале каждой секции хранилища. Они же осуществляют синхронное поочередное подключение исполнительных механизмов для управления температурой соответствующих секций хранилища и их зон. Электронный блок  $БЭ$  вырабатывает непрерывные импульсы напряжения, при помощи которых поочередно с определенной выдержкой времени включаются и отключаются электромагнитные реле в блоках распределителей  $БРД$   $ДПР$  и  $БРД$   $ПР$ .

Общий блок  $ОБ$  имеет источники питания всех элементов схемы и программные реле времени.

Регулятор разности температур  $РР$  сравнивает температуру наружного и внутреннего воздуха и при температуре наружного воздуха ниже температуры в массе хранимой продукции включает вентилятор в режиме охлаждения массы приточным воздухом.

## 9.5. БЛОКИ СИСТЕМЫ «СРЕДА-1»

Электронный блок *БЭ* предназначен для управления блоками распределителей *БРД ДПР* и *БРД ПР* (рис. 9.4). Он состоит из задающего генератора, триггера управления, мульти-вibrаторов и элементов выдержки времени.

Задающий генератор вырабатывает импульсы с периодом следования 20...50 с, необходимые для запуска триггера управления (рис. 9.5). Он собран по схеме двухбазового диода на триодах *VT1* и *VT2*. На диодах *VD9* и *VD10* выполнен двухполупериодный ограничитель амплитуды переменного напряжения  $\sim 24$  В, которое подается на резистор *R17* с частотой сети 50 Гц и с ограничителя поступает через конденсатор *C9* на базу триода *VT1*.

При подаче на схему стабилизированного напряжения питания — 18 В триоды *VT1*, *VT2* и диод *VD11* остаются закрытыми. Диод *VD11* предназначен для ограничения шунтирующего действия триодов *VT1* и *VT2* при заряде конденсатора *C10* через резистор *R18*. Положительная полярность напряжения питания подается от блоков распределителей *БРД* и поддерживается — от триггера (обратная связь на рисунке 9.5 показана цепями: от *БРД1...БРД8*).

При подаче напряжения заряжается конденсатор *C10* через резистор *R18* до напряжения, равного напряжению на базе триода *VT1*, которое зависит от соотношения сопротивлений делителя *R20* и *R23*. При этом триод *VT1* открывается от импульса переменного напряжения, снимаемого с ограничителей *VD9*, *VD10* и подаваемого через конденсатор *C9* на базу триода *VT1*. Одновременно открывается триод *VT2*, а конденсатор *C10* начинает разряжаться на резисторы *R19* и *R21* через триоды *VT1*, *VT2* и диод *VD11*.

Возникший при разряде конденсатора *C10* на резисторе *R21* импульс напряжения передается через цепочку *C11*—*R22* на базу триода *VT3* и открывает его.

Вслед за разрядом конденсатора *C10* триоды *VT1*, *VT2* и *VT3* закрываются, и снова начинается процесс зарядки и повторение

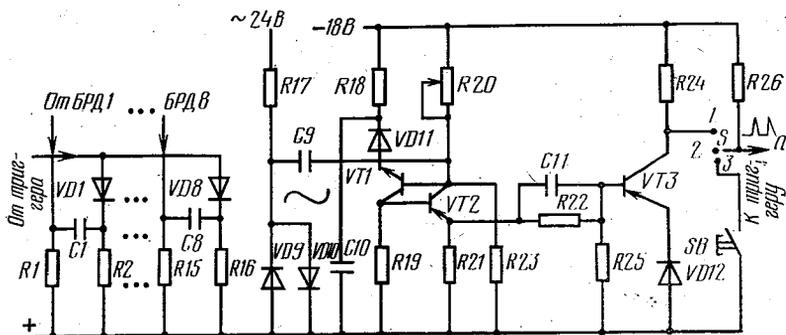


Рис. 9.5. Принципиальная электрическая схема задающего генератора.

цикла. Следовательно, на выходе задающего генератора (на коллекторе триода  $VT3$ ) появляются остроконечные положительные импульсы, которые подаются к триггеру управления.

Тумблер  $SA$  служит для переключения триггера и распределителей на автоматическое управление (положение 1 тумблера) или на ручное управление при помощи кнопки  $SB$  (положение 3 тумблера). В положении 2 тумблера схема управления распределителями отключена.

Пауза между импульсами регулируется в широких пределах изменением сопротивления резистора  $R20$ . Например, при уменьшении сопротивления резистора  $R20$  увеличивается отрицательный потенциал напряжения на базе триода  $VT1$ , а следовательно, увеличивается продолжительность заряда конденсатора  $C10$  до этого напряжения, то есть минимальному сопротивлению резистора  $R20$  соответствует максимальная пауза между импульсами.

Триггер управления и каскады задержки (рис. 9.6) управляют работой распределителей. Триггер собран на триодах  $VT5$  и  $VT6$  по схеме со счетным входом. Сигнал с задающего генератора подается через конденсатор  $C12$  на базы триодов  $VT5$  и  $VT6$ . Триоды  $VT4$  и  $VT7$  служат усилителями тока. В их коллекторные

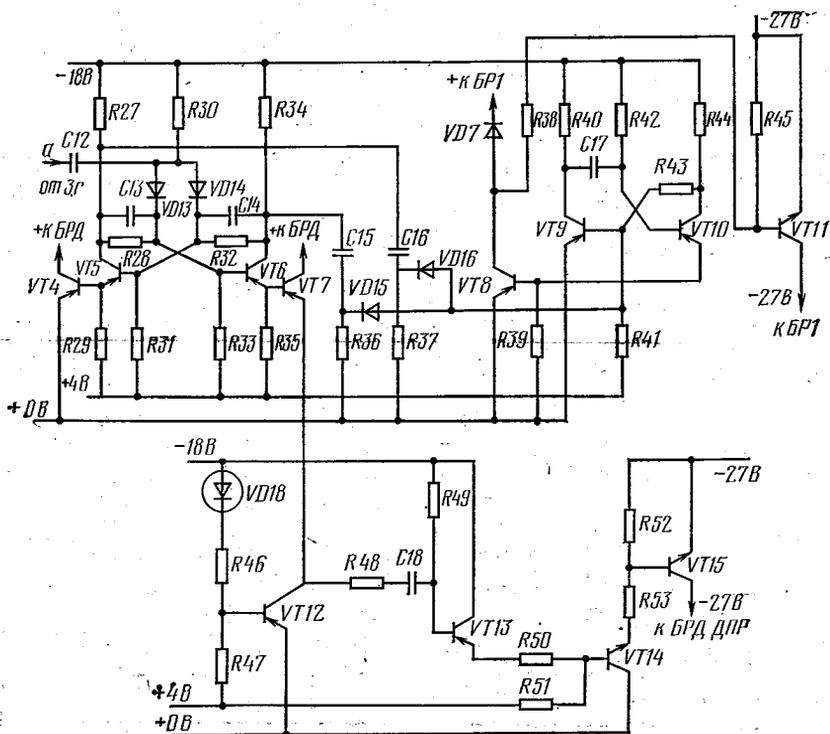


Рис. 9.6. Принципиальная электрическая схема триггера и каскада задержки.

цепи подключаются обмотки электромагнитных реле распределителей (БРД): к  $VT4$  подключаются обмотки нечетных реле, а к  $VT5$  обмотки четных реле блока распределителей, схема которого изображена на рисунке 9.7. Так как блок распределителей должен начать работу с включения первого реле, то в момент включения напряжения питания триод  $VT4$  (рис. 9.6) должен быть открыт и подать «+» напряжения питания на обмотку первого реле первого распределителя. Кроме этого, должно быть подано на обмотку этого же реле напряжение  $-27$  В через триод  $VT15$ . Для этого используется каскад задержки, на входе которого включены в цепи напряжения  $-18$  В конденсатор большой емкости (на схеме рис. 9.6 не показан) и стабилитрон  $VD18$ .

Следовательно, напряжение смещения  $+4$  В подается на базу триода  $VT12$  раньше, чем напряжение  $-18$  В. Вследствие этого триод  $VT12$  закрывается, что приводит к закрытию триодов  $VT7$  и  $VT6$  и открытию триодов  $VT4$  и  $VT5$ .

По мере заряда конденсатора напряжение на стабилитроне  $VD18$  растет и пробивает его. В этот момент через триод  $VT12$  и резисторы  $R48$ ,  $R49$  проходит импульс тока заряда конденсатора  $C18$ , который открывает триоды  $VT13...VT15$  на время заряда  $C18$ .

Таким образом, на обмотку реле  $KV1$  (рис. 9.7) распределителя БРД ДПР поступает потенциал, равный  $-27$  В, через открытый триод  $VT15$  и потенциал «+» через открытый триод  $VT4$ , и реле  $KV1$  срабатывает.

После заряда конденсатора  $C18$  (рис. 9.6) триоды  $VT13...VT15$  закрываются и в дальнейшей работе не участвуют. В триггере поочередно открываются триоды  $VT6$ ,  $VT7$  и  $VT5$ ,  $VT4$  от импульсов напряжения задающего генератора, поступающих через конденсатор  $C12$  и диоды  $VD13$  и  $VD14$  на базу триодов  $VT5$  и  $VT6$ . Триоды  $VT4$  и  $VT7$  управляют поочередным включением реле распределителей (рис. 9.7).

Для того чтобы исключить ложное срабатывание блоков управления и исполнительных механизмов от электромагнитных наводок, возникающих при переключении реле распределителей, напряжение питания к блоку реле  $BP1$  подается после надежного включения реле распределителей. Для этого служат мультивибраторы задержки.

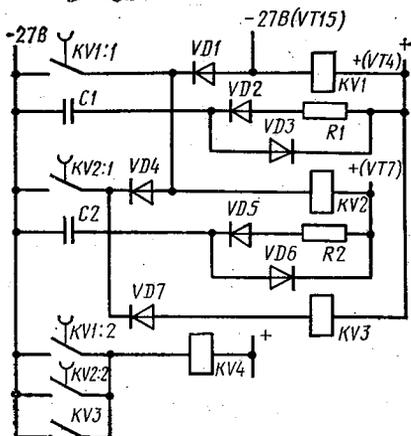


Рис. 9.7. Принципиальная электрическая схема блока реле распределителей (для одной секции).

Устройство задержки срабатывания *BP1* (рис. 9.6) выполнено по схеме ждущего мультивибратора на триодах *VT9* и *VT10*. Триоды *VT8* и *VT11* являются усилителями тока.

При переключении триггера с коллектора триода *VT5* или *VT6* импульс отрицательной полярности через конденсатор *C15* или *C16* и диод *VD15* или *VD16* поступает на базу триода *VT9* и открывает его. При этом триоды *VT8* и *VT11* закрываются и снимают напряжение  $\pm 27$  В с обмоток блока реле *BP1* на время не менее 3 с, которое определяется постоянной времени цепи *R42—C17*. После заряда конденсатора *C17* триод *VT9* закрывается, триоды *VT8*, *VT10* и *VT11* открываются, и к обмоткам реле *BP1* поступает напряжение  $\pm 27$  В.

Аналогично работает мультивибратор задержки времени срабатывания блока реле *BP2* пропорционального регулятора.

Блок распределителей *БРД ДПР* состоит из 8 групп реле (по числу секций хранилища), а каждая группа — из трех электромагнитных реле, подключающих цепи контроля и исполнительных механизмов двухпозиционных регуляторов температуры в массе хранимого продукта, в верхней зоне и в канале.

Блок распределителей *БРД ПР* пропорционального регулятора температуры воздуха в канале состоит из 8 реле, то есть по одному реле *KV4* на секцию.

Рассмотрим работу схемы одной группы реле распределителей *БРД* по рисунку 9.7. При включении от программного реле питания схемы с триггера электронного блока на реле распределителей поочередно подаются импульсы напряжения. В начале поступает напряжение на реле *KV1* от триода *VT4* полярностью «+», а от триода *VT15* — напряжение  $-27$  В. Реле *KV1* срабатывает и становится своим контактом *KV1:1* на самоблокировку, благодаря которой оно остается под током и после окончания работы каскада задержки (закрытия *VT15*).

Реле *KV1* подключает своими контактами к электронному реле *РЭ1* (рис. 9.4) блок измерения и задания *БИЗ<sub>м1</sub>* с датчиком температуры *БК<sub>м1</sub>*, замеряющим температуру в массе хранимого продукта, и реле *KV1* и *KV2* (рис. 9.8) блока управления. Одновременно контакты реле *KV1* включают реле *KV4* блока *БРД ПР* (рис. 9.7), которое, в свою очередь, подключает блок *БИЗ<sub>к1</sub>* с датчиком температуры *БК<sub>к1</sub>* (рис. 9.4), замеряющим температуру воздуха в канале, и подает потенциал «+» напряжения питания на реле *KV6* и *KV7* (рис. 9.8).

Во втором такте работы триггера управления потенциал «+» напряжения питания подается на реле *KV2* (рис. 9.7) от триода *VT7* и отключается от реле *KV1* (*VT4* закрывается). Но реле *KV1* отключается с некоторой задержкой времени, необходимой для срабатывания реле *KV2*, через замкнутый контакт *KV1:1*. Задержка определяется временем разряда конденсатора *C1* на обмотку реле *KV1* по цепи диоды *VD3*, *VD1* и контакты *KV1:1*. Заряд конденсатора *C1* происходит по цепи *R1—VD2* в период подачи напряжения от триода *VT4*.

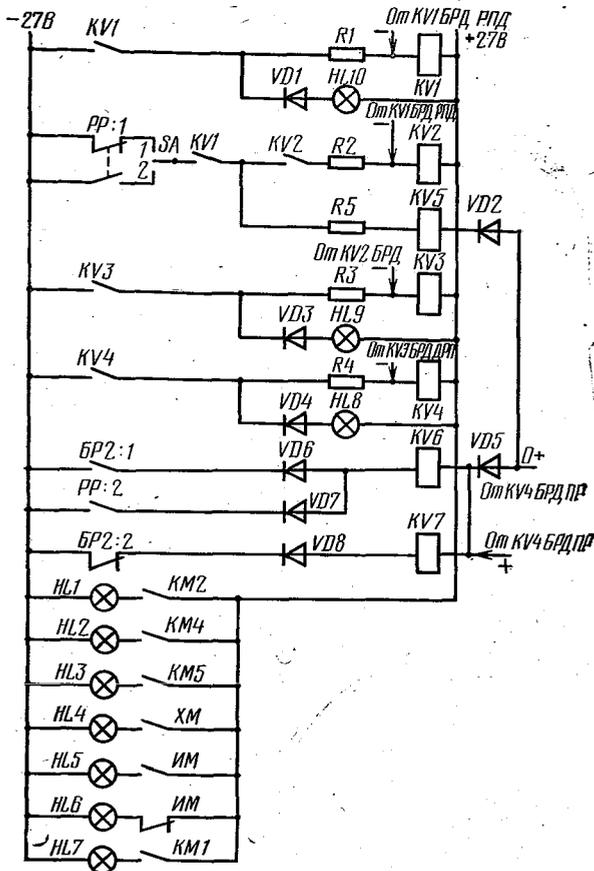


Рис. 9.8. Принципиальная электрическая схема блока управления.

Реле  $KV2$  своими контактами самоблокируется. Оно держит во включенном состоянии реле  $KV4$  и подключает к реле  $PЭ1$  (рис. 9.4) блок  $БИЗ_{в1}$  с датчиком  $ВК_{в1}$ , контролирующим температуру воздуха в верхней зоне, и реле  $KV3$  (рис. 9.8) блока управления. В третьем такте работы триггера полярность «+» источника питания снимается с реле  $KV2$  (рис. 9.7) и подается на реле  $KV3$  через триод  $VT4$ . Благодаря наличию цепочки задержки, состоящей из конденсатора  $C2$ , резистора  $R2$  и диодов  $VD4$ ,  $VD6$ , реле  $KV2$  отключается с задержкой, достаточной для срабатывания реле  $KV3$ .

Реле  $KV3$  подключают к реле  $PЭ1$  (рис. 9.4) блок  $БИЗ_{к1}$  с датчиком температуры  $ВК_{к1}$ , контролирующим температуру воздуха в канале, и реле  $KV4$  (рис. 9.7) блока управления, а также удерживает во включенном состоянии реле  $KV4$ . После закрытия

триода *VT7* схема первого блока распределителя прекращает работу, а программное реле времени выдает импульс на включение блоков автоматики следующих секций овощехранилищ, которые работают аналогичным образом.

Блок управления реле включает и отключает исполнительные механизмы секций овощехранилища. В блоке управления содержатся семь электромагнитных реле (рис. 9.8), которые имеют следующие назначения: *KV1* — реле «памяти» отклонения температуры от нормы в массе продукта; *KV2* — выходное реле управления приточным вентилятором; *KV3* — реле «памяти» отклонения температуры воздуха от нормы в верхней зоне и одновременно выходное реле управления рециркуляционно-отопительными агрегатами; *KV4* — реле «памяти» отклонения температуры воздуха от нормы в канале, выходное реле защиты продукта от подмораживания; *KV5* — реле управления холодильной машиной; *KV6* и *KV7* — выходные реле пропорционального регулятора для открытия и закрытия смесительного клапана. Здесь же находятся десять сигнальных ламп *HL1...HL10*, которые сигнализируют о включениях: *HL1* — приточного вентилятора, *HL2* и *HL3* — рециркуляционно-охладительных агрегатов, *HL4* — холодильной машины, *HL5* и *HL6* — об открытии и закрытии смесительного клапана, *HL7* — о включении подогревателя клапана, *HL8*, *HL9*, *HL10* — об отклонении температуры от нормы соответственно в канале, верхней зоне и в массе хранимой продукции.

При помощи переключателя *SA* выбирают способ охлаждения массы продукции: в положении 1 — при помощи наружного воздуха, в положении 2 — охлаждение вентилируемого воздуха специальными холодильными машинами, которые включаются регулятором *PP* и реле *KV5*.

Блок измерения и задания (БИЗ) предназначен для сравнения измеряемой термометром сопротивления температуры с заданной. Он представляет собой типовую электронную микросхему, при помощи которой обеспечивается стабильное напряжение питания мостовой схемы измерения температуры и одновременно усиления полученного сигнала рассогласования. В плечи моста включены термометр сопротивления, регистры переменного сопротивления для задания соответствующей температуры и реостат обратной связи, который используется только при пропорциональном регулировании температуры воздуха в канале. Выходы *БИЗ* (рис. 9.4) подключены ко входам электронных реле *PЭ1* или *PЭ2* соответственно через блоки распределителей *БРД ДПР* и *БРД ПР*.

Схема электронного реле совместно с блоком электромагнитных реле *KV1* и *KV2* показана на рисунке 9.9.

Электронное реле собрано на триодах *VT1...VT8* по схеме трехпозиционного нуль-индикатора. Входное напряжение  $U_{вх}$ , снимаемое с выхода *БИЗ*, поступает на базы триодов *VT1...VT2*.

При положительной полярности напряжения  $U_{вх}$ , поданного к базе триодов *VT3* и *VT4*, открываются триоды *VT3* и *VT7*, в результате этого срабатывает реле *KV1*.

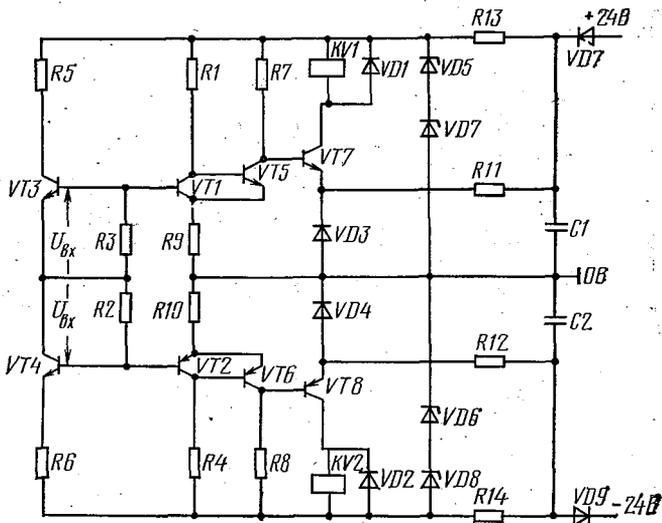


Рис. 9.9. Принципиальная электрическая схема электронного реле с блоком электромагнитных реле *KV1* и *KV2*.

При обратной полярности входного сигнала работает нижняя половина схемы и включается реле *KV2* (триоды *VT4* и *VT8* открыты, а *VT2* и *VT6* закрыты).

Контакты реле *KV1* и *KV2* управляют совместно с блоком распределителей электромагнитными реле блока управления.

При помощи стабилитронов *VD3...VD8* обеспечивается четкая и стабильная работа электронного реле. Диоды *VD1* и *VD2* предназначены для снижения на обмотках реле *KV1* и *KV2* самоэ. д. с., которые возникают при быстром закрытии триодов *VT7* и *VT8*.

Общий блок содержит выпрямители и стабилизаторы напряжения питания для всех вышеописанных блоков, программные реле времени, переключатель режимов (лечение, охлаждение и хранение) и переключатель индикации (работа, проверка, выключено).

На рисунке 9.10 приведена схема включения реле общего блока. Реле времени *KT3* периодически выдает команду на работу всей схемы системы «Среда-1» по двум программам, определяющим продолжительность включения, соответственно 40 и 30 мин. Это же реле времени через электромагнитное реле *KV4* управляет реле выдержки времени *KT1* и *KT2*, контакты которых поочередно подают с интервалом 15...30 мин напряжение питания через реле блока управления на магнитные пускатели приточных вентиляторов секций 1...4 (от реле *KT1*) и 5...8 (от реле *KT2*).

Реле *KV1* своими контактами включает напряжение питания к блокам *ВИЗ*, *РЭ*, *БР* и *БЭ* (рис. 9.4). Оно включается при замыкании контактов регулятора разности температур *РР*.

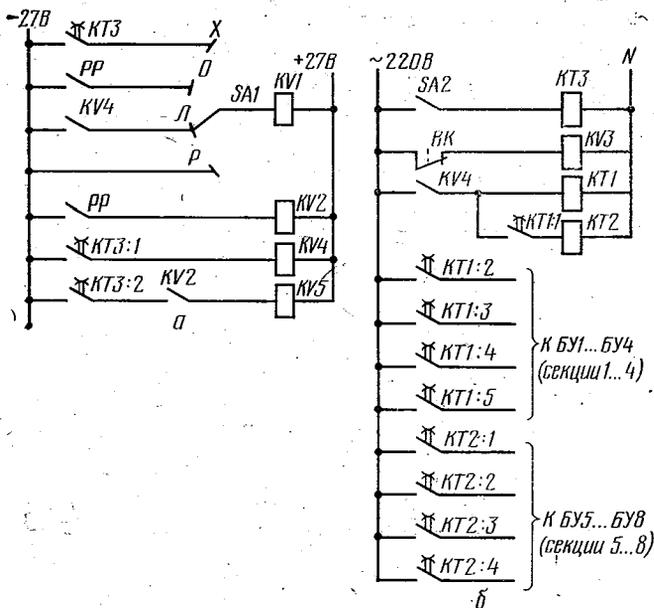


Рис. 9.10. Принципиальная электрическая схема включения реле (а) и программных реле времени (б) этого блока.

(рис. 9.10) или контактов реле времени  $KT3$ , или контактов реле  $KV4$ , или вручную в зависимости от положения переключателя  $SA1$ .

Переключателем  $SA1$  выбирают режим работы системы «Среда-1» при автоматическом управлении: положение  $Л$  соответствует режиму «Лечение»;  $О$  — «Охлаждение»;  $Х$  — «Хранение». При ручном управлении переключатель ставят в положение  $Р$ .

Реле  $KV2$  предназначено для размножения сигнала регулятора  $PP$ .

Реле  $KV3$  включается при замыкании контактов датчика температуры  $BK$ . Оно управляет электрообогревателем шкафа автоматики при снижении в нем температуры.

Реле  $KV4$  своими контактами включает реле выдержки времени  $KT1$  и  $KT2$ . Реле  $KV5$  выдает сигнал на закрытие приточного смесительного клапана.

Регулятор разности температур  $PP$  работает в режиме «Охлаждение». Когда температура наружного воздуха становится ниже температуры массы хранимого продукта на заданную величину ( $0,5...10^\circ$ ), регулятор  $PP$  выдает сигнал через реле  $KV1$  (рис. 9.10) на включение напряжения питания к блокам автоматики, на включение вентиляторов и на открытие смесительного клапана. Если при работе в режиме «Охлаждение» приточным воздухом температура последнего превышает температуру массы

продукции, то регулятор своими контактами *PP* отключает приточные вентиляторы и через реле *KV2* и *KV5* закрывает приточные смесительные клапаны в секциях, в которых нет холодильной машины.

При наличии холодильных машин регулятор *PP* выдает сигнал на включение последних при превышении температуры вентилируемого воздуха над температурой воздуха в массе хранимой продукции.

#### 9.6. РАБОТА СИСТЕМЫ «СРЕДА-1»

Последовательность работы системы «Среда-1» зависит от ее режима.

В режиме «Лечение» контакты реле *KT3* (рис. 9.10) включают реле *KV4*, которое, в свою очередь, запускает в работу реле *KV1*, подающее питание на блоки устройства, и реле времени *KT1*. Реле времени *KT1* поочередно через 15...30 с при помощи блоков управления *БУ1...БУ4* подает напряжение 220 В на магнитные пускатели приточных вентиляторов первых четырех секций. После включения приточного вентилятора четвертой секции реле *KT1* включает своими контактами обмотку реле выдержки времени *KT2*, которое поочередно подает через блоки *БУ5...БУ8* напряжение 220 В на магнитные пускатели приточных вентиляторов остальных четырех секций.

По окончании заданного времени работы системы реле *KT3* разрывает цепь питания реле *KV4*, которое отключает реле выдержки времени *KT1* и *KT2*. При этом приточные вентиляторы выключаются. Через 4...6 ч (в зависимости от программы реле *KT3*) цикл повторяется.

В режиме «Охлаждение» работа схемы зависит от источника холода для охлаждения хранимой массы (наружный воздух или воздух, получаемый от централизованной или автономной холодильной машины).

При отсутствии холодильной машины в момент перевода переключателя *SA1* в положение *O* на регулятор *PP* подается напряжение 220 В (на схеме рис. 9.10 не показано), переключатель *SA* (рис. 9.8) ставится в положение *I*. Регулятор разности температур замыкает контакты *PP* в цепи реле *KV1* (рис. 9.10) только при условии, что температура воздуха в массе продукта выше температуры наружного воздуха. Реле *KV1* подключает напряжение питания на все блоки устройства, а реле *KT3* своими контактами включает реле *KV4*, которое управляет программными реле *KT1* и *KT2*. Реле *KT1* и *KT2* периодически через блоки управления *БУ1...БУ8* (рис. 9.4) включают приточные вентиляторы.

В этом режиме включение блоков управления *БУ1...БУ8* происходит синхронно с подключением соответствующих блоков измерения и задания *БИЗ1...БИЗ8* только системы двухпозиционного регулирования (так как охлаждение приточного воздуха

не производится, то выход блока *БР2* пропорционального регулирования заблокирован). В этом режиме работает только система регулирования температуры в массе картофеля.

В первый такт распределения срабатывает реле *КV1* (рис. 9.8) блока *БРД ДРП* (рис. 9.4), которое своими контактами подключает выход блока *БИЗ<sub>м1</sub>* к входу блока *РЭ1*, а выход блока *БР1* — к реле *КV1* (рис. 9.8) блока управления первой секции. Поскольку температура массы продукта выше нормы, то реле *КV1* срабатывает, становится на самоблокировку и одновременно включает приточный вентилятор первой секции и сигнальную лампу *НЛ10*, оказывающую «отклонение температуры от нормы — в массе».

В следующих двух тактах работы блока *БРД* (рис. 9.4) очередно включаются реле *КV2* и *КV3* (рис. 9.7), которые подключают блоки *БИЗ<sub>в1</sub>* и *БИЗ<sub>к1</sub>* (рис. 9.4) к входу блока *РЭ1*, а выход блока *БР1* — соответственно к реле *КV3* и *КV4* (рис. 9.8). Поскольку температура воздуха в верхней зоне и канале выше нормы, а блоки *БИЗ<sub>в1</sub>* и *БИЗ<sub>к1</sub>* выдают сигнал только при понижении температуры, то реле *КV3* и *КV4* блока управления не срабатывают.

При последующих тактах работы блока распределителя опрашиваются блоки измерения и подключаются блоки автоматики остальных секций, которые работают аналогичным образом, как и для первой секции.

По окончании времени работы реле времени *КТ3* (рис. 9.10) отключает реле *КV4*, которое обесточивает реле *КТ1* и *КТ2*, и вентиляторы секций отключаются. Повторное включение вентиляторов осуществляется от реле *КТ3*.

Если при работе в режиме «Охлаждение» температура наружного воздуха станет выше температуры воздуха в массе продукта, то контакты *РР* отключат реле *КV1*, в результате этого выключатся вентиляторы и закроется приточный клапан.

В процессе охлаждения температура в массе продукта постепенно снижается до нормы, при которой двухпозиционный регулятор температуры перестает выдавать сигнал на включение вентиляторов, а приточный клапан закрывается.

Цепь блокировки реле *КV1* (на схеме рис. 9.10 не показана) позволяет оператору управлять работой распределителей вручную кнопками дистанционного управления, помимо реле времени. Это делается с целью ручного доведения температуры в массе продукции или верхней зоне любой секции овощехранилища до заданного значения путем изменения положения смесительного клапана.

При срабатывании реле *КV4* (рис. 9.7) его контакты подают потенциал «+» напряжения питания к реле *КV6* и *КV7* (рис. 9.8), управляющих работой смесительного приточного клапана. Одновременно реле *КV4* подключает блоки пропорционального управления *БИЗ1...БИЗ8* (рис. 9.4) к входу блока электронного реле *РЭ2*.

Таким образом, при замыкании контактов *BP2* (рис. 9.8) или *PP* срабатывает реле *KV6*, и смесительный клапан закрывается, а при возврате *BP2* — срабатывает реле *KV7*, и смесительный клапан открывается.

При достижении температуры в канале секции хранилища заданного значения на реле *KV6* и *KV7* напряжение полярностью «+» не поступает, а приточный клапан занимает одно из промежуточных положений.

Если температура в верхней зоне снизилась до недопустимого значения, то при опросе блоков *ВИЗ<sub>в1</sub>...ВИЗ<sub>в8</sub>* (рис. 9.4) контролирующих температуру верхней зоны, через контакты реле *KV2* (рис. 9.7) включается реле *KV3* (рис. 9.8). Реле *KV3* становится на самоблокировку и включает магнитные пускатели *KM4* и *KM5* (рис. 9.3) рециркуляционно-отопительных агрегатов *POA1* и *POA2*.

Блокировка, выполненная при помощи контактов реле *KV1* (не показанная на рисунке 9.8), дает возможность подогреть воздух верхней зоны только после достижения требуемой температуры в массе продукта.

Если в режиме «Охлаждение» невозможно использовать наружный воздух из-за его постоянной высокой температуры, то применяют холодильные машины (автономные и централизованные). Для этого в схеме управления машиной включают переключатель «Холодильная машина». Переключатель *SA* (рис. 9.8) ставят в положение 2, контакт *PP* в этой цепи замыкается при высокой температуре внешнего воздуха. При опросе *ВИЗ<sub>м1</sub>* (рис. 9.4) срабатывает реле *KV1* (рис. 9.8), которое своими контактами включает реле *KV5*. От реле *KV1* срабатывает приточный вентилятор, а реле *KV5* включает холодильную машину.

При достижении температуры в массе продукта заданного значения обесточиваются реле *KV1* и *KV5*, которые отключают приточный вентилятор и холодильную машину.

Если в процессе работы холодильной машины температура наружного воздуха станет ниже температуры в массе продукции, то контакты реле *PP* отключат реле *KV5* (и холодильную машину) и при помощи реле *KV6* откроют приточный клапан.

Работа системы «Среда-1» в режиме «Хранение» аналогична работе в режиме «Охлаждение». Отличие состоит в том, что напряжение питания регулятора *PP* подключают через контакты реле *KV1* общего блока.

Переключатель *SA1* при этом режиме переводят в положение *X* (рис. 9.10). В этом случае при нормальной температуре в массе продукта и в верхней зоне работает только реле времени *KT3*, которое 4...6 раз в сутки подключает реле *KV1* общего блока.

Реле *KV1* включает регулятор *PP*, блоки измерения и распределители. Реле времени *KT1* и *KT2* включают поочередно приточные вентиляторы, и происходит продувка массы картофеля. Если

внешняя температура ниже температуры массы продукта, то регулятор *PP* открывает приточный клапан.

Если после продувки температура в массе продукта какой-то секции будет отличаться от нормы, то сработает реле *KV1* или *KV3* (рис. 9.7) соответствующего блока управления и включатся исполнительные механизмы.

После достижения заданной температуры блоки измерения и распределители выключаются контактами реле *KV1* общего блока.

Устройство «Среда-1» защищает массу продукта от подмораживания вентилируемым воздухом. Для этого температура в канале каждой секции контролируется датчиками температуры *BK<sub>к1</sub>...BK<sub>к8</sub>* (рис. 9.4). При опасных температурах в момент опроса блоков *БИЗ<sub>к1</sub>...БИЗ<sub>к8</sub>* и срабатывании реле *KV3* и *KV4* (рис. 9.7) включается реле *KV4* (рис. 9.8). Реле *KV4* самоблокируется своими контактами и разрывает цепи питания магнитных пускателей приточных вентиляторов, холодильной машины и приточного клапана. Приточный клапан закрывается при помощи реле *KV7*.

Для исключения обмерзания приточного клапана с наступлением холодов включается переключатель *SA2* (рис. 9.10). Контакты реле времени *KT3* включают реле *KV5* за 40 мин перед включением *KT1* и *KT2*. Реле *KV5* включает электроподогреватели клапанов всех секций хранилища.

Обогрев шкафа автоматики включается при помощи реле *KV3* от датчика температуры *BK*, который замыкает свои контакты при снижении температуры окружающего воздуха до 10 °С и размыкает их при повышении температуры до 20 °С.

## 9.7. АВТОМАТИЗАЦИЯ ФРУКТОХРАНИЛИЩ

«Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года» предусмотрено довести в 1990 году валовой сбор плодов и ягод до 14,5...15,5 млн. т.

Для фруктохранилищ вместимостью от 1000 до 3000 т ВНИИэлектроприводом разработан комплект электрооборудования, который обеспечивает автоматическое управление микроклиматом в камерах хранения фруктов, управление работой конденсаторного и испарительного оборудования, управление работой и защиту компрессоров холодильных машин от аварийных режимов и сигнализацию о нормальных и ненормальных режимах работы оборудования. Один комплект может автоматически управлять 2...4 камерами.

Система автоматического управления микроклиматом предназначена для поддержания в камерах заданных значений температуры, влажности воздуха, циклического его перемешивания в камерах; включения и отключения установок приточной и вытяжной вентиляции, аммиачных и водяных насосов; оттаивания воздухоохладителей, а также для контроля за состоянием темпера-

туры и влажности воздуха в камерах и температуры в отдельных точках холодильной установки.

Электрическая принципиальная схема управления микроклиматом в фруктохранилище показана на рисунке 9.11.

Напряжение на схему автоматического управления подают кнопкой *SB6*. В случае экстренной необходимости все агрегаты можно отключить одновременно одной из кнопок *SB1...SB5*, расположенных в определенных местах фруктохранилища. При помощи кнопок *SB7*, *SB8* управляют аварийным вентилятором *MI* (4,5 кВт).

Схему управления температурой и относительной влажностью воздуха первой камеры фруктохранилища включает автомат *SF1*. Переключателем *SA1* выбирают режим работы системы: 1 — ручной (при наладке), 2 — автоматическая работа, 0 — отключено управление.

В автоматическом режиме при повышении температуры в камере срабатывает терморегулятор *P*, который включает реле *KV1*. Реле *KV1* своими контактами *KV1:1*, *KV1:2* и *KV1:3* включает соответственно электромагнитный аммиачный вентиль *JA1*, магнитный пускатель *KM3* электроприводов *M2* и *M3* (по 2,2 кВт) вентиляторов воздухоохладительных установок и электропривод одного из аммиачных насосов *M4* или *M5* (по 5,5 кВт) подачи аммиака как холодоносителя в воздухоохладительные камеры. Когда температура в камере достигает заданного значения, контакты терморегулятора размыкаются, и электродвигатели *M2...M5* и электромагнитный вентиль *JA1* отключаются.

Режим работы аммиачных насосов выбирают переключателем *SA3*: 1 — оба насоса отключены, 2 — рабочий насос *M4* (*M5* в резерве), 3 — ручное управление (при наладке), 4 — рабочий насос *M5* (*M4* в резерве).

При успешном пуске рабочего насоса срабатывает датчик давления *SP1*, который включает реле *KV5*. Реле *KV5* одним своим контактом подает напряжение на включение компрессоров холодильной установки (на схеме не показано) и вторым — отключает реле выдержки времени *KT2*, предназначенное для включения резервного насоса.

При неуспешном пуске или при исчезновении давления аммиака в системе рабочего насоса датчик *SP1* размыкает цепь реле *KV5*, которое включает реле *KT2*. Последнее своим контактом *KT2* через 10 с включает реле *KV4*, которое подключает резервный насос.

Относительную влажность воздуха в камере фруктохранилища регулируют при помощи влагорегулятора *B*. При понижении влажности воздуха контакты *B* включают реле *KV3*, которое дополнительно к электроподогревателю воды *EK1* подключает при помощи магнитного пускателя *KM5* секции *EK2* и *EK3* электропарообразователя.

Пар в камеру подается для повышения влажности воздуха включением соответствующей задвижки, установленной на паропроводе. При достижении влажности воздуха в камере нормы

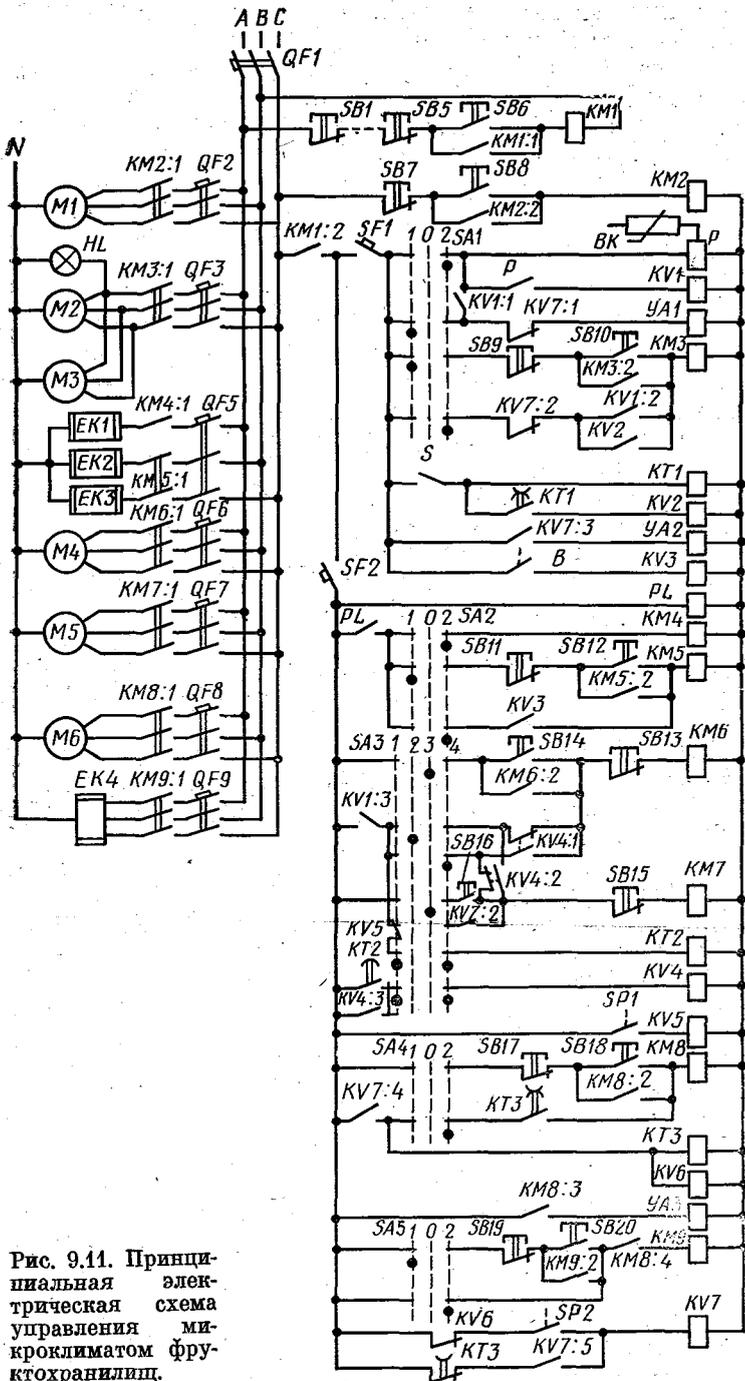


Рис. 9.11. Принципиальная электрическая схема управления микроклиматом фруктохранилища.

подача пара прекращается. Подогреватель *EK1* (0,5 кВт) включен постоянно для предотвращения замерзания воды при низких внешних температурах.

В схеме предусмотрена защита паробразователя от «сухого хода» при помощи регулятора уровня воды *PL*. Если уровень воды в увлажнителе понизится, то регулятор уровня разомкнет контакты *PL* и отключит нагреватели *EK1...EK3*.

Для создания более равномерного распределения температурно-влажностного поля воздуха внутри камер предусмотрено циклическое перемешивание воздуха при помощи вентиляторов воздухоохладителей. Цепь управления вентилятором первой камеры включают тумблером *S*. Режим управления работой вентилятора (длительность и время включения и отключения) настраивают при помощи программного реле *KT1*, которое через реле *KV2* и магнитный пускатель *KM3* управляет работой электродвигателей *M2* и *M3* вентиляторов.

Системой автоматики предусмотрено управление процессом удаления льда («снеговой шубы»), который постепенно накапливается на поверхности воздухоохладителей. Режим системы удаления льда выбирают переключателями *SA4* и *SA5*: 1 — наладка, 0 — «Отключено», 2 — «Автоматическая работа».

Наличие «снеговой шубы» на внешней поверхности воздухоохладителя обнаруживает реле давления *SP2*, которое воспринимает разность давлений до воздухоохладителя и после него. При увеличении этой разности из-за закрытия воздухопроводов «снеговой шубой» замыкаются контакты *SP2*, включается и становится на самоблокировку реле *KV7*. Реле *KV7* контактами *KV7:2* отключает магнитный пускатель *KM3* вентиляторов воздухоохладителей и контактами *KV7:1* — аммиачный электромагнитный вентиль *УА1* и одновременно контактами *KV7:3* включает электромагнитный вентиль *УА2* воды оттаивания, а контактами *KV7:4* — реле выдержки времени *KT3* и реле *KV6*. Реле *KV6* отключает реле *KV7*. Через выдержку времени, равную 3 мин и достаточную для стока аммиака из воздухоохладителя, контактом *KT3* включается магнитный пускатель *KM8*, который своими контактами открывает электромагнитный вентиль стока воды *УА3*, включает электропривод *M6* (4 кВт) насоса воды оттаивания и магнитным пускателем *KM9* — электронагреватель *EK4* (15 кВт) воды для оттаивания. Через 27 мин контактом *KT3* выключаются электропривод *M6* насоса воды оттаивания и электронагреватель *EK4* и закрывается электромагнитный вентиль *УА3* стока воды. Процесс оттаивания прекращается, а еще через 3 мин выключается реле *KV7*. Последние 3 мин выдержка обеспечивает сток воды с воздухоохладителя и не дает возможность включить электромагнитный аммиачный вентиль и воздухоохладитель сразу же после окончания оттаивания. Реле *KV7* отключает магнитным пускателем *KM8* электродвигатель *M6* насоса, электромагнитные вентили *УА2* и *УА3* и нагреватель *EK4* воды оттаивания. Это же реле *KV7* замыкающими контактами *K7:1* и *K7:2* вновь вводит в автоматическую

работу цепи управления аммиачным вентилем УА1 и электроприборами М2 и М3 вентиляторов воздухоохладителя.

Кроме устройств управления микроклиматом в камерах, в рассмотренный комплект входят автоматические системы регулирования и контроля уровня и температуры аммиака, системы управления компрессорно-конденсаторной группой, вентиляцией, воздушной завесой, включаемой при открытии камер, и рассольными насосами, а также приборы контроля, сигнализации и защиты электрооборудования.

### 9.8. АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЕТА, КОНТРОЛЯ И СОРТИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ В ХРАНИЛИЩАХ

Контроль и учет позволяют своевременно выявить и устранить все недостатки производства и этим способствовать повышению качества и увеличению количества сельскохозяйственной продукции.

Поступающую в хранилище и отпускаемую из него продукцию обязательно учитывают и регистрируют в специальной ведомости или передают данные в память ЭВМ. Продукцию взвешивают на железнодорожных или автомобильных весах, устанавливаемых непосредственно при въезде на территорию хранилища.

Качество хранения сельскохозяйственной продукции контролируют визуально на местах или по отобраным образцам — химическими методами в лабораториях хозяйств и районных центральных лабораториях. Результаты анализов фиксируют в специальных журналах и сообщают руководителям и агротехническим службам колхозов и совхозов.

При помощи технических средств автоматики контролируют микроклимат в хранилищах, температуру и влажность хранимого продукта, очищают его и сортируют перед закладкой на хранение и перед поступлением к потребителю или на посев.

В современных зернохранилищах колхозов и совхозов семенное зерно хранят в мешках или в закромах вместимостью от 100 до 5000 т, а фуражное — россыпью в железобетонных силосах или металлических бункерах вместимостью от 500 до 10 000 т.

Такие крупные зернохранилища, как государственные зерновые элеваторы, имеют электромеханизированные установки загрузки и разгрузки зерна, активного вентилирования и аэрации семян.

Зерно и зернопродукты на хранение закладывают предварительно очищенными, просушенными и охлажденными до  $10^{\circ}\text{C}$  и ниже (п. 7.2) до температур, при которых все жизненные функции живых компонентов зерновой массы затормаживаются.

Для успешного хранения зерна в складах необходимо периодически контролировать влажность и температуру зерновой массы.

Влажность контролируют в лабораторных условиях путем проверки проб семян, взятых из отдельных мест хранилища, а температуру — по показаниям датчиков температуры, заложенных в отдельные места хранимой зерновой массы.

Для семенного зерна нельзя допускать снижения температуры до  $-20^{\circ}$  и ниже, так как из-за наличия свободной влаги и ее замерзания нарушается целостность семени и снижается всхожесть.

По показаниям датчиков температуры обнаруживают очаги самосогревания зерновой продукции и гнили в овощехранилищах.

Самосогревание влажной зерновой массы возникает вследствие протекающих в ней биохимических процессов и плохой теплопроводности. При этом температура в самосогреваемом участке насыпи поднимается до  $55...65^{\circ}$ , а иногда до  $70...75^{\circ}\text{C}$ , что ведет к потере посевных, технологических, пищевых и фуражных качеств зерновых продуктов.

Самосогревание возникает в невентилируемых местах, в которых находится зерно с повышенной влажностью, особенно свежесобранное, с большой физиологической активностью.

Процесс самосогревания зерновых продуктов и гниения картофеля и овощей сопровождается не только повышением температуры, но и увеличением выделения влаги. Вследствие этого очаги самосогревания и гниения можно обнаруживать не только датчиками температуры, но и по увеличению показаний датчиков относительной влажности воздуха, закладываемых в массу хранимой продукции.

Выше были рассмотрены схемы автоматизации первичной обработки, учета и хранения сельскохозяйственной продукции, а также поточных линий послеуборочной обработки зерновых культур.

**Сортировка сельскохозяйственной продукции.** Поскольку вопросы очистки и сортировки зерновых культур и продуктов их переработки рассматриваются в курсе «Комплексная механизация сельского хозяйства», то здесь рассмотрим новые принципы автоматической сортировки сельскохозяйственной продукции по ее оптическим свойствам, характеризующим степень зрелости и другие качества плодов томатов и яблок, клубней картофеля, корнеплодов, а также листьев табака.

Весьма важной операцией при закладке на хранение картофеля является сортировка его по размерам, отделение комков земли, камней, клубней, пораженных гнилью и фитозеленью, а перед посадкой — отделение загнивших клубней. Необходимость сортировки посадочного картофеля вызвана тем, что в процессе хранения до  $15...20\%$  клубней семенного картофеля поражаются различными гнилями, основную часть из которых составляет сухая гниль.

Затраты ручного труда на отделение загнивших клубней перед посадкой составляют  $20...30\%$  общих трудозатрат на производство картофеля, а посадка несортированного картофеля приводит к недобору  $15...20\%$  урожая.

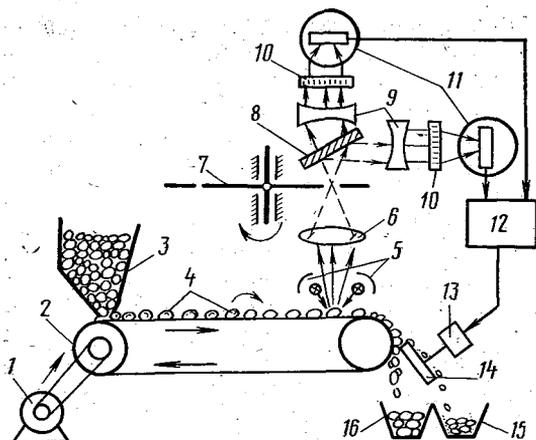


Рис. 9.12. Схема установки для автоматической сортировки клубней картофеля:

1 — электропривод; 2 — транспортер-выстраиватель; 3 — бункер-питатель; 4 — клубни картофеля; 5 — оптические излучатели; 6 — объектив; 7 — анализатор изображения; 8 — делитель излучения; 9 — конденсаторы; 10 — оптические фильтры; 11 — фотоприемники; 12 — блок обработки информации; 13 — исполнительный механизм; 14 — заслонка; 15 и 16 — емкости для отходов и здоровых клубней.

длинах волн  $\lambda$ . Из бункера-питателя 3 клубни картофеля 4 поступают на роликовый транспортер, который поштучно выстраивает и, вращая, перемещает их в зону оптического осмотра.

Отраженный от клубня оптический поток инфракрасных излучений 5 проходит через объектив 6 и анализатор изображения 7 на делитель излучения 8. С делителя излучений оптический поток, разделяемый на два канала, поступает через конденсаторы 9 и фильтры 10 к фотоприемникам 11. Анализатор изображения позволяет поочередно осматривать (сканировать) поверхность клубня.

От фотоприемников сигналы, пропорциональные коэффициентам отражения оптического потока от поверхности клубня на двух длинах волн (0,95 мкм и 1,25 мкм), поступают на электронный блок обработки 12. Электронный блок вычитает эти сигналы. В результате на выходе блока 12 появляется сигнал, который передается на исполнительный механизм 13 только от поврежденного клубня или комков почвы и камней.

В этом случае электромеханический исполнительный механизм 13 поворачивает заслонку 14 и направляет гнилой клубень или инородные тела в емкость 15 для отходов.

При осмотре здорового клубня разность сигналов от обоих фотоэлементов положительная, исполнительный элемент 13 не срабатывает, а клубень свободно падает в емкость 16. Время передачи клубня из зоны осмотра в емкости согласуется со временем

Для сортировки картофеля разработаны оптические, радиоизотопные и температурные методы обнаружения загнивших клубней и клубней, пораженных фитозеленью, а также комков почвы и камней.

Рассмотрим принцип работы оптической установки для автоматической сортировки клубней картофеля (рис. 9.12), использующей спектральную характеристику коэффициентов отражения клубней. Спектральные характеристики коэффициентов отражения здоровых и больных клубней, как и комков почвы и камней, имеют большие различия на определенных

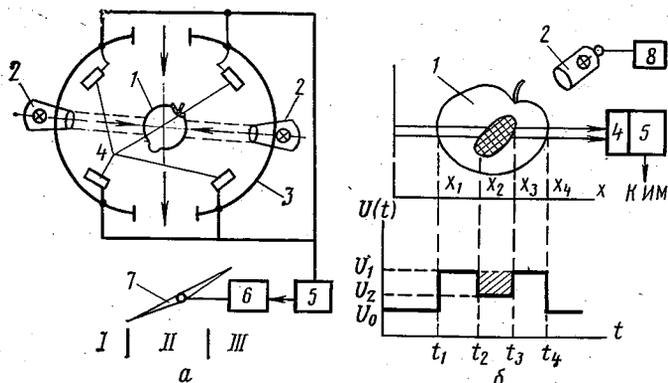


Рис. 9.13. Схемы автоматической сортировки плодов томатов (а) и яблок (б) по оптическим спектральным характеристикам:

1 — плод; 2 — осветители; 3 — фотометрическая камера; 4 — фотоэлементы; 5 — усилительно-преобразовательное устройство; 6 — исполнительный механизм; 7 — заслонка; 8 — привод сканирующего устройства.

прохождения сигнала и срабатывания механизма 13 так, чтобы последний отбрасывал поврежденный клубень при прохождении его мимо заслонки 14. Производительность современной установки — до 6 штук клубней в секунду, или около 2 т/ч, погрешность работы 5...10% в зависимости от загрязненности поверхности, а на мокрых клубнях доходит до 30%.

Плоды томатов сортируют по размерам и зрелости, а также отделяют плоды, пораженные болезнями. По размеру плоды томатов сортируют на механических калибровочных машинах.

При разделении по зрелости и отделении больных плодов измеряют упругость и жесткость кожицы плодов или их оптические отражательные свойства.

На рисунке 9.13, а показан принцип разделения плодов томатов на 3 фракции по зрелости, а точнее, по окраске их поверхности. Плод 1 в свободном падении пролетает через центр фотометрической камеры 3, где он облучается осветителями 2 видимого излучения. Отраженные от плода излучения, многократно преломляясь на внутренней, окрашенной в белый цвет поверхности камеры, попадают на светочувствительные фотоэлементы 4.

При отсутствии плода потоки видимого излучения от источников освещения, направленные навстречу друг другу, создают незначительную освещенность в камере.

При пересечении плодом светового потока фотоэлементы 4 воспринимают отраженный поток определенного спектра, зависящего от зрелости (цвета) плода 1. Сигнал с фотоэлементов суммируется и подается на усилительно-преобразовательное устройство 5, которое при помощи исполнительного механизма 6 с за-

слонкой 7 разделяет плоды на три фракции — I, II и III (зеленые, бурые и красные).

Для сортировки плодов яблок, имеющих поврежденную поверхность от механических ударов или пятна на кожуре от болезней, используются сканирующие устройства (рис. 9.13, б). В сканирующей системе видимое излучение от осветителя 2, управляемого при помощи электропривода 3, поэлементно освещает поверхность плода. Отраженный луч воспринимается фотоэлементом 4 и направляется в усилительно-преобразовательное устройство 5. Значение выходного сигнала  $v(t)$  фотоэлемента зависит от состояния поверхности и изменяется во времени по форме, показанной на нижней части рисунка 9.13, б.

Усилительно-преобразовательное устройство 5 вычисляет сумму произведений

$$\sum n(t_3 - t_2), \quad (9.12)$$

где  $n$  — число строк сканирования поврежденного участка поверхности плода (заштрихованная часть на рисунке);  $t_2$  и  $t_3$  — время пересечения сканирующим лучом границ поврежденного и неповрежденного участков.

С выхода устройства 5 к исполнительному механизму ИМ сортирующей установки поступает сигнал, пропорциональный площади повреждения  $S_{II}$ :

$$S_{II} = k \sum n(t_3 - t_2). \quad (9.13)$$

Эту же сортирующую установку можно использовать для разделения овощей и плодов по размеру, перенастроив усилительно-преобразовательное устройство на вычисление суммы, пропорциональной площади  $S_M$  медианного сечения объекта:

$$S_M = k \sum m(t_4 - t_1), \quad (9.14)$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности;  $t_1$  и  $t_4$  — время пересечения сканирующим лучом профиля плода;  $m$  — число строк сканирования поверхности объекта.

В МИИСПе разработаны метод и схема сортировки листьев табака по цвету на три товарных сорта.

В нашей стране производится более 300 тыс. тонн листьев табака. На производство одной тонны табачного сырья затрачивается 300 дней, из них половина — на сушку, обработку и сортировку.

Ручная сортировка листьев табака малопродуктивна и часто необъективна, что приводит к значительному снижению качества табачного сырья.

Для автоматической сортировки листьев табака на три товарных сорта предложено использовать отражательные свойства листьев табака и их цветовые характеристики в так называемой стандартной калориметрической системе RGB (первые буквы английских слов красный, зеленый и голубой). Последний показатель тесно связан с характеристикой сортности листьев: к первому сорту относят желтые листья с содержанием темной зелени до 20% площади листа, ко второму — с содержанием темной зелени до 50%

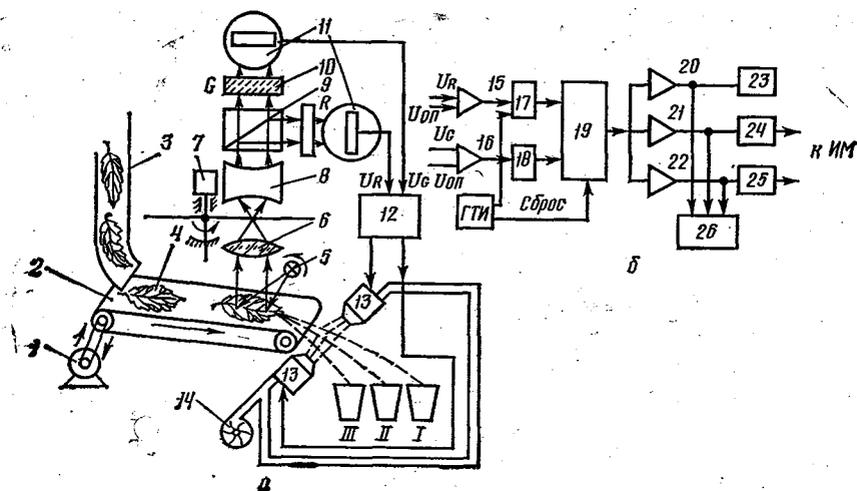


Рис. 9.14. Схемы распознающего устройства (а) и электронного блока (б) автоматической сортировки листьев табака на три товарных сорта:

1 — электропривод транспортера 2; 3 — подающее устройство листьев табака 4; 5 — осветитель; 6 — объектив; 7 — сканирующий диск с электроприводом; 8 — конденсатор; 9 — светорасщепляющая оптика с дихроическими зеркалами; 10 — корректирующие фильтры; 11 — фотоэлементы; 12 — электронный блок анализа; 13 — пневматические исполнительные механизмы; 14 — компрессор; 15, 16 — усилители-компараторы; 17, 18 — логические элементы «И»; 19 — вычислительное устройство; 20, 21, 22 — компараторы; 23, 24, 25 — реле исполнительных механизмов; 26 — блок индикации; I, II, III — емкости для приема листьев табака соответствующего сорта; ГТИ — генератор тактовых импульсов.

и к третьему сорту — свыше 50%. Закупочная цена первого сорта в 4...5 раз выше цены низшего сорта табака.

Сортирующее устройство определяет процент темной зелени на площади листа табака, а в зависимости от этого процента листья разделяют на три сорта.

Принцип действия сортирующего устройства рассмотрим по рисунку 9.14. Листья табака 4 поступают на транспортер 2 из подающего устройства 3. Транспортер при помощи электропривода 1 переносит лист в зону сканирования. Оптический поток излучателя 5, отражаясь от листа, проходит через объектив 6, отверстие сканирующего диска 7 и конденсор 8 на светорасщепляющую оптику 9 с дихроическими зеркалами. В оптике 9 поток отраженного излучения разделяется на два канала, в которых при помощи фильтров 10 выделяются участки спектров  $G$  и  $R$ . Оптические сигналы, пропорциональные значениям  $G$  и  $R$ , воспринимаются фотоэлементами 11 и передаются в форме напряжений  $U_R$  и  $U_G$  на электронный блок анализа 12. В электронном блоке напряжения  $U_R$  и  $U_G$  сравниваются с опорными напряжениями  $U_{оп}$ , определяющими границу разделения между цветовыми характеристиками  $R$  и  $G$ . Вычислительное устройство 19 совместно с логическими элементами «И» 17 и 18 определяет значение темно-зеленой пло-

щади  $S_G$  и желтой площади  $S_R$  листа и вычисляет процент темно-зеленой площади  $K$ :

$$K = \frac{S_G}{S_G + S_R} \cdot 100. \quad (9.15)$$

Генератор тактовых импульсов ГТИ включает в работу логические элементы только при попадании листа табака в поле объектива и сбрасывает результаты вычисления при уходе листа табака из поля объектива.

Выходной сигнал с вычислительного устройства поступает на компараторы 20, 21 и 22, которые разделяют его на три канала в соответствии с определенным соротом листа. С компараторов сигналы проходят на индикатор 26, определяющий количество листьев по сортам, и на реле 23, 24 и 25. Листья первого сорта свободно направляются в емкость 1, а листья второго и третьего сортов при помощи реле 24 и 25 и пневматических клапанов 13 — в емкости II и III. Питание пневмоклапанов осуществляется от воздушного компрессора 14. Опытный образец устройства показал погрешность сортировки 4,5%, производительность — до 10 листьев в секунду, или 65 кг/ч.

Электрические, оптические, тепловые и акустические свойства сельскохозяйственной продукции используются также при создании новых приборов контроля зрелости арбузов, посевных качеств семян, содержания жира и белка в молоке, свежести яиц, упитанности животных и т. п.

## Глава 10. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОРМОПРОИЗВОДСТВА

### 10.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ <sup>1</sup>

Создание прочной кормовой базы — основа увеличения продукции животноводства. Корма растительного происхождения различают на грубые (сено, солома), сочные (силос, корнеклубнеплоды), зеленые (травы) и концентрированные (зерно, жмых и др.). Отходы молочной, мясной и рыбной промышленности образуют группу кормов животного происхождения. Для получения сбалансированных полнорационных кормов, то есть с комплексом необходимых питательных веществ, смешивают корма растительного и животного происхождения и добавляют к ним минеральные подкормки (мел, соль, карбамид), витамины, антибиотики и микроэлементы (медь, железо и др.). Такой корм называют концентрированным или комбикормом. Кормление животных сбалансированными кормами обеспечивает повышение на 25...30% продуктивности животных и позволяет почти в 2 раза снизить затраты труда и себестоимость единицы животноводческой продукции.

По зоотехническим требованиям концентрированные корма должны составлять не менее трети общей потребности кормов. В настоящее время ежегодно производится около 60 млн. тонн комбикормов, при этом более 80% их скармливается на птице- и свинофермах.

Для лучшей сохранности питательных свойств, удобства транспортировки, хранения и скармливания зеленые и частично грубые корма перерабатывают в сенную муку, а также гранулируют и брикетируют.

Для заготовки и обработки кормов на фермах применяют десятки типов различных машин, которые используют механические, тепловые, химические и биологические способы приготовления кормов. Эти машины изучаются в курсе «Автоматизация технологических процессов». Здесь рассмотрим электрические схемы автоматизации основных поточных линий по приготовлению травяной муки, кормовых гранул и брикетов, а также комбикормов.

### 10.2. 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.

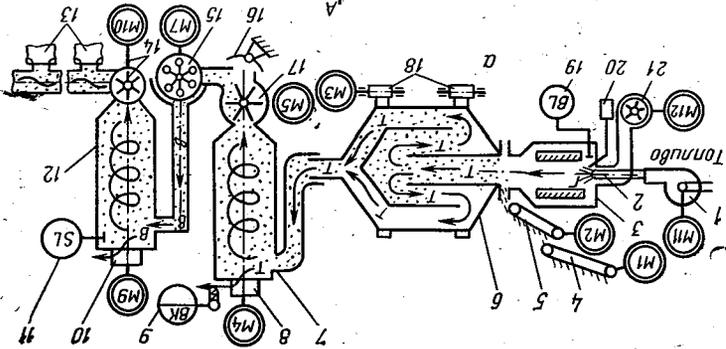
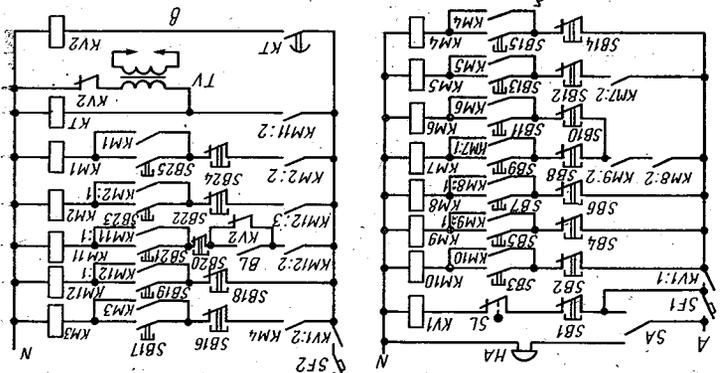
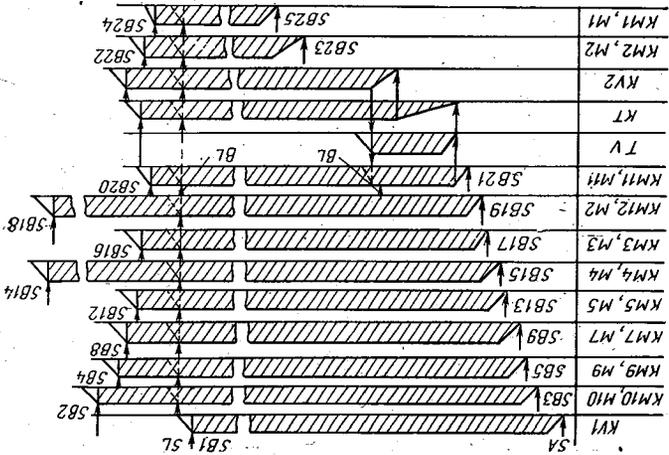
Кроме этих агрегатов, используются установки «Витагама-1» и польская установка СБ-1,5 (М-804/0-1,5). Все эти установки отличаются высокой энергоемкостью (210...300 кг жидкого топлива и 120...150 кВт·ч электроэнергии на каждую тонну муки). Ежегодно в СССР производится около 10 млн. т такой муки. Вследствие этого 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. 10.1). Жидкое топливо подается насосом 1 и впрыскивается форсункой 2 в камеру газификации топки 3 под давлением 1,2 МПа. Сюда же поступает воздух от вентилятора 21. Смесь воздуха и топлива воспламеняется от искры, создаваемой трансформатором зажигания 20. Топочные газы, перемешиваясь с воздухом и травяной сечкой, засасываемыми вентилятором 8 циклона 7 сухой массы, образуют теплоноситель с температурой 250...300 °С при получении зернофуражной муки и до 600...900 °С при сушке травяной муки. Сушильный барабан 6 загружают через горловину при помощи конвейерных транспортеров 4 и 5. Сушильный барабан, состоящий из соединенных в одно целое трех концентрических цилиндров, вращается на роликах 18 при помощи электропривода МЗ. На внутренней части каждого цилиндра приварены лопасти для ворошения и перемещения высушиваемой массы в потоке теплоносителя. В циклоне 7 происходит отделение высушенной массы от потока топочных газов. Температура выбрасываемых газов контролируется датчиком 9. Высушенная масса дозатором 17 подается в дробилку 15. По пути под действием центробежных сил от нее отделяются в камнеуловителе 16 твердые включения (камни, металлические предметы).

Дробилка превращает высушенную массу в муку, которая вентилятором 10 засасывается в циклон-охладитель 12. Из циклона дозатор и шнек 14 направляют муку к выгрузным люкам 13, у которых прикреплены мешки. Наличие пламени контролирует фотодатчик 19, температуры — термодатчик 9, предельного уровня муки в циклоне-охладителе — датчик уровня 11. Пуск и останов АВМ иллюстрируется временной диаграммой (рис. 10.1, з). Переключателем SA вначале подают звуковой сигнал HA, а затем включают реле KVI. Кнопками «Пуск» SB3...SB19 поочередно включают электродвигатели установок в последовательности, обратной технологическому потоку: двигатель M10 дозатора 14, двигатель M9 вентилятора циклона-охладителя 12, двигатели M7 и M8 дробилок 15, двигатели M5 и M6 дозаторов 17 циклонов сухой массы (на схеме рис. 10.1, а показаны только один циклон 7 и одна дробилка 15), двигатель M4 вентилятора 8, двигатель M3 сушильного ба-

Рис. 10.1. Технологическая (а), принципиальная электрическая (б) и гидравлическая (в) схемы управления механизмами (б) и сушилкой (в) и временная диаграмма (а) работы АВМ-1,5.

2



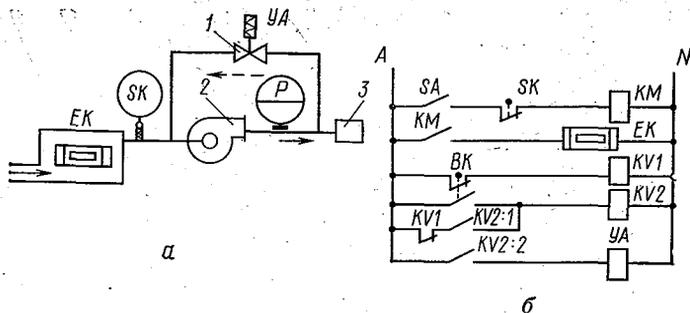


Рис. 10.2. Технологическая (а) и принципиальная электрическая (б) схемы управления температурой топлива и теплоносителя.

рабана 6, двигатель *M12* вентилятора 21 топки. Чтобы зажечь в топке факел, необходимо вручную открыть вентиль на баллоне со сжиженным газом и кнопкой *SB21* пустить двигатель *M11* топливного насоса. При этом блок-контакты *KM11:2* 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 *BL* 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 12. В нормальных условиях агрегат останавливают в обратной последовательности кнопками *SB24*, *SB22*, *SB20*, *SB16...SB2*. Двигатели *M12* и *M4* вентиляторов топки и циклона 7 оставляют включенными до полного остывания топки, а затем отключают кнопками *SB18* и *SB14*.

Процесс сушки пока автоматизирован частично и ограничивается только управлением температурой. Температуру теплоносителя на входе регулируют по температуре газов на выходе из циклона 7 изменением подачи топлива к форсунке.

При увеличении температуры газов переключаются контакты датчика температуры *BK* (рис. 10.2), которые включают реле *KV2* и электромагнит *YA* вентиля 1, установленного на обратном трубопроводе. Вентиль 1 открывается, и часть топлива, засасываясь насосом 2 через вентиль обратно, не попадает в форсунку 3. Интенсивность горения уменьшается, и температура снижается до минимального значения, при котором контакты термодатчика *BK* возвращаются в исходное положение и при помощи реле *KV1*

отключают электромагнит УА через реле КV2. Теперь все топливо проходит через форсунку. Температура 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 °С при помощи контактного термодатчика SK, управляющего электромагнитным пускателем KM электронагревателя EK (рис. 10.2). Давление топлива перед форсункой контролируется манометром P. Схемы управления имеют световую сигнализацию о работе всех механизмов и общую аварийную звуковую сигнализацию.

### 10.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГРАНУЛИРОВАНИЯ И БРИКЕТИРОВАНИЯ КОРМОВ

Технологический процесс прессования и гранулирования кормов имеет высокую степень автоматизации. Прессование кормов необходимо для улучшения их транспортабельности, снижения стоимости перевозок и объема складских помещений, обеспечения лучшей сохранности и поедаемости кормов животными.

Наиболее совершенные способы прессования — брикетирование и гранулирование, обеспечивающие наиболее высокую степень уплотнения.

Брикеты размером от 30×30 до 100×100 мм и длиной 20...200 мм получают из сечки стебельчатых кормов длиной 5...50 мм, гранулы в форме цилиндра диаметром 5...15 и длиной 10...30 мм готовят из комбикорма, дерти и травяной муки.

Процесс прессования кормов состоит из трех основных операций: кондиционирования сырья, его прессования и охлаждения готовых брикетов или гранул. Кондиционирование включает операции дозирования кормов, воды, пара или связывающих веществ (меласса, жиры) и смешивание их между собой с целью повышения прочности брикетов или гранул и равномерного распределения в них исходного сырья.

В процессе прессования в специальных матрицах исходный материал разогревается.

После выхода готовых брикетов или гранул из пресса их охлаждают, чтобы привести в тепловое равновесие с окружающей средой и снять внутренние остаточные механические напряжения.

Для гранулирования кормов используют смесители-грануляторы СНГ-300 «Корм» производительностью до 100 т в сутки, грануляторы типа ОГМ производительностью от 0,8 до 10 т/ч и оборудование для производства амидно-концентратных добавок АКД (75% комбикорма, 20% карбамида, 5% бентонита натрия) производительностью до 20 т в смену.

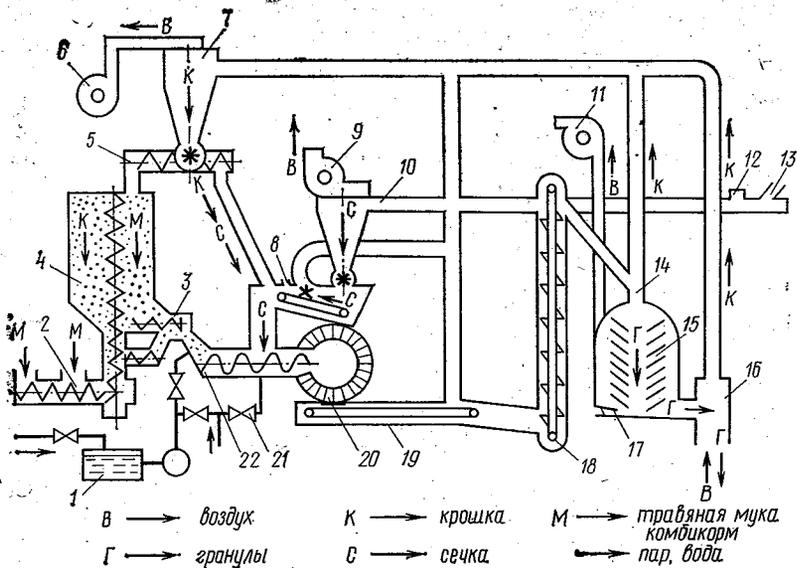


Рис. 10.3. Технологическая схема процесса прессования кормов оборудованием ОПК-2.

Наиболее совершенное оборудование прессования кормов ОПК-2 производительностью 2 т/ч. Оно универсально, то есть позволяет гранулировать и брикетировать комбикорма и травяную муку, сечку травы и кормовые смеси. Рассмотрим по рисунку 10.3 технологическую схему процесса прессования кормов при помощи оборудования ОПК-2.

Гранулируемый корм горизонтальным шнеком 2 и вертикальным шнеком загружается в накопительный бункер 4, из которого дозатором 3 выводится в смеситель-питатель 22 пресса 20. Одновременно в корм вводятся или вода в дозатор 3 из бака 1 или пар в смеситель 22 из паропроводов 21.

Увлажненный корм непрерывно вводится в пресс 20 и продавливается в радиальные отверстия кольцевой неподвижной матрицы, формируя гранулы. Выдавливаемые гранулы обламываются вращающимся обламывателем и транспортируются ленточным транспортером 19 и норией 18 через камеру предварительного сортирования 14 в охлаждающую колонку 15. Гранулы охлаждаются воздухом, засасываемым вентилятором 11.

По мере накопления в охлаждающей колонке 15 гранулы выгружаются вибровыгрузателем 17 через камеру окончательного сортирования 16 на затаривание.

Крошка и негранулированный корм в камерах 14 и 16 отделяются от гранул воздушным потоком, создаваемым вентилятором 6, и через циклон 7 возвращаются транспортером 5 в бункер 4.

При брикетировании корма травяная сечка из сушильного агрегата засасывается вентилятором 9 через заборник 13 и накапливается в циклоне 10, а затем через шлюзовой затвор подается транспортером 8 в смеситель-питатель 22. В этом случае вода вводится в выгрузную горловину транспортера 8. Дальнейший путь брикетов — через пресс и далее аналогичен пути гранул. Неспрессованный корм и крошка возвращаются через циклон 7 на транспортер 8. Через шлюзовый затвор 12 в травяной корм можно добавлять соломенную сечку.

При брикетировании кормовых смесей комбикорм в пресс подается транспортером 2, травяная сечка и соломенная сечка — транспортером 8.

Электрическая схема управления ОПК-2 предусматривает включение и отключение шестнадцати асинхронных электроприводов механизмов, их защиту и сигнализацию о нормальных и аварийных режимах (рис. 10.4). Для облегчения пуска двигателя *M15* пресса, мощность которого составляет 90 кВт, предусмотрено его переключение по схеме со «звезды» на «треугольник». Суммарная мощность остальных 15 двигателей не превышает 50 кВт. Электродвигатели к сети подключаются автоматами *QF1...QF15*, цепи управления защищены автоматами *SF16* и *SF17*.

Пускает и останавливает электроприводы оператор при помощи кнопочных постов *SB1...SB20*, для экстренного отключения всего оборудования предназначена кнопка *SB*.

Режим работы выбирают при помощи переключателя *SA2*: в положение 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 рисунке 10.4, а цепи переключателя, используемые при наладке, а также цепи сигнализации не показаны).

Переключателем *SA1* (рис. 10.4, а) устанавливают вид увлажнения при прессовании корма: положение 1 — «Вода», 2 — «Пар». Тумблером *S* и реле *KV2* включают и отключают вторичные цепи. Переключателями *SA4* и *SA6* устанавливают ручной или автоматический режимы работы соответственно вибровыгрузателя 17 спрессованного корма и вентиля *YA3*, подающего воду на увлажнение корма до 17%.

Уровень исходного сырья в бункере 4 и готового корма в охладителе 15 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 останов ОПК-2 осуществляет оператор в последовательности, показанной на временной диаграмме рисунка 10.4, в. 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 B, соответствующее транспортированию крошки транспортером 5 в бункер 4. Включают тумблером S реле KV2, которое защищает остальные цепи управления и сигнализации. При этом открывается электромагнитный вентиль воды YA3. Затем кнопками SB4, SB2, SB14, SB20, SB16, SB8 и SB10 после-

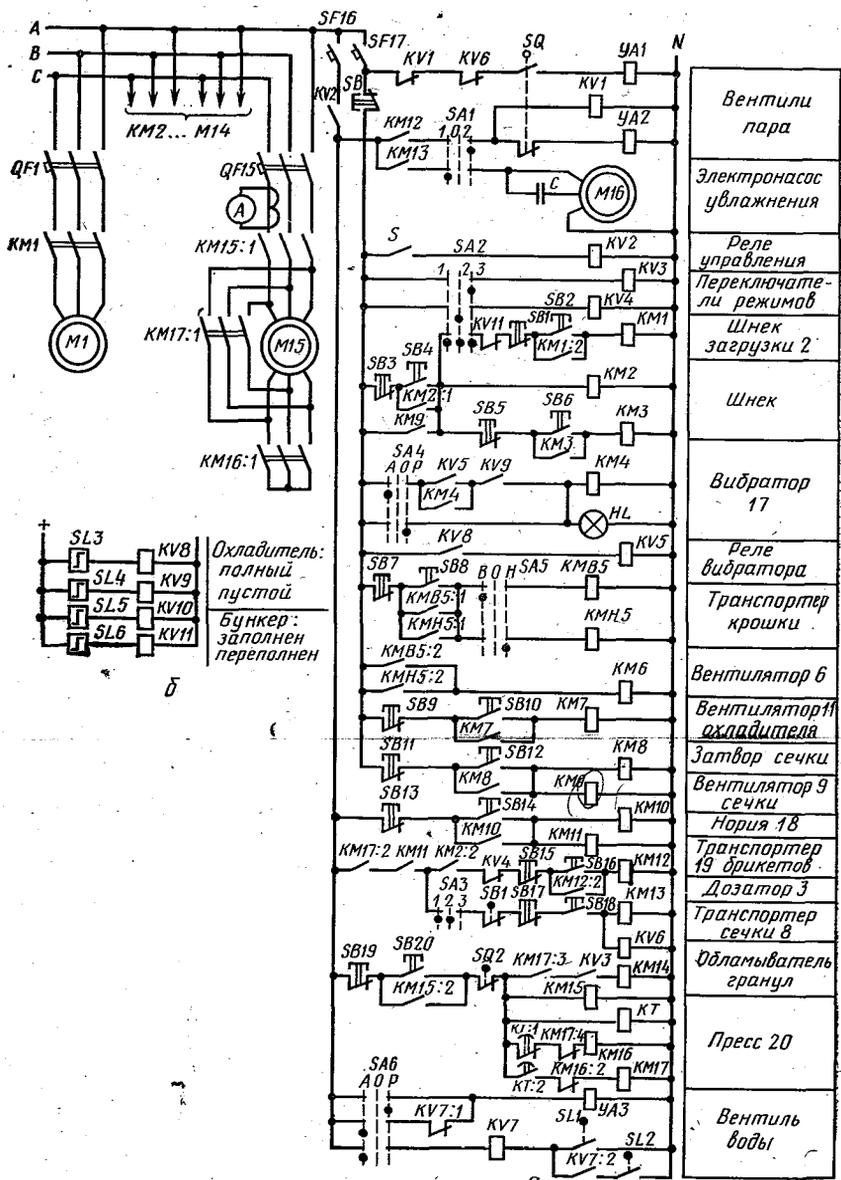


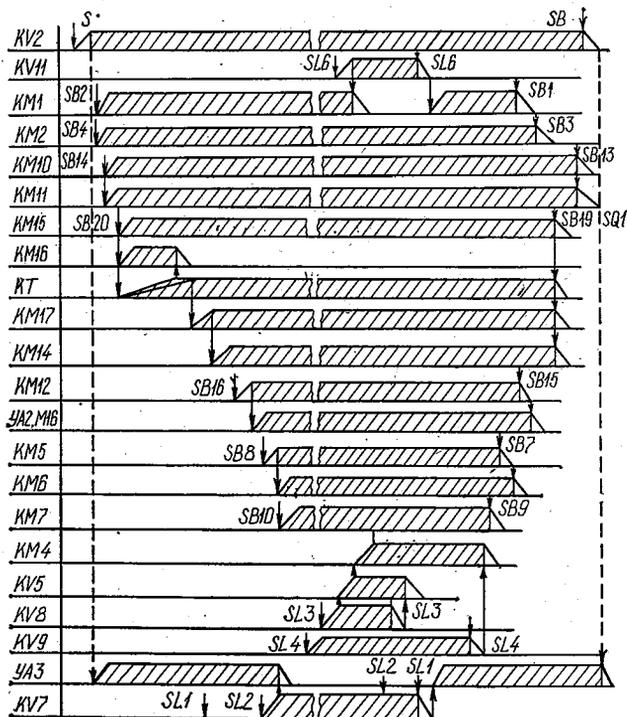
Рис. 10.4. Принципиальные электрические схемы управления ОПК-2 (а),

довательно включают соответственно вертикальный шнек бункера 4, шнек загрузки 2, норию 18 и транспортер брикетов 19, пресс 20, дозатор 3, транспортер 8 крошки и вентилятор 6 сортировки, вентилятор 11 охладителя. Электродвигатель *M15* прессы при помощи реле выдержки времени *KT* вначале магнитным пускателем *KM16* включается по схеме «звезда», а затем магнитным пускателем *KM17* переключается на схему «треугольник». Блок-контактами *KM17*: 3 включается магнитный пускатель *KM14* электропривода обламывателя гранул.

После пуска при помощи заслонки дозатора 3 и вентиляей воды ручную устанавливают по амперметру *A* номинальную загрузку прессы 20.

Если по каким-то причинам уровень сырья в бункере 4 превышает заданное значение, то срабатывает датчик уровня *SL6* и выключает реле *KV11*, которое отключает шнек загрузки 2. При снижении уровня этот же датчик выдает импульс на повторное включение шнека 2.

При заполнении гранулами охладителя срабатывают датчики уровня гранул вначале *SL4*, а затем *SL3*. Последний через реле *KV8* и *KV5* включает привод вибратора выгрузателя 17. Разгруз-



в

контроля уровня корма (б) и временная диаграмма их работы (в).

ка гранул вибратором продолжается до снижения уровня гранул, при котором датчик *SL4* через реле *KV9* отключает вибратор.

Уровень воды в баке поддерживается при помощи электродных датчиков *SL1* и *SL2*, реле *KV7* и электромагнитного вентиля *YA3*.

Отключают оборудование после закрытия вручную заслонки дозатора *3* и вентиля увлажнителя. Кнопками *SB9*, *SB7*, *SB15*, *SB1*, *SB3*, *SB19*, *SB13* отключают соответственно вентилятор охладителя, транспортер крошки и вентилятор сортировки, дозатор, шнек загрузки, шнек бункера, пресс, норию, соблюдая такую последовательность.

При брикетировании травяной сечки или кормосмеси упомянутыми выше переключателями набирают соответствующий режим и кнопками управления включают агрегаты в следующем порядке: шнек бункера *4*, шнек загрузки *2*, нория *18*, пресс *20*, транспортер сечки *8*, затвор и вентилятор *9* сечки, затвор соломы *12*, транспортер крошки, вентилятор *6* сортировки и вентилятор *11* охладителя. Электродвигатель *M15* соединен с прессом через предохранительную муфту со штифтами, которые при попадании твердых предметов в пресс срезаются. При этом срабатывает конечный выключатель *SQ2* и отключает электропривод прессы. Если смеситель-питатель *22* забивается сечкой, то от давления сечки срабатывает конечный выключатель *SQ1* и отключает транспортер сечки *8*.

#### 10.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМБИКОРМОВЫХ АГРЕГАТОВ

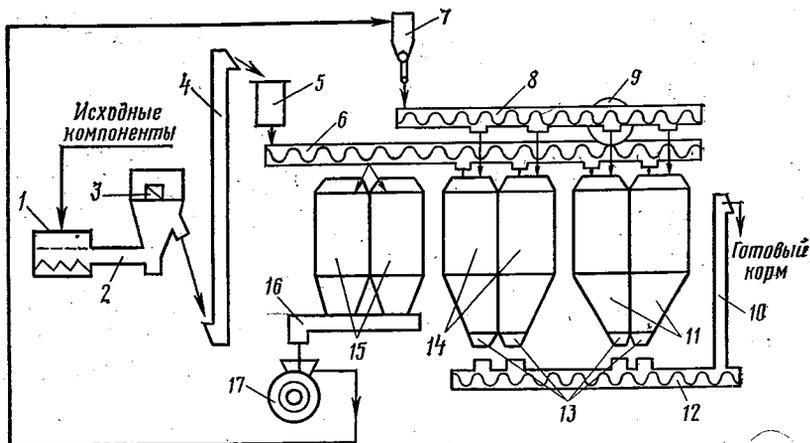
Оборудование комбикормовых цехов (ОКЦ) предназначено для производства полнорационных рассыпных комбикормов в колхозах, совхозах и на межхозяйственных комбикормовых заводах.

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.

Задача комбикормовых цехов колхозов и совхозов — максимально использовать местное сырье (фуражное зерно, травяную муку, пищевые отходы и т. п.) и белково-витаминные добавки промышленного производства.

Устройство и технология приготовления комбикормов всех цехов ОКЦ аналогичны (рис. 10.5). Фуражное зерно из транспортных средств или транспортером из зерносклада подается на решетный стан *1*, где оно очищается от крупных примесей, а затем, пройдя смеситель *3*, норией *4* подается на магнитную колонку *5*, в которой оно очищается от металлических примесей. Далее зернофураж распределяется шнеком *6* по двум секциям зернового бункера *15*, а затем дозирующим шнеком *16* направляется на измельчение в дробилку *17*.

Зерновая дерть воздушным потоком дробилки *17* направляется по трубопроводу через циклон *7* в шнек *8*. Шнек имеет просеиваю-



73

Рис. 10.5. Технологическая схема комбикормового агрегата ОКЦ-15.

щее устройство. На валу шнека закреплен щеточный барабан 9, а на нижней части кожуха шнека — решето.

Просеивающее устройство разделяет дерть на две мучных фракции: мелкую, проходящую через решето в правую секцию бункера 11, и крупную, направляющуюся сходом с решета в левую секцию бункера 11.

Белково-витаминные добавки (БВД) загружают в смеситель 3 через загрузочную горловину 2 и тем же путем подают в бункер 11 или 14.

Зерновые компоненты и БВД из бункеров 11 и 14 выгружают дозаторами 13, которые установлены в нижней части каждой секции бункера. Дозаторы 13 выдают компоненты в шнек 12 в заданной рецептурной пропорции. Шнек 12 и выгрузной шнек 10 непрерывно смешивают компоненты и передают готовый комбикорм на склад или в транспортные средства. Оператор в соответствии с заданной рецептурой комбикорма настраивает дозаторы 13 на необходимую выдачу компонента при помощи поворота специального лимба храпового механизма привода, изменяющего частоту вращения дозатора от  $0,24 \text{ мин}^{-1}$  до  $17,7 \text{ мин}^{-1}$ .

Работой оборудования цеха управляют дистанционно при помощи электрической схемы, показанной на рисунке 10.6.

Автоматическими выключателями QF5...QF9 и SF10 подают напряжение в схему. Переключатель SA1 имеет три положения: P — «Работа», 0 — «Отключено» и H — «Режим наладки». Оборудование пускают в работу в следующем порядке (переключатель SA1 в положение P).

Кнопкой SL24 подают предупредительный сигнал HA о начале пуска машин. Кнопками SB1, SB3, SB5 последовательно включают: магнитный пускатель KM2 электропривода M2 (2,2 кВт) пори 4 и шнека 6, пускатель KM3 электропривода M3 (3 кВт) сме-

bb b b<sup>2</sup>

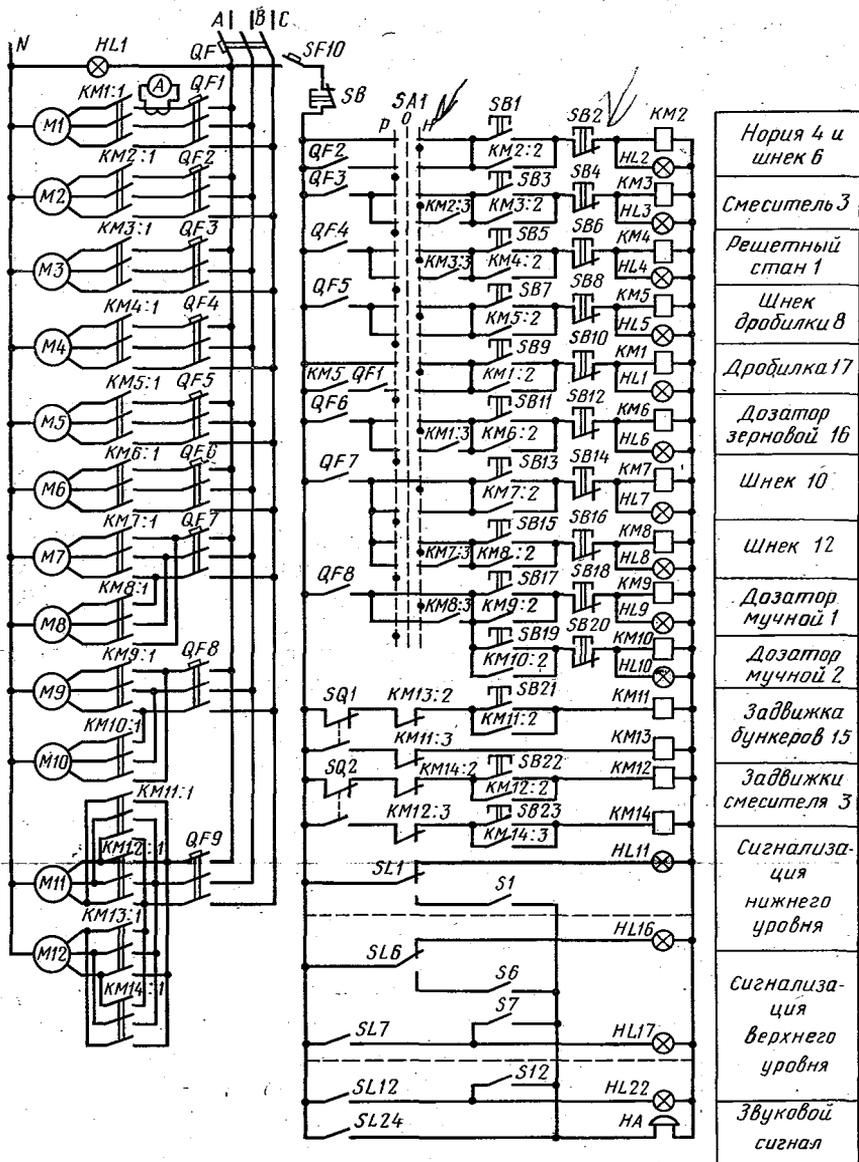


Рис. 10.6. Принципиальная электрическая схема управления электрооборудованием комбикормового цеха ОКЦ-15.

сителя 3 и пускатель *KM4* электропривода *M4* (1,1 кВт) решетного стана 1.

При работе включенных машин зерновой фураж загружается в бункер 15, а в случае необходимости в бункер 11 и 14.

Перед пуском дробилки кнопкой *SB7* включают электропривод *M5* (2,2 кВт) шнека 8, а затем кнопками *SB9* и *SB11* включают электропривод *M1* (30 кВт) дробилки 17 и электропривод *M6* (0,8 кВт) дозатора 16. Загрузка дробилки контролируется по амперметру *A*.

Смешивание исходных компонентов и выгрузка готового комбикорма происходят при включении кнопками *SB13* и *SB15* электропривода *M7* (3 кВт) вертикального шнека 10 и электропривода *M8* (2,2 кВт) мучного шнека 12. Электроприводами *M9* и *M10* (по 2,2 кВт) дозаторов выгрузки 13 компонентов в шнек 12 управляют кнопками *SB17...SB20*. Электроприводами *M11* и *M12* (по 0,27 кВт) задвижек бункера и смесителя 3 управляют кнопками *SB21...SB23*. В крайних конечных положениях задвижек магнитные пускатели *KM11...KM14* отключаются конечными выключателями *SQ1* и *SQ2*. В схеме предусмотрены блокировки, исключающие возможность 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 из *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 *S1...S12*. В экстренных случаях все машины останавливают кнопкой *SB*.

Последовательно проводить работу по переводу молочного животноводства на промышленную основу...

Из Продовольственной программы СССР

## Глава 11. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЖИВОТНОВОДСТВА

### 11.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В сельском хозяйстве нашей страны широкое распространение получили молочнотоварные фермы (МТФ), фермы откорма крупного рогатого скота (КРС), свино- и овцефермы. Широко развиты оленеводство, коневодство, козоводство и другие отрасли.

В технологии производства животноводческой продукции можно выделить ряд типичных технологических процессов: кормление, поение, регулирование условий среды, удаление навоза, санобработку животных и помещений, доение, стрижку шерсти, активный моцион животных. Большое значение имеет контроль физиологического состояния, текущей массы и продуктивности животных.

В порядке автоматизации на самом низком (нулевом) уровне каждый из приведенных процессов или отдельные операции рассматриваются как самостоятельные объекты управления. Основой для расчета автоматических систем при этом служат зоотехнические нормы и требования, а также конструктивные данные помещений и технологических установок.

Вместе с тем конечный технологический результат, критерием которого является продуктивность животных и показатель оплаты корма продукцией, получается при оптимальном взаимном сочетании всех процессов во времени. А это значит, что будущее за взаимосвязанным управлением технологическими процессами в животноводстве, что следует учитывать при разработке новых локальных систем управления и контроля.

### 11.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОРМЛЕНИЯ ЖИВОТНЫХ

**Технологические основы автоматизации кормления.** Физиологическое состояние, сохранность поголовья и продуктивность сельскохозяйственных животных в значительной степени зависят от качества кормления. В некотором роде технологию производства животноводческой продукции можно представить как переработку кормов (сырья) в молоко, мясо или шерсть. Поэтому естественно, что к качеству кормления предъявляются особые требования.

При закрытом содержании животных в условиях производства на промышленной основе кормление должно быть сбалансированным по количеству и качеству.

Количество корма за счет наполнителей (клетчатки) регулируют так, чтобы обеспечивалось нормальное функционирование желудочно-кишечного тракта животных. Для каждого вида и возраста животных этот показатель приводится в зоотехнических нормах и требованиях.

Кормосмесь для животных должна содержать необходимое количество питательных веществ, витаминов и микроэлементов, обладать определенными вкусовыми качествами, привлекательным видом и запахом.

Содержание в кормосмеси различных питательных веществ, витаминов и микроэлементов определяется, с одной стороны, физиологическими данными и возрастом животного, а с другой — его продуктивностью. При этом следует иметь в виду, что излишки какого-либо вещества (ингредиента) почти полностью безвозвратно теряются, тогда как недостаток веществ влечет отрицательные последствия и недобор продукции.

Главным условием оптимальности кормления является сбалансированность корма и точность его выдачи.

Если в помещениях содержатся разновозрастные группы животных одинаковой продуктивности, то состав кормосмеси будет одного модуля и задача дозирования сводится к выдаче порций в расчете на количество животных в группах.

Но когда в помещении содержатся разновозрастные, отличающиеся массой и продуктивностью животные, задача нормированного кормления усложняется. Простейшее решение этой задачи — введение двухмодульной кормосмеси и соответственно двухвариантной раздачи. Например, в течение суток два кормления (первое и третье) осуществляют кормосмесью «модуль А», рассчитанной по содержанию питательных веществ на единицу массы животного, а одно кормление (второе) — кормосмесью «модуль Б», рассчитанной по содержанию питательных веществ на единицу продуктивности. Тогда управление первой и третьей раздачей может осуществляться в функции массы животных и возраста, а второе — в функции текущей продуктивности (удоев, приплода и т. п.).

Время, затрачиваемое на раздачу корма разновозрастным группам при трехразовом кормлении и равномерной производительности кормораздатчика:

$$t_p = M_{ж} q_m N_r n_v / (3Q_p), \quad (11.1)$$

где  $M_{ж}$  — средняя масса животного в группе, кг;  $q_m$  — доза кормления в расчете на единицу массы животного в сутки, кг/кг;  $N_r$  — число животных в группе, гол.;  $n_v$  — возрастной коэффициент;  $Q_p$  — производительность кормораздатчика, кг/ч.

Для отдельных животных при дозировании по продуктивности продолжительность раздачи (ч):

$$t_p = M_{пр} q_{пр} / Q_p, \quad (11.2)$$

где  $M_{пр}$  — суточная продуктивность животного, кг;  $q_{пр}$  — норма корма на единицу продуктивности, кг/кг.

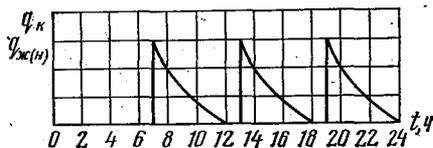


Рис. 11.1. Диаграмма процесса кормления животных ( $q_{ж(н)}$ —норма кормления).

При объемном дозировании выдачи количество корма ( $m^3$ ) на одно животное или группу

$$V_{к.ж} = M_{ж} q_{м} N_{г} \eta_{в} / \gamma_{к}, \quad (11.3)$$

где  $\gamma_{к}$  — объемная масса кормосмеси,  $кг/m^3$ .

Соответственно объем корма ( $m^3$ ) в расчете на суточную продуктивность животного

$$V_{к.пр} = M_{пр} q_{пр} / \gamma_{к}. \quad (11.4)$$

Количество кормлений в течение суток определяют, исходя из физиологически обоснованных норм единоразовой выдачи  $q_{ф.о.}$  по формуле

$$n = q_{ж} / q_{ф.о.}, \quad (11.5)$$

где  $q_{ж}$  — суточная расчетная доза кормления животного,  $кг$ .

Полученное значение  $n$  округляют до целого числа в сторону увеличения.

Длительность промежутков между кормлениями также диктуется физиологическими особенностями животных и четко определяется зоотехническими требованиями.

По результатам расчетов и обоснований составляют диаграмму кормления животных (рис. 11.1), являющуюся законом функционирования технологической линии кормления в течение суток.

При составлении диаграммы раздачи кормов необходимо учитывать, что влажные и полужидкие корма и их остатки в кормушках портятся. Использование таких кормов может привести к отравлениям животных. Поэтому установленную технологическими нормами продолжительность хранения влажных кормосмесей необходимо учитывать при разработке алгоритма функционирования процесса.

Рассматривая конкретную технологическую линию раздачи кормов (рис. 11.2), находим, что при дозировании в функции времени следует учитывать транспортное запаздывание  $\tau_{р(i)}$  движения корма вдоль участков между кормушками (точками выдачи), которое численно определяется из соотношения

$$\tau_{р(i)} = l_i / v_{к.тр}. \quad (11.6)$$

где  $l_i$  — длина  $i$ -го участка между кормушками,  $м$ ;  $v_{к.тр}$  — скорость движения корма по транспортеру,  $м^3/с$ .

Если корм полужидкий и движется по трубам, то транспортное запаздывание определяется соотношением

$$\tau_{р(i)} = \pi d^2 l_i / (4 Q_p), \quad (11.7)$$

где  $d$  — диаметр трубопровода,  $м$ ;  $Q_p$  — подача насоса,  $м^3/с$ .

С учетом чистого запаздывания составляют диаграмму функционирования кормораздатчика (рис. 11.3).

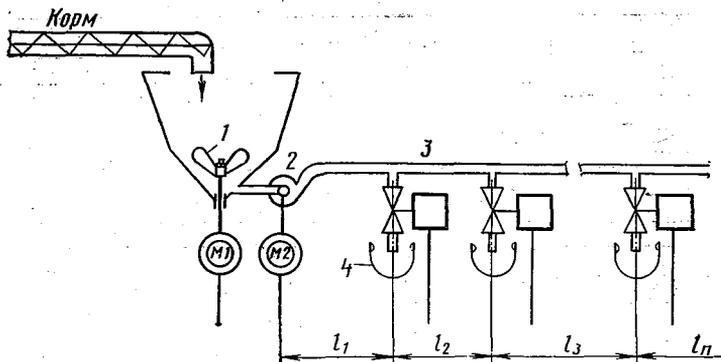


Рис. 11.2. Типовая технологическая схема раздачи корма животным:

1 — кормосмеситель; 2 — насос; 3 — магистраль; 4 — кормушка.

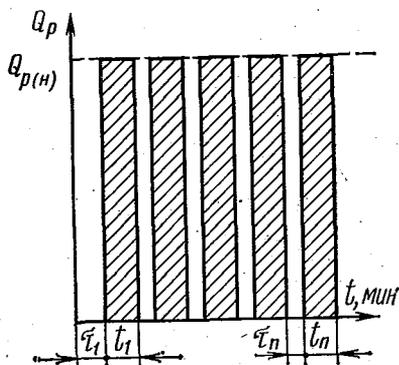


Рис. 11.3. Диаграмма функционирования кормораздатчика (ненормированное кормление).

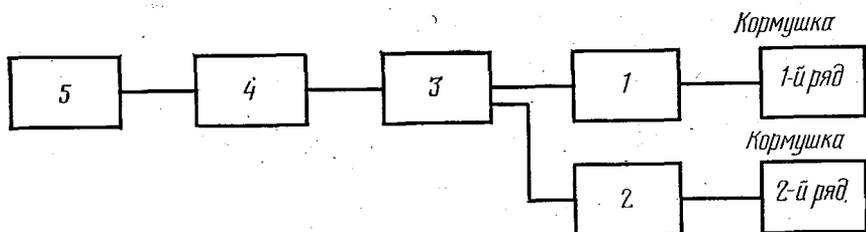


Рис. 11.4. Структурная схема технологической линии кормления КРС.

Технологическая линия кормления (рис. 11.4) обычно включает несколько транспортеров-раздатчиков 1 и 2, транспортер-распределитель 3, дозатор-накопитель 4, транспортер-загрузчик 5 и т. п. Вначале технологическая линия по цепочке 1—3—4—5 ведет раздачу корма кормораздатчиком 1, а затем по 2—3—4—5 — кормораздатчиком 2.

Машины и механизмы	Продолжительность работы, мин										
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Транспортер-загрузчик											
Дозатор-питатель											
Распределительный транспортер											
Кормораздатчик I											
Кормораздатчик II											

Рис. 11.5. Циклограмма управления технологической линией кормления.

Функционирование отдельных механизмов технологической линии определяется порядком событий запуска и остановки при условии исключения завалов при запуске и остатка корма при остановке.

Время заполнения бункера-дозатора кормом определяют из соотношения

$$t_3 = V_6 / Q_{з.тр}, \quad (11.8)$$

где  $V_6$  — вместимость бункера-дозатора,  $m^3$ ;  $Q_{з.тр}$  — производительность загрузочного транспортера,  $кг/ч$ .

Время перемещения корма по линии транспортирования определяют по формуле (11.6).

С учетом данных расчетов и анализа событий строят циклограмму функционирования технологической линии раздачи корма (рис. 11.5).

Для раздачи кормов на животноводческих фермах и комплексах применяются как мобильные, так и стационарные кормораздатчики.

**Автоматизация кормораздаточных поточных линий для КРС.** Кормораздатчик типа ТВК-80В представляет собой движущуюся челночно ленту 3 (рис. 11.6) в кормушках 4, приводимую в действие реверсивным электроприводом 5. При движении вперед лента уносит к месту стойла животных определенное, загружаемое питателем 1 количество корма. В качестве питателя может быть использован кормораздатчик КГУ-10, который имеет накопительную емкость 2. С возвратом ленты (реверс) кормушки самоочищаются от остатков корма, который удаляется из помещения транспортером 6.

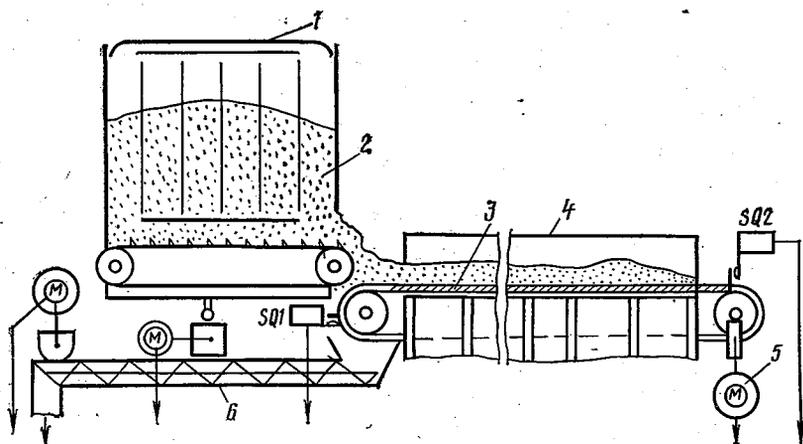


Рис. 11.6. Транспортёр-раздатчик ТВК-80Б внутри кормушек.

Таким образом, ТВК-80Б способен транспортировать корма к месту потребления и убирать их отходы, то есть выполнять наиболее трудоемкие технологические операции. Но нормированное кормление на ТВК-80Б осуществить невозможно, поскольку корм при движении ленты самопроизвольно разравнивается. Кроме того, при движении ленты животные выборочно поедают корм.

Технологическая линия раздачи корма с кормораздатчиком ТВК-80Б и стационарным раздатчиком КТУ-10 может функционировать в автоматическом режиме. Для раздачи кормов в течение суток используют суточное программное реле КТ2 типа 2РВМ или аналогичное, которое настраивают согласно расчетной диаграмме кормления. Кормораздаточной линией, согласно принципиальной электрической схеме (рис. 11.7), управляют вручную или автоматически в следующем порядке. Вначале контактом программного устройства КТ2 : 1 включаются магнитные пускатели КМ2 и КМ3 возврата ленты и транспортера отходов. В конечном переднем положении ленты кормораздатчика концевой выключатель SQ1 останавливает ее движение и отключает транспортер отходов через контакт КМ2 : 2. По команде программного реле контактами КТ2 : 2 включается привод питателя КМ4 и привод раздачи корма КМ1. В конце раздачи концевой выключатель SQ2 отключает КМ4 с выдержкой времени КМ1.

При нормированном кормлении и широком разнообразии норм выдачи, например в коровниках стойлового содержания, малоценные грубые корма в смеси с сочными могут выдаваться без ограничения кормораздатчиком ТВК-80Б, а концентрированные — другим стационарным кормораздатчиком КШ-0,5 или РКА-1000, которые обеспечивают индивидуальное дозирование.

Согласно технологической схеме (рис. 11.8), кормораздатчик КШ-0,5 состоит из тросошайбового транспортера-конвейера с рас-

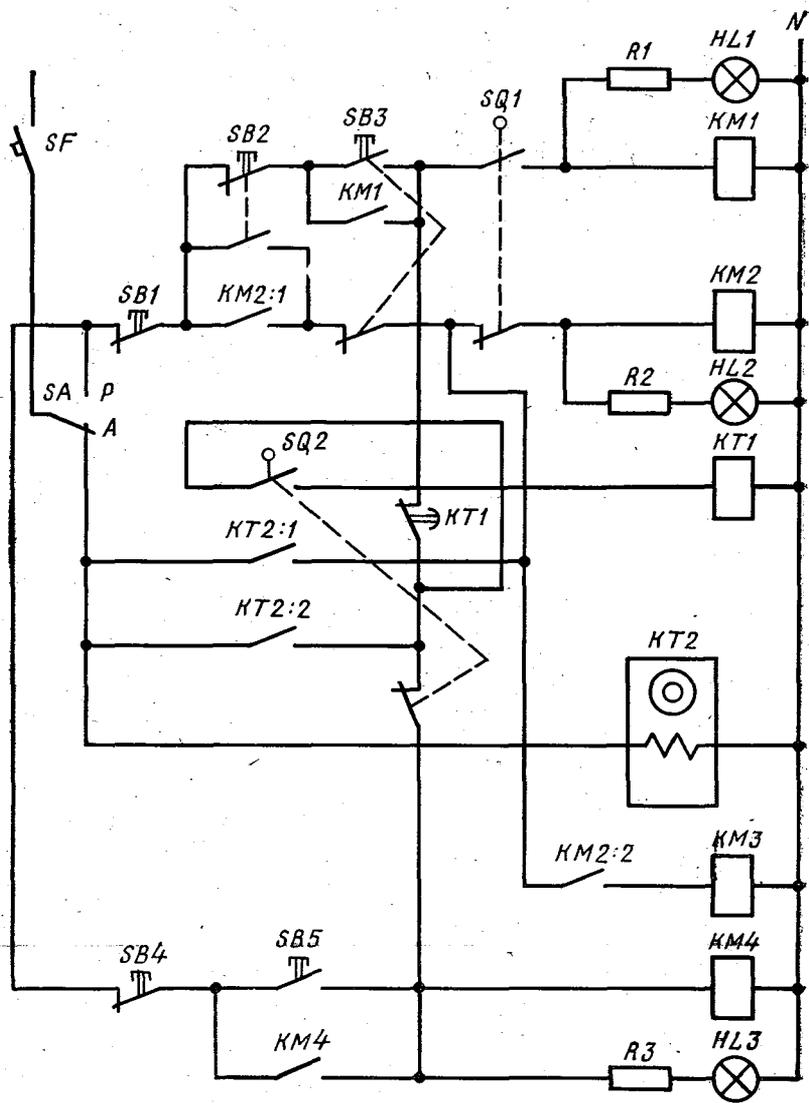


Рис. 11.7. Принципиальная электрическая схема системы управления кормораздаточной линией ТВК-80Б.

положенными под ним объемными индивидуальными дозаторами и тросотанговой тяги открытия затворов дозаторов. Степень заполнения емкостей дозаторов (порция корма) зависит от высоты установки над дном телескопической трубчатой насадки, которую регулируют вручную.

При включении привода КШ-0,5 корм, перемещаясь по трубам конвейера, постепенно через отверстия в них заполняет емкости

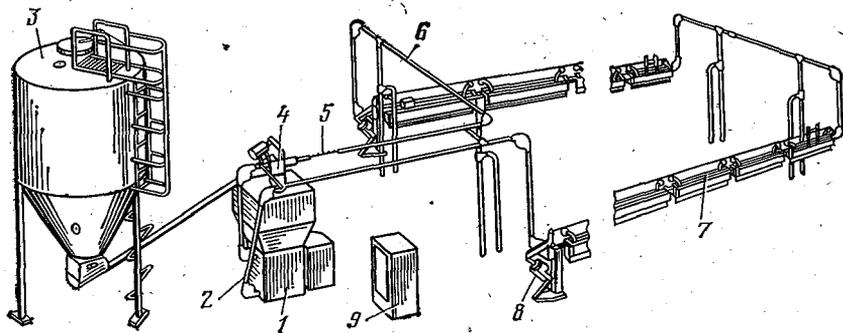


Рис. 11.8. Кормораздатчик шайбовый с групповыми дозаторами:  
 1 — установка приводная; 2 — участок контроля; 3 — бункер; 4 — воронка; 5 — рабочий орган; 6 — кормопривод; 7 — дозатор групповой; 8 — привод дозаторов; 9 — электрооборудование.

дозаторов по всему периметру кормушек. Датчик уровня, установленный в последней по пути движения корма емкости дозатора, отключает привод конвейера и подготавливает цепь для включения привода тяги открытия дозаторов. Но выдача корма может происходить в любой момент, например после остановки ленты ТВК-80Б на данной линии кормления.

Кормораздатчики типов РК-50 (для КРС) и РКС-3000М (для свиней) аналогичны по устройству и функциональным характеристикам. В обоих дозаторах корм отрегулированным вручную потоком перемещается по наклонному транспортеру (рис. 11.9) на раздаточную платформу 2, которая, двигаясь вдоль фронта кормления, сбрасывает корм в кормушки 3 сначала на одной, а затем

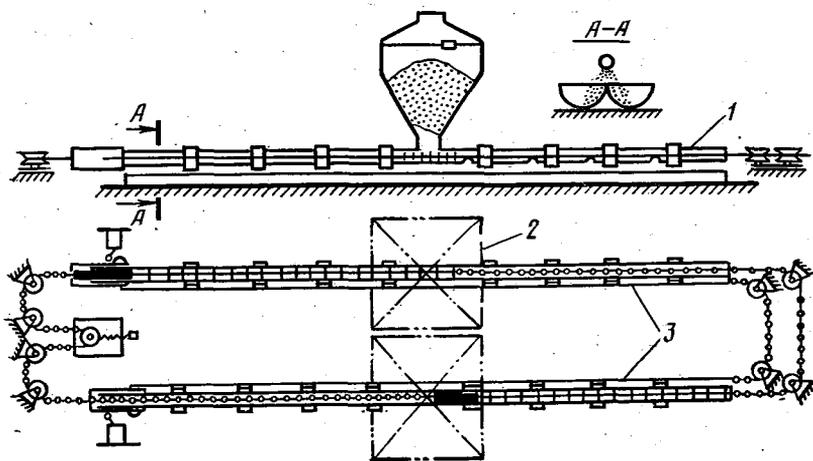


Рис. 11.9. Схема устройства стационарного кормораздатчика платформенного типа.

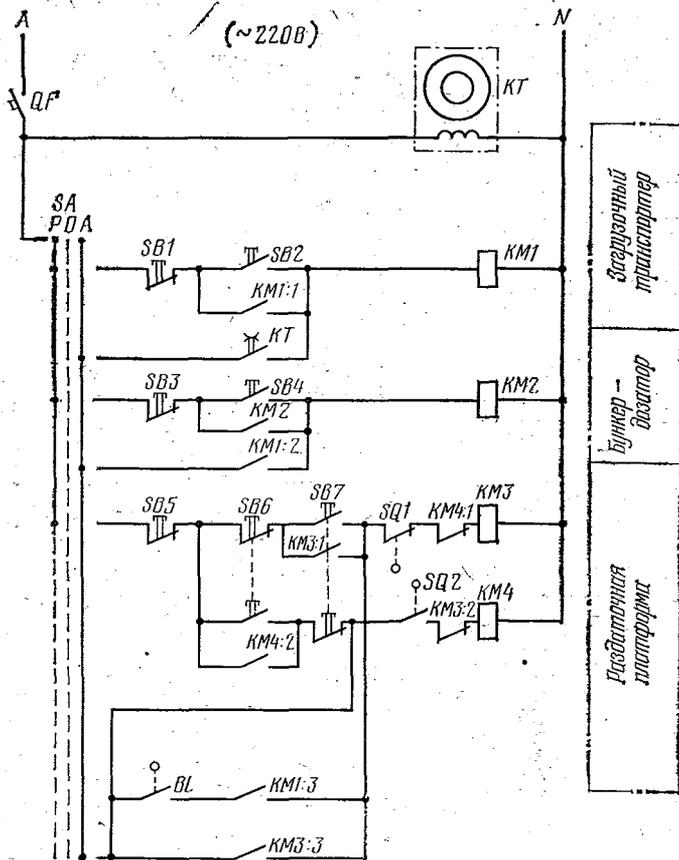


Рис. 11.10. Принципиальная схема системы управления раздачей корма платформенными кормораздатчиками.

на другой половине фронта кормления по длине помещения. Когда платформа движется влево, на нее поступает корм, но поднятые вверх скребки пропускают его. При обратном движении платформы в левой части помещения скребки опускаются и сбрасывают корм в кормушки. Аналогично происходит раздача корма в правой части помещения.

Работой кормораздатчиков РК-50 и РКС-3000М управляют как автоматически, так и вручную. На принципиальной электрической схеме (рис. 11.10) в автоматическом режиме в заданное время программное реле *KT* типа 2РВМ замыкает свои контакты, включает магнитный пускатель *KM1* загрузочного транспортера и *KM2* бункера-дозатора. Кроме того, подготавливается к включению цепь магнитного пускателя *KM3* раздаточной платформы. Когда корм начинает поступать на платформу, датчик кормов *BL*

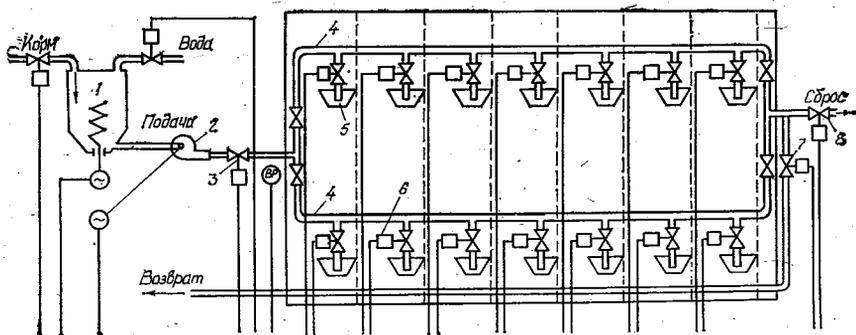


Рис. 11.11. Технологическая схема раздачи жидких кормов в свинарниках.

включает пускатель  $KM3$ , а через него — привод платформы. В крайнем положении платформы срабатывает конечный выключатель  $SQ1$ , реверсирующий движение платформы. Во втором крайнем положении конечный выключатель  $SQ2$  выполняет обратный реверс. Челночное движение платформы происходит до тех пор, пока не выключатся контакты реле времени  $KT$  или датчика потока корма  $BL$ . Продолжительность раздачи корма 20...30 мин. Автоматическое управление дублируется ручным через переключатель  $SA$  и кнопки  $SB1...SB7$ .

**Автоматизация раздачи жидких кормов.** По качеству раздачи и гибкости управления лучшими считаются гидравлические кормораздатчики, созданные по типу итальянской фирмы «Джи-Э-Джи» и применяемые у нас на свинокомплексах или созданные по типу венгерских и применяемые на свинофермах.

Кормораздаточная гидравлическая система (рис. 11.11) включает механический смеситель 1 и гидронасос 2, которые, функционируя совместно, обеспечивают постоянство давления и потока кормов в линиях кормораздачи 4. На каждую кормушку 5 от кормовой магистрали выполнена отпайка через регулирующее устройство — кормораздаточный клапан 6. Поочередное открытие клапанов позволяет точно дозировать выдачу кормосмеси в функции времени открытия. Магистральными клапанами 3, 7 и 8 обеспечивается возврат излишков кормов обратно в бункер и сброс из магистралей растворов после промывки и дезинфекции.

В качестве исполнительных органов управления клапанами используются самодвижущиеся тележки, индивидуальные солеводные или электродвигательные механизмы, вращающиеся дисковые распределители.

Автоматическое управление процессом раздачи кормов в простейшем варианте осуществляется многопрограммными устройствами (рис. 11.12) на базе блока электронных реле времени 1, блоков задатчиков 2, коммутации 3, исполнительных релейных элементов 4, ручного управления 5 и сигнализации 6. В качестве за-

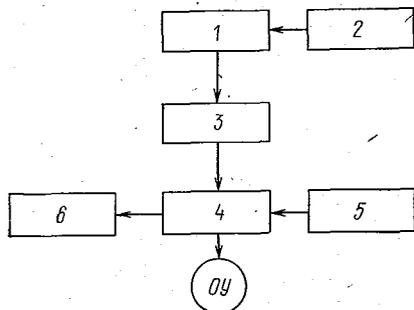


Рис. 11.12. Блок-схема системы автоматического управления раздачей жидких кормов.

датчиков времени раздачи для каждой кормушки на блоке 2 установлен свой резистор. Настройка, нормы выдачи корма ручками резисторов, установленных на панели централизованной системы управления, значительно проще, чем в других типах оборудования.

### 11.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВОК МИКРОКЛИМАТА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

**Технологические основы регулирования микроклимата в животноводстве.** Микроклимат как совокупность условий среды обитания наряду с кормлением и поением — важнейший фактор обеспечения нормального существования и продуктивности сельскохозяйственных животных в условиях производства на промышленной основе.

Нормами ограничены концентрации в помещениях для животных  $\text{CO}_2$  (0,18%),  $\text{NH}_3$  (0,01 мг/л) и  $\text{H}_2\text{S}$  (0,005 мг/л), а также установлены допустимые пределы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха.

Животноводческое помещение как объект регулирования микроклимата (рис. 11.13) представляет собой технологическую воздушную среду с нормированными параметрами температуры  $\theta_{\text{в}}$ , скорости движения воздуха  $v_{\text{в}}$ , относительной влажности  $\varphi\%$ , концентрации углекислого газа (аммиака, сероводорода)  $C_{(\text{CO}_2)}$ .

Среда в помещениях весьма интенсивно возмущается технологическими факторами и внешними климатическими условиями.

При регулировании теплового режима животных фактически управляемыми величинами являются температура воздуха в помещении (зимний режим) и вентиляция, создающая движение воздуха и удаление избытков теплоты (летний режим). В экстремальных климатических условиях для регулирования температуры в летнем режиме можно применять испарительное охлаждение.

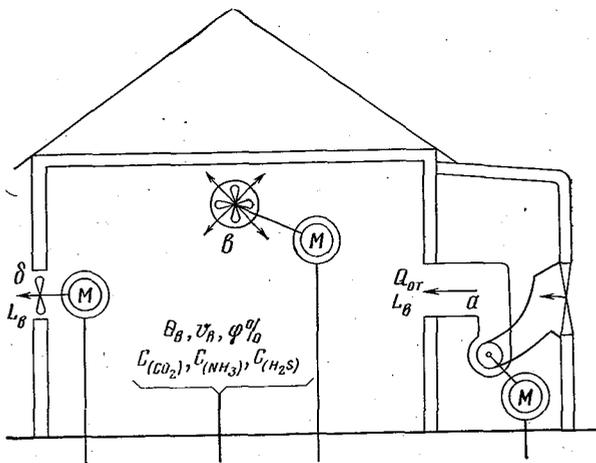


Рис. 11.13. Система регулирования микроклимата в животноводческом помещении.

Под «зимним» режимом понимаются условия, при которых баланс теплоты в помещении отрицателен и требуется вводить отопление. В «летнем» режиме баланс теплоты в помещении положителен и решается задача ее утилизации или компенсации в балансе теплового режима животного.

В тепловом балансе животноводческого помещения по возмущающим каналам учитываются обычно только наиболее значительные его составляющие:

$$\Sigma Q = Q_{ж} + Q_T \pm Q_{ог} - Q_{и} \pm Q_{в}, \quad (11.9)$$

где  $Q_{ж}$  — тепловыделения стада животных;  $Q_T$  — тепловые потоки технологического оборудования электроустановок;  $Q_{ог}$  — переток теплоты через ограждения;  $Q_{и}$  — расход теплоты на испарение влаги;  $Q_{в}$  — расход теплоты с вентиляционным воздухом.

Тепловыделения животных в общем являются случайной функцией времени. Усредненные их значения приводятся в литературных источниках.

Поток теплоты от электрифицированных процессов может быть принят численно равным потребляемой электрической мощности.

Теплопотери через ограждающие конструкции определяют по формуле

$$Q_{ог} = \alpha_{ог} S_{ог} (\theta_{в} - \theta_{н}), \quad (11.10)$$

где  $\alpha_{ог}$  — коэффициент теплопередачи Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $S_{ог}$  — площадь ограждений, м<sup>2</sup>;  $\theta_{н}$ ,  $\theta_{в}$  — температура вне и внутри помещения, °C.

Если  $\alpha_{ог}$  отдельных участков ограждений различные, то  $Q_{ог}$  определяется как сумма  $Q_{ог(i)}$  соответствующих участков. Расход теплоты на испарение является функцией количества испаряемой влаги:

$$Q_{и} = (597 + 0,450_{в}) W_{и}. \quad (11.11)$$

Количество испаряемой влаги определяется по нормативным источникам как сумма испарения влаги с пола, поилок, кормушек и других увлажненных поверхностей:

$$W_n = \sum_{i=1}^n W_{н(i)} S_i, \quad (11.12)$$

где  $W_{н(i)}$  — нормативная интенсивность испарения влаги  $i$ -го участка, кг/м<sup>2</sup>;  $S_i$  — площадь испарения  $i$ -го участка, м<sup>2</sup>.

Если к полученному количеству влаги  $W_n$  прибавить влаговыделения животных  $W_{ж}$ , то получится баланс влаги в помещении по каналам возмущений:

$$W_{п} = W_n + W_{ж}. \quad (11.13)$$

Возмущения по каналам CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> и H<sub>2</sub>S определяются аналогичным, как и испарение, методом. Нормы выделения животными и технологической средой этих газов приводятся в ОНТП (с-х).

Для компенсации возмущений по избыткам теплоты, влаги, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> и H<sub>2</sub>S животноводческие помещения оборудуют общеобменной вентиляцией, производительность которой определяется следующим образом:

1) для удаления избытков теплоты

$$L_{(Q)} = \frac{Q_{п}}{9,17k_{п}(\theta_{в} - \theta_{н})}, \quad (11.14)$$

где  $Q_{п}$  — избыток теплоты помещения, Дж;  $k_{п}$  — коэффициент пропорциональности;

2) для удаления влаги или газов

$$L_{(W)} = W_{н} \rho_{в} / (d_1 - d_2), \quad (11.15)$$

где  $W_{н}$  — избыток влаги или другого вещества в помещении, кг;  $d_1, d_2$  — содержание влаги или другого вещества в удаляемом и приточном воздухе, кг/кг.

Принимается большее из всех значение  $L_{(i)}$ , по которому определяются дополнительные потери теплоты на подогрев приточного воздуха:

$$Q_{(L)} = L_{(i)} \rho_{в} c_{в} (\theta_{в} - \theta_{н}), \quad (11.16)$$

где  $\rho_{в}$  — масса единицы объема воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $c_{в}$  — теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°C).

Тогда теплопроизводительность отопительной установки

$$Q_{от} = Q_{от} + Q_n + Q_{(L)} - Q_{ж} - Q_{т}. \quad (11.17)$$

В летнем режиме, кроме удаления избытков теплоты, по которым определяется общий воздухообмен (11.14), с целью обеспечения оптимального теплового режима для животных может быть увеличена общеобменная или создана специальная внутриобменная вентиляция, устраиваемая для циркуляции воздуха в зоне расположения животных. Объем внутриобменной вентиляции рассчитывают из условий компенсации действия повышенной темпе-

фатуры на тепловой режим животных, что устанавливают опытным путем.

По каналу регулирования температуры животноводческие помещения представляют собой двухемкостные статические объекты. Емкостями являются внутренняя воздушная среда и масса ограждающих конструкций. Животные, обладающие системой терморегуляции, не могут аккумулировать внешнюю энергию, поэтому не рассматриваются как емкость.

Передаточная функция животноводческого помещения по каналу регулирования температуры имеет вид

$$W_{(p)\theta} = k/(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1). \quad (11.18)$$

По каналу регулирования влажности и концентрации газов емкостью является только воздушная среда животноводческого помещения, следовательно, объект одноемкостный и его передаточная функция

$$W_{(p)\theta} = k/(T p + 1). \quad (11.19)$$

Статизм этих объектов связан с зависимостью потоков влаги и газов с вентиляционным воздухом от регулируемой величины — концентрации их в воздушной среде.

Автоматизация вентиляционных установок. Для регулирования температуры, удаления избытка влаги и освежения воздуха животноводческие помещения оборудуют приточно-вытяжной (общественной) вентиляцией, а при необходимости установками для подогрева и увлажнения приточного воздуха.

В зависимости от технологических требований и климатических условий применяются три разновидности систем регулирования микроклимата. Принудительная приточная вентиляция и подогрев воздуха в сочетании со свободным выходом его через каналы естественного воздухообмена — шахты, колодцы, щели; принудительная вытяжная вентиляция с естественным притоком; принудительная приточная и вытяжная вентиляция в сочетании с естественной.

В качестве вытяжной вентиляции используются комплексно поставляемые вентиляционные установки «Климат-4», основу которых составляют регулируемые по подаче осевые вентиляторы, которые выпускаются трех типоразмеров: ВО-7 диаметром 700 мм, ВО-5,6 диаметром 560 мм и ВО-4 диаметром 400 мм.

Вентиляторы ВО комплектуются специальными трехфазными асинхронными электродвигателями с повышенным скольжением, которые при вентиляторной нагрузке способны в широких пределах изменять частоту вращения в зависимости от подаваемого на статор электрического напряжения от 70 В до номинала — 380 В.

Функциональная зависимость подачи вентиляторов от напряжения практически нелинейна и устанавливается опытным путем. Подача на максимальной частоте вращения известна по данным завода-изготовителя, но в системе вентиляции помещения она обычно существенно отличается от паспортной.

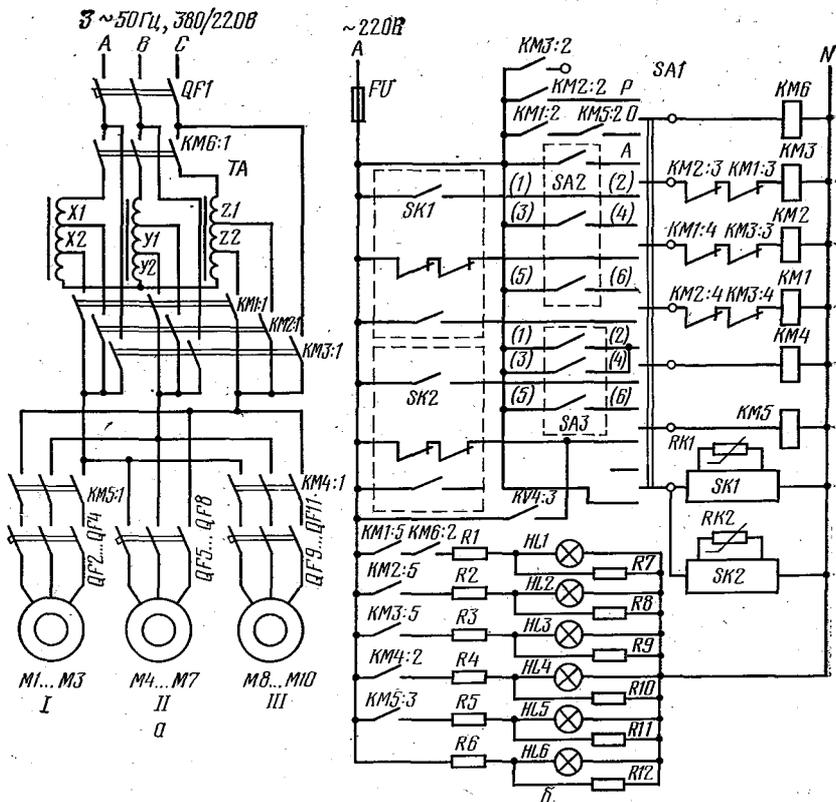


Рис. 11.14. Принципиальная схема станции управления ШАП-5701.

В комплект оборудования «Климат-4» входит от 8 до 24 вентиляторов. Тип и число устанавливаемых в одном помещении вентиляторов ВО определяются расчетами воздухообмена по «летнему» режиму.

Оборудование «Климат-4» комплектуется устройствами автоматического регулирования напряжения на зажимах электродвигателей вентиляторов: станцией управления ШАП-5701 в комплекте с автотрансформатором АТ-10, станцией управления бесконтактной на тиристорах МК-ВУЗ и другими, им аналогичными.

На принципиальной схеме (рис. 11.14) общий автоматический выключатель *QF1* выполняет функции коммутации силовых цепей и их защиты, автотрансформатор *ТА* имеет две выводные отпайки на пониженное напряжение, контакторы *КМ1* и *КМ2* коммутируют это напряжение на вентиляторы, обеспечивая первую и вторую частоты вращения, контактор *КМ3* подает номинальное напряжение 380 В — третья частота вращения, а контакторы *КМ4* и *КМ5* установлены для управления вентиляторами групп *I* и *III*. Вторая

группа вентиляторов включается вместе с подачей напряжения низкой частоты вращения.

Система регулирования располагает пятью ступенями регулирования подачи вентиляции в помещении.

Переключатель *SA3* и соответствующий ему автоматический трехпозиционный терморегулятор *SK2* типа ПТР-3-04 осуществляют ручное или автоматическое управление вентиляторами групп *I* и *III* на низкой частоте вращения. Это управление осуществляют при температуре в помещении ниже номинальной. Дифференциал терморегулятора *SK2* выбирают минимальным, а уставку — на величину дифференциала  $\Delta_2$  ниже номинальной температуры:

$$\theta_{p1} = \theta_n - \Delta_2,$$

где  $\theta_{p1}$ ,  $\theta_n$  — температура уставки регулятора *SK2* и номинальное значение температуры в помещении.

Переключатель *SA2* и терморегулятор *SK1* служат для управления второй и третьей частотой вращения вентиляторов при температуре выше номинальной. Дифференциал терморегулятора *SK1* должен охватывать пределы температуры, компенсируемой вентиляцией.

Бесконтактная станция управления типа МК-ВАУЗ плавно регулирует частоту вращения вентиляторов как в ручном, так и в автоматическом режимах (автоматический режим в функции температуры в помещении).

На рисунке 11.15 изображена блок-схема станции управления МК-ВАУЗ. Сигнал от датчика температуры в помещении *RK* поступает на мост сравнения *МС*, в одном из плеч которого вклю-

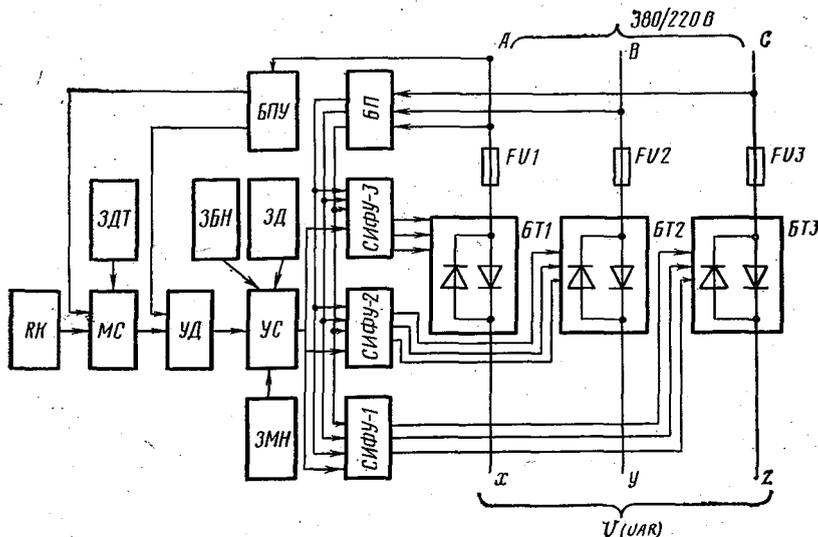


Рис. 11.15. Блок-схема станции управления МК-ВАУЗ.

чен резистор — ручной задатчик температуры ЗДТ. Затем через усилитель-демодулятор УД сигнал подается на узел смещения УС, который имеет резисторы—задатчик базового напряжения ЗВН, задатчик дифференциала на допустимое снижение температуры ЗД, а также задатчик минимального напряжения ЗМН, которое допустимо подавать на статор электродвигателя данного типа. Далее сигнал передается на систему импульсно-фазового управления тиристорами СИФУ (1...3) и корректирует прохождение другого сигнала, идущего от блока питания БП к блокам тиристоров каждой из фаз БТ (1...3).

Принципиальная схема станции МК-ВАУЗ состоит из двух частей. На схеме (рис. 11.16) изображена силовая часть (плата А10) совместно с системой формирования управляющего сигнала — блока питания (платы А5 и А7) и импульсно-фазовых преобразователей на каждую фазу (платы А2, А3, А4).

На каждую фазовую плату А2, А3, А4 по линиям а и б поступает напряжение смещения от устройства управления, которое управляет блокинг-генераторами, воздействующими на тиристоры по принципу вертикально-фазового управления. При этом максимальному напряжению смещения соответствует минимальный угол проводимости тиристоров, равный  $15^\circ$ , а минимальному напряжению смещения — максимальный угол проводимости  $165^\circ$ . Блокинг-генераторы совместно с двумя усилителями на кремниевых триодах формируют импульсы напряжения соответственно прямой и обратной последовательности, подаваемого с блока питания.

При поступлении сигнала по каналу управления (соответствующего повышению температуры воздуха) открывается транзистор блокинг-генератора, выходная цепь которого шунтирует задатчик базового напряжения. Выходное напряжение возрастает, и соответственно увеличивается скорость вращения электроприводов, вентиляторов. При снижении температуры все происходит в обратной последовательности, частота вращения снижается до базовой. Но при дальнейшем снижении температуры (ниже нормы) происходит дальнейшее снижение скорости до предельно минимальной. При этом загорается лампа «Холодно», и в двухпозиционном режиме включается сигнал на подачу дополнительного источника теплоты (подогрев воздуха).

Система ручного и автоматического управления собрана на платах А1, А6, А8 и А9 (рис. 11.17). Датчик температуры РК (термосопротивление) включен в одно из плеч четырехполосника — моста сравнения. Если сопротивление датчика не соответствует сопротивлению задатчика РР1, на выходе моста появляется напряжение той или другой полярности в зависимости от знака  $\Delta\theta$ . Этот сигнал поступает на вход предварительного усилителя демодулятора VT1, далее через промежуточный VT2 и выходной VT3 транзисторы, усиленный по мощности, он подается на выпрямительные мосты (плата 9) и далее на устройство, формирующее управляющий сигнал (плата 6).



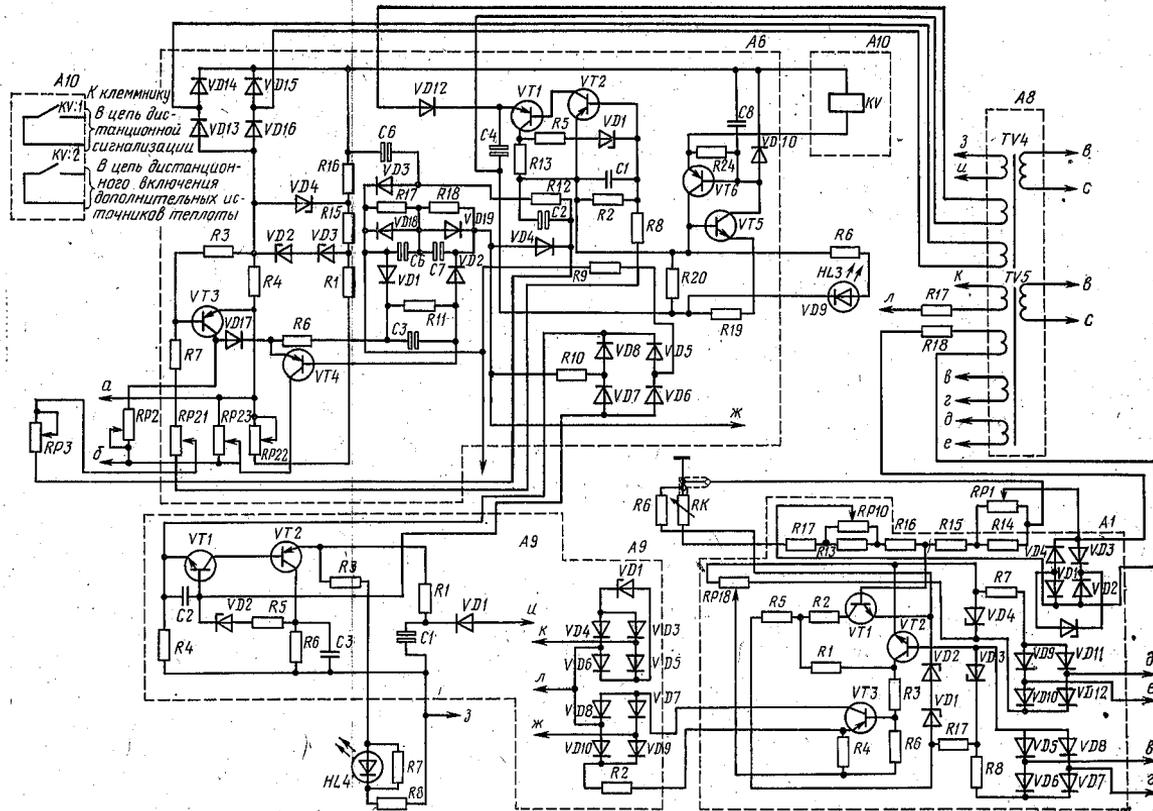


Рис. 11.17. Принципиальная схема устройства системы управления станцией МК-BAУЗ.

Ручное управление осуществляют потенциометром *RP2*, который шунтирует сигнал транзисторов *VT3* и *VT4* по цепи автоматического регулирования на выход *аб*.

Уровень минимального базового напряжения при балансе измерительного моста устанавливают потенциометром *RP22* (плата *А6*). Появление сигнала «Холодно» (загорается лампа *HL3* и осуществляется включение и отключение подогрева при помощи реле *KV1*) регулируют потенциометром *RP3*, установленным на лицевой стороне шкафа управления. Потенциометром *RP21* на плате *А6* корректируют уровень снижения максимального базового напряжения при снижении температуры, а потенциометром *RP23* — уровень минимального напряжения на электроприводах. Через триоды *VT1* и *VT2* на плате *А9* выполнено управление световой сигнализацией *HL4* («Норма»).

Автоматизация приточно-отопительных установок. Приточная принудительная вентиляция включает в себя высоконапорный вентилятор 4 с трехскоростным электроприводом (рис. 11.18), подающий воздух в распределительный воздуховод 5, заборную камеру 1 с заслонкой 2, теплообменник 3 с регулируемой теплопроизводительностью.

Частоту вращения электропривода вентилятора можно изменять вручную устройством *NSA* в зависимости от фактической потребности в воздухообмене (например, с возрастом животных).

Теплопроизводительность приточной установки регулируется автоматически пропорциональным регулятором *ТС/СК1* в функции температуры воздуха в животноводческом помещении. Терморегулятор *ТС/СК2* защищает теплообменник от размораживания.

Для управления приточной вентиляцией используют серийно выпускаемые станции управления ШАП5712. На принципиальной схеме (рис. 11.19) приведена система ручного и автоматического управления приточной установкой вентиляции и подогрева воздуха.

Схема работает следующим образом. В автоматическом режиме переключатели *SA1* и *SA2* устанавливают в положение «Автоматическое». По команде терморегулятора *СК1* (РТ-2) включается реле *KV1*, которое через контакты терморегулятора *СК2* (ТУДЭ) включает реле *KV2*. Последнее посылает сигнал на *SA3*, а через его контакты включается та ступень *КМ* (1..3) частоты вращения электродвигателя, которая установлена вручную. Если температура теплоносителя на выходе из теплообменника понизится, то терморегулятор *СК2* отключит реле *KV2* и через соответствующий магнитный пускатель остановит электродвигатель вентилятора.

Автоматизация электрокалориферов. При использовании электронагревателей (например, СФОА) теплопроизводительностью приточных установок управляют ступенчато.

Схема автоматического управления калориферной установкой электроподогрева СФОА (рис. 11.20) позволяет осуществлять как ручное, так и автоматическое управление в функции температуры воздуха в помещении.

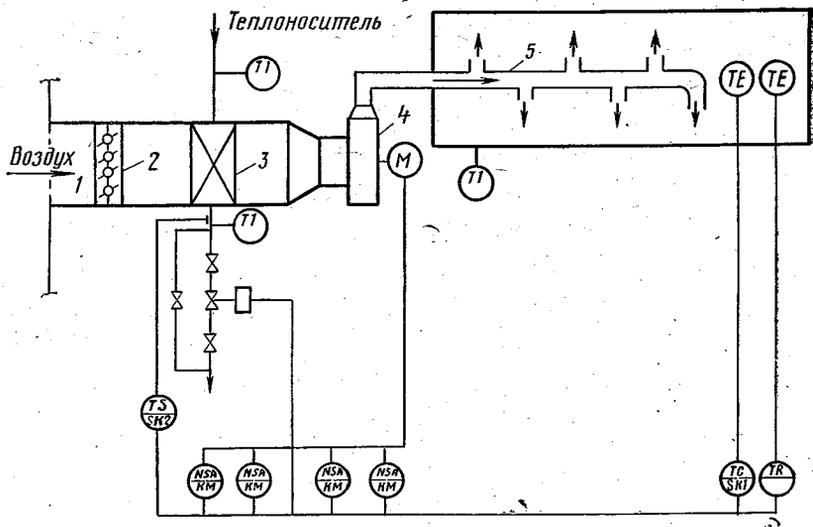


Рис. 11.18. Функционально-технологическая схема приточной системы регулирования микроклимата.

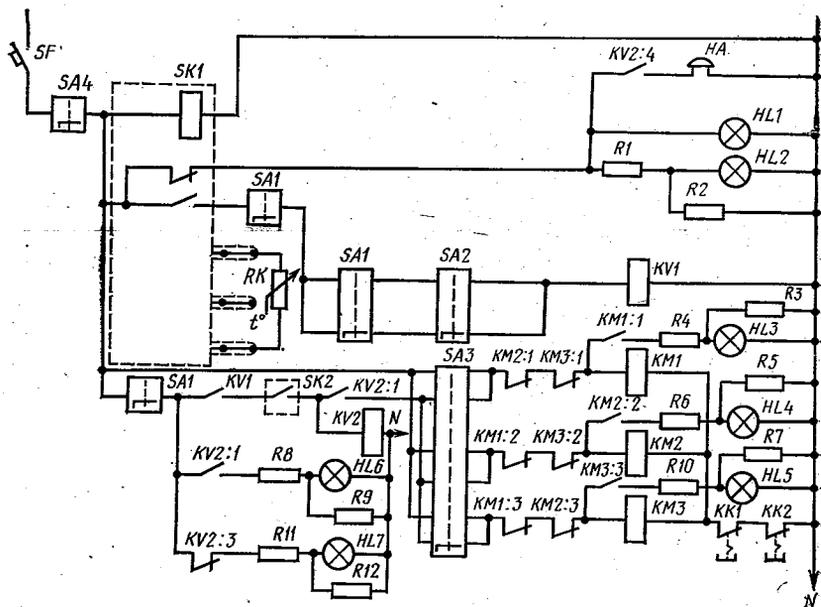


Рис. 11.19. Принципиальная схема системы управления приточной вентиляцией.

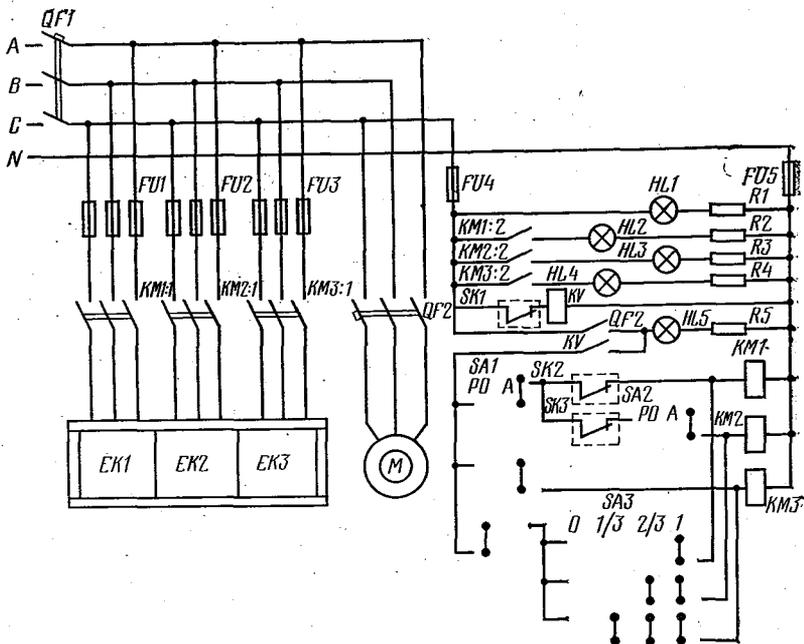


Рис. 11.20. Принципиальная схема станции управления электрокалориферной установкой СФОА.

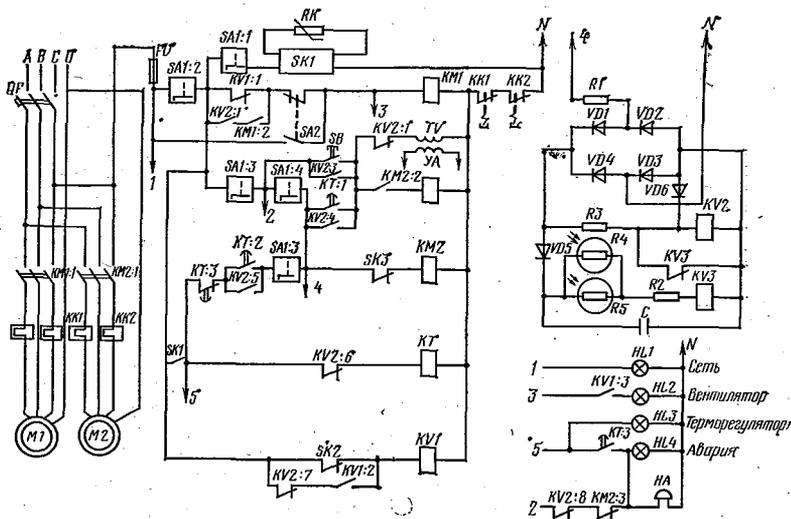


Рис. 11.21. Принципиальная схема управления теплогенератором ТГ-2,5 (ТГ-1,5).

В автоматическом режиме *SA1* и *SA2* устанавливаются в положение «Автоматическое». Если температура в помещении ниже нормы, то терморегулятор *SK1* (РТ-2) замыкает контакты и включает реле *KV*, а через его контакты — магнитный пускатель *KM3*, то есть с работающим вентилятором включается первая секция электронагревателей. При дальнейшем понижении температуры терморегуляторы *SK2* и *SK3* включают вторую и третью секции электронагревателей через контакторы *KM2* и *KM1* соответственно.

**Автоматизация теплогенераторов.** Для подогрева приточного воздуха применяются также теплогенераторы типа ТТ-1,5 и ТТ-2,5, которыми управляют вручную и автоматически в двухпозиционном режиме «Включено — отключено». Для автоматического управления используют двухпозиционные терморегуляторы РТ-2-04 или им соответствующие.

Типовая схема автоматизации теплогенераторов (рис. 11.21) предусматривает три режима управления: ручное управление вентиляционной установкой, ручное управление подогревом, автоматическое управление подогревом.

В режиме автоматического управления переключатели *SA1* и *SA2* ставят в положение «Автоматическое». При понижении температуры в помещении контакты терморегулятора *SK1* (РТ-2) замыкаются, включая программное реле времени *KT*, которое осуществляет автоматический запуск теплогенератора.

Через 5 с после включения реле времени *KT* замыкается контакт *KT:2* и включается магнитный пускатель *KM2* (через контакты *SA1:3*, *KT3* и датчик температуры *SK3*). Включается двигатель продувки камеры сгорания.

По истечении 20..30 с замыкаются контакты реле времени *KT:1*, подается напряжение на трансформатор зажигания *T* и электромагнитный соленоид *YA*, открывающий клапан подачи топлива в горелку. Воздушно-топливная смесь вспыхивает, освещая камеру сгорания. Установленные на камере фоторезисторы *R4* и *R5* снижают сопротивление цепи, включается реле *KV3*, а затем *KV2*. Его контакты *KV2:1* отключают трансформатор зажигания, а *KV2:6* — реле времени от сети питания.

После прогрева камеры сгорания размыкаются контакты терморегулятора *SK2*. Реле *KV1* теряет питание и включает магнитный пускатель *KM1* привода вентилятора теплогенератора. В помещение поступает подогретый воздух.

Если запуск теплогенератора не состоялся или произошел кратковременный срыв факела, через размыкающий контакт *KV2:1* включается зажигание искры, а когда смесь не воспламенится снова, теплогенератор отключается. При перегреве теплогенератора терморегулятор *SK3* отключает его.

Для экономного использования топлива и энергии терморегуляторы настраивают так, что обогрев включается только после уменьшения производительности вентиляторов ниже расчетного значения для зимнего режима.

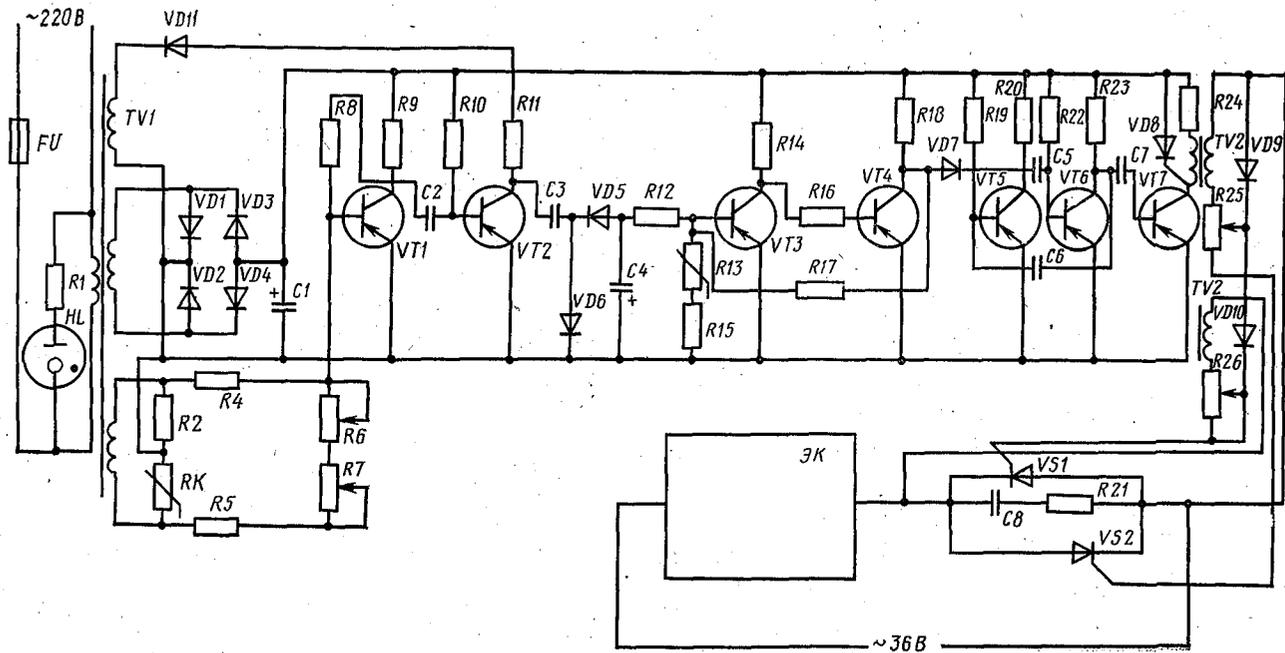


Рис. 11.22. Схема управления нагревом электронагревательных ковров.

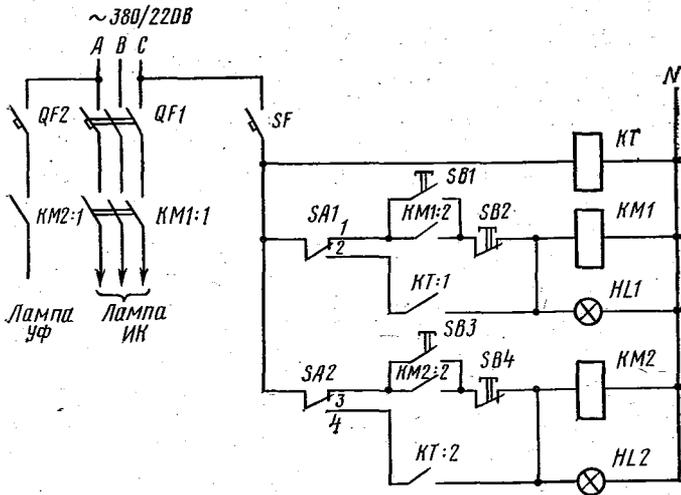


Рис. 11.23. Схема управления обогревательными установками ИКУФ-1.

Автоматизация установок местного обогрева животных. При содержании в одном и том же помещении взрослых особей и молодняка, как, например, поросят и подсосных свиноматок, температурные режимы содержания которых весьма различны, используют средства местного обогрева: обогреваемые полы (коврики) и установки с инфракрасными и ультрафиолетовыми излучателями.

Для управления нагревом электроковриков разработана схема автоматического управления на бесконтактных элементах (рис. 11.22).

В качестве коммутирующего органа используются тиристоры  $VS1$  и  $VS2$ , включенные по встречно-параллельной схеме. Терморезистор  $RK$  в схеме измерительного моста регистрирует отклонение температуры коврика от заданной резистором  $R6$ , сигнал подается на двухкаскадный усилитель на транзисторах  $VT1$  и  $VT2$ , в котором второй каскад выполняет функцию фазочувствительного усилителя. Затем через промежуточный усилитель на транзисторах  $VT3$  и  $VT4$  сигнал поступает через диод  $VD7$  на мультивибратор, собранный на транзисторах  $VT5$  и  $VT6$ . Далее сигнал в виде импульсов частотой около 2 кГц усиливается транзистором  $VT7$  и через трансформатор  $TV2$  управляет тиристорами. Один бесконтактный регулятор может обеспечить регулирование температуры 8...10 ковриков.

Для обогрева и облучения молодняка используется установка типа ИКУФ-1, в которую входит 44 облучателя, 4 силовых блока и блок управления.

Облучатель состоит из двух ламп инфракрасного (теплового)

спектра ИКЗК-220-250 и одной лампы ультрафиолетового излучения ЛЭ-15 на напряжение 127 В.

Блок управления обеспечивает ручное и автоматическое управление раздельно инфракрасными и ультрафиолетовыми облучателями по определенной программе, разработанной на основе зоотехнических требований и реализуемой обычными реле времени. На схеме (рис. 11.23) переключатели *SA1* и *SA2* устанавливают режим ручного или автоматического управления.

В автоматическом режиме функции управления по заданной программе выполняет реле *KT* через контакты *KT : 1* и *KT : 2*.

#### 11.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ УБОРКИ НАВОЗА

Установки транспортерного типа. Простейшая технологическая линия уборки и погрузки навоза транспортерами типа ТСН-ЗБ в тележки подвесной дороги может функционировать как в ручном, так и автоматическом режимах (рис. 11.24).

В автоматическом режиме замыкают тумблер *SA* или нажимают кнопку *SB5*. Получает питание реле времени *KT1*, которое включает магнитные пускатели *KM3* и *KM4* наклонного и горизонтального транспортеров соответственно.

Когда тележка наполнена навозом, срабатывает весовое устройство и через конечный выключатель *SQ3* отключает реле времени *KT1*. С выдержкой времени, необходимой для очистки от навоза, останавливаются сначала горизонтальный, а затем и наклонный транспортеры.

Одновременно получает питание реле времени *KT2*, которое с большей, чем у *KT1*, выдержкой времени включает магнитный пускатель *KM1*. Тележка с навозом движется в хранилище, где автоматически разгружается и конечным выключателем *SQ1* реверсируется. Возврат тележки фиксируется конечным выключателем *SQ2*, который включает реле времени *KT1*, и процесс повторяется.

Когда уборка навоза будет окончена, то его поступление в тележку прекратится, конечный выключатель *SQ3* останется в прежнем положении. Контакты *KT1 : 3* в цепи *KV* замкнутся с выдержкой, превышающей продолжительность цикла работы установки, контакт *KV : 1* отключит установку от сети.

Пневматическое транспортирование навоза. Система удаления навоза с пневматическим транспортированием его в хранилище приведена на рисунке 11.25. По этой технологии навоз из канала *6* перемещается вначале продольным, а затем поперечным транспортером в навозосборник *8*, который закрывается после заполнения затвором *10*. Из ресивера *1* через воздушный клапан *11* в навозосборник подается сжатый воздух, вытесняющий навоз через трубопровод *12* в навозохранилище.

Схема системы управления предусматривает автоматический и ручной режимы работы пометоуборочной установки (рис. 11.26). В автоматическом режиме переключатель режимов *SA1* устанавливают в положение *A*, схема включается, и получает питание звуковая сигнализация *HA*. Программное реле времени *KT1* контак-

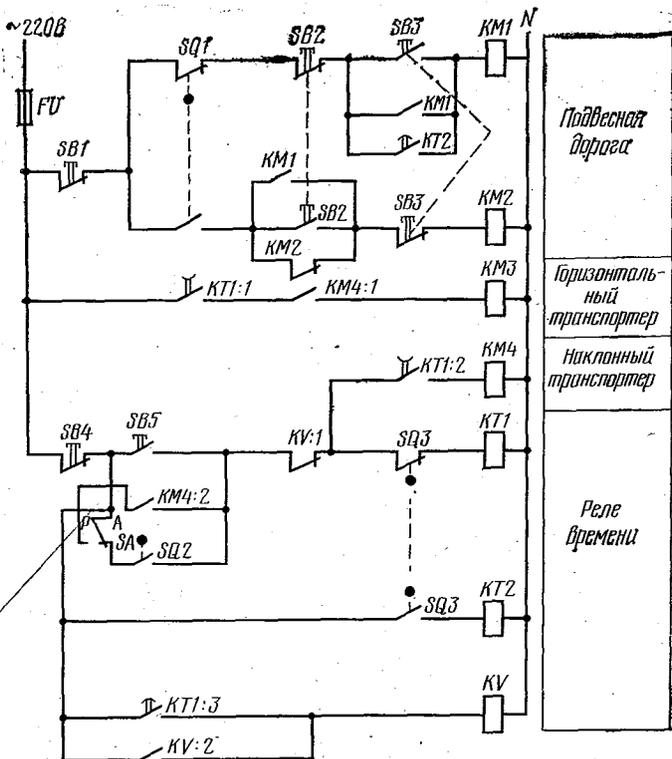


Рис. 11.24. Схема управления линией уборки навоза с транспортными тележками.

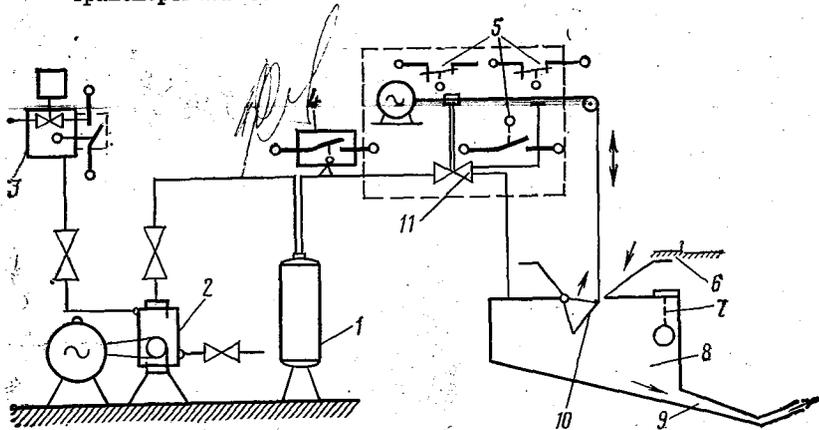


Рис. 11.25. Схема уборки навоза пневмотранспортом:  
 1 — ресивер; 2 — компрессор; 3 — регулятор давления; 4 — электроконтактный манометр; 5 — конечные выключатели; 6 — навозоуборочный канал; 7 — датчик уровня; 8 — навозосборник; 9 — трубопровод; 10 — затвор; 11 — воздушный затвор.

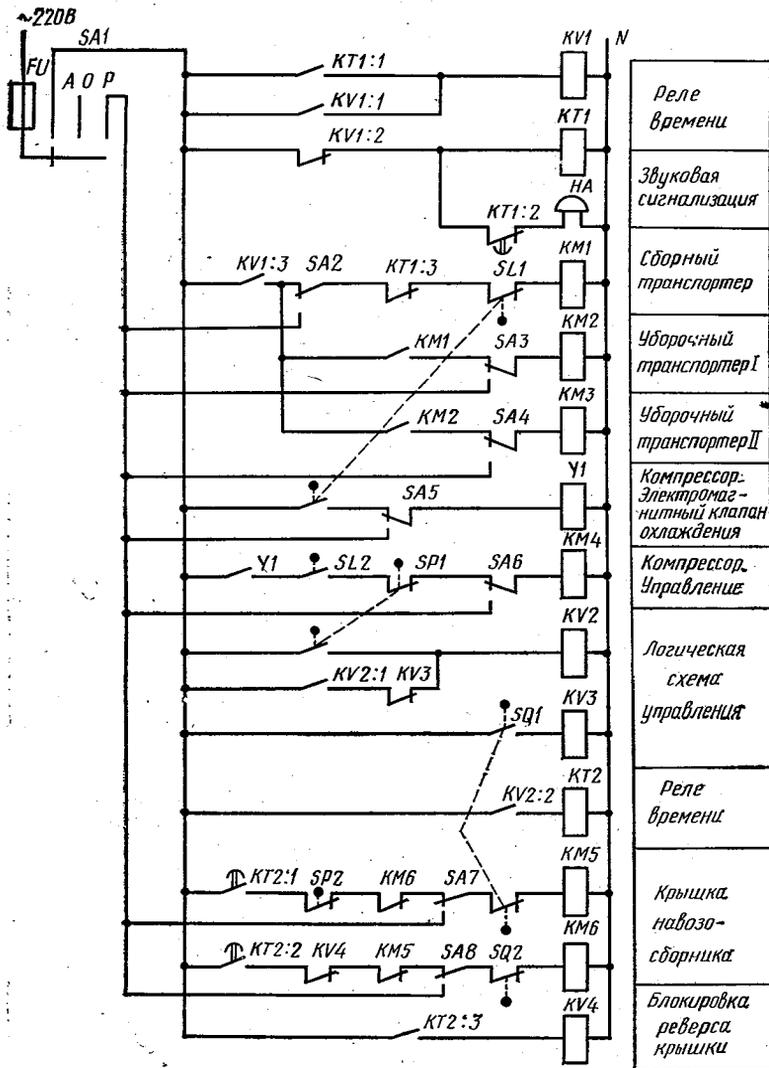


Рис. 11.26. Принципиальная схема САУ системы уборки навоза с пневмотранспортированием.

тами  $KT1:1$  включает реле  $KV1$ . Контакт  $KV1:2$  снимает звуковой сигнал, а  $KV1:3$  включает магнитные пускатели  $KM1$ ,  $KM2$  и  $KM3$  поперечного и двух продольных транспортеров уборки навоза.

После срабатывания датчика уровня  $SL1$  отключается магнитный пускатель  $KM1$ , навозоуборочные транспортеры I и II останавливаются. Одновременно включается клапан подачи воды  $Y1$  и магнитный пускатель  $KM4$  управления компрессором.

Когда давление в навозосборнике достигнет нормы, включится реле  $KV2$  и реле времени  $KT2$ . С выдержкой времени 2...5 с контакт  $KT2:2$  включит привод  $KM6$  затвора навозосборника, при этом откроется клапан подачи воздуха, а  $KM6$  отключится конечным выключателем  $SQ2$ .

После вытеснения навоза давление в системе упадет, замкнутся контакты  $SP2$  и включат магнитный пускатель  $KM5$ . Откроется затвор навозосборника, а вентиль подачи воздуха закроется.

В крайнем положении электропривод затвора отключается конечным выключателем  $SQ1$ . Реле  $KV2$  предотвращает повторное закрытие заслонки навозосборника.

### 11.5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Технологические основы автоматизации доения коров. Как объект автоматизации доильные установки представляют собой сложные технологические системы, на которых реализуется целый ряд взаимосвязанных технологических процессов и отдельных операций. Это передвижение и фиксация коров или перемещение аппаратов к месту доения, подготовка вымени к доению, стимуляция припуска молокоотдачи, доение, сбор молока с предварительной очисткой и учетом, нормированная выдача концентрированных кормов, возврат коров, мойка доильной аппаратуры.

Но главным, наиболее сложным и ответственным все же является процесс доения. Сложность процесса связана с его биологической основой. Физиологические особенности и состояние животного выступают как главные факторы, определяющие ход и конечные результаты процесса.

В процессе доения коровы отдают молоко неравномерно. Вначале припуск молока резко возрастает и через 40...45 с обычно достигает максимального значения. Затем в течение 3...4 мин идет интенсивная отдача молока, а далее молокоотдача резко снижается.

Суммарное время двух тактов сосания и отдыха составляет период цикла или импульс доения:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{с}} + t_{\text{о}}, \quad (11.20)$$

где  $t_{\text{с}}$ ,  $t_{\text{о}}$  — длительность тактов сосания и отдыха, с.

Окончательно как объект управления процесс доения можно представить обобщенной входной координатой — длительностью такта отдыха  $t_{\text{о}}$ , а также обобщенной выходной координатой — измеренным потоком молока в расчете на единицу времени сосания  $q_{\text{м.н}}$ , которое сравнивается с полученным значением при контрольной дойке  $q_{\text{м.к}}$ . Обобщенная координата возмущения учитывает отклонение значения вакуума и другие технические погрешности.

Автоматизированные доильные аппараты. Доильные аппараты ДА-2М, «Импульс-59» (производства ГДР) двухтактного и «Волга» трехтактного действия комплектуются пневматическими пульсаторами, в которых вручную винтом регулируется только соотношение тактов.

Ведется интенсивный поиск более совершенных и автоматически управляемых доильных аппаратов. Устройство МА-1/2 (рис. 11.27) фирмы «Импульс» (ГДР) работает следующим образом. При снятии доильного аппарата с крючка выключатель 6 подает по цепи *a* электрическое напряжение на блок управления 5 и пульсатор-распределитель 3. При этом на табло 4 загорается зеленая лампа, и доильный аппарат начинает работать. Через 15 с, то есть после того как стаканы 2 надеты на соски вымени, блок управления автоматически включает цепь *b*, начинается массаж вымени коровы, а на табло загорается желтая лампа. При этом в межстенные камеры доильных стаканов с частотой 45 пульсаций в минуту поочередно подается то вакуум из вакуум-провода, то давление воздуха от специального компрессора. По истечении 60 с блок управления по цепи *в* переводит доильный аппарат на нормальный режим доения (желтая лампа на табло гаснет). Когда отдача молока прекращается, фотозлемент 1 фиксирует это, а блок управления посылает сигнал по цепи *г* в пульсатор-распределитель 3. В межстенные камеры доильных стаканов подается постоянное избыточное давление, которое сжимает внутренние стенки и предохраняет соски от попадания вакуума. На табло загорается красная лампа. Когда дояр-оператор нажимает на табло кнопку «Додаивание», блок управления снова включает аппарат на режим додаивания *д*. После окончания додаивания дояр-оператор снимает стаканы, вешает аппарат на крючок, выключатель 6 по цепи *e* посылает сигнал на отключение аппарата.

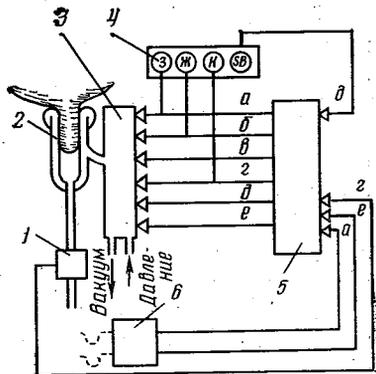


Рис. 11.27. Схема управляющего устройства МА-1/2:

1 — фотозлемент; 2 — доильный стакан; 3 — пульсатор-распределитель; 4 — сигнализатор; 5 — блок управления; 6 — выключатель.

**Автоматизированные стационарные доильные установки.** Весь комплекс работ, обеспечивающих доение коров, реализуется на доильных установках. Применительно к различным способам содержания создано несколько типов доильных установок.

1. Для доения в стойлах (привязное содержание) используются доильные установки АДМ-8 с молокопроводом, ДАС-2Б с переносными аппаратами, а в последнее время — специальные стационарные установки конвейерного обслуживания коров.

2. Для обслуживания стада беспривязного содержания коров на комплексах промышленного типа применяются доильные установки типов УДА-6 «Тандем», УДА-8 «Елочка», УДА-100 «Карусель».

3. Для доения коров в летних стационарных лагерях или на пастбищах применяются доильные установки УДС-3А стационарного типа.

Ведутся работы по автоматизации доильных установок, в первую очередь стационарного типа. Уже прошли производственную проверку автоматический счетчик удоя молока, автоматическое устройство промывки, блок автоматического управления работой молочных насосов, автоматическая система дозированной выдачи концентрированных кормов, автоматы открытия и закрытия доильных станков. Продолжается поиск оптимального варианта автоматизации управления доением, проходят испытания различные устройства, в том числе на базе электронных микросхем и микропроцессоров.

В доильных установках успешно используются автоматы-манипуляторы для подачи доильных аппаратов под вымя, для снятия доильных стаканов и вывода аппарата из-под коровы после окончания процесса доения. Разрежение в вакуум-проводе регулируется автоматически.

В качестве примера рассмотрим автоматизацию известной доильной установки УДА-24 «Комсомолка», укомплектованной доильными аппаратами ДА-2М (рис. 11.28), которая включает в себя две вакуумные системы (доильную и силовую), системы сбора молока, промывки аппаратуры и автоматического контроля и управления. Подготовку вымени коров выполняют в отдельных станках пункта санобработки перед запуском коров в доильную установку. Дозированную выдачу концентратов осуществляет стационарный кормораздатчик тросошайбового типа с дозаторами на каждом станке и дистанционным управлением выдачей доз.

Вакуумная доильная система состоит из двух вакуум-насосов 36 с предохранительными клапанами 35 каждый, работающими на общий вакуум-баллон 37, из которого через вакуумные регуляторы прямого действия 34 и вентиль ручного управления вакуум подается в молокопровод 4, подведенный к каждому станку. На магистрали 4 установлен вакуум-регулятор-подсос 11 с воздушным фильтром 12. Кроме того, от вакуум-баллона через дифференциальный регулятор 5 подключена другая вакуумная магистраль 7, от которой через вентили подается вакуум на пульсаторы всех доильных аппаратов 18.

Силовая вакуумная система имеет вакуум-насос 1, работающий на накопительный баллон 37, из которого через вакуумный регулятор 34 и дифференциальный регулятор 2 вакуум подается на цилиндры манипуляторов, перемещающих доильные аппараты и осуществляющих открытие или закрытие дверей 21. Кроме того, с вакуум-баллона берут вакуум на манипуляторы пункта санобработки вымени.

В систему сбора молока входит накопительный бак-воздухоразделитель 32 с фильтром 33 на притоке молока, перекачивающий насос 31, молокопровод 4, подключенный к каждому доильному аппарату через клапан 9 с дистанционным управлением.

Для промывки аппаратуры после доения имеется бак с моющим 24 раствором, соединенный через вентиль ручного управления и магистраль 14 с доильными станками и далее через другой

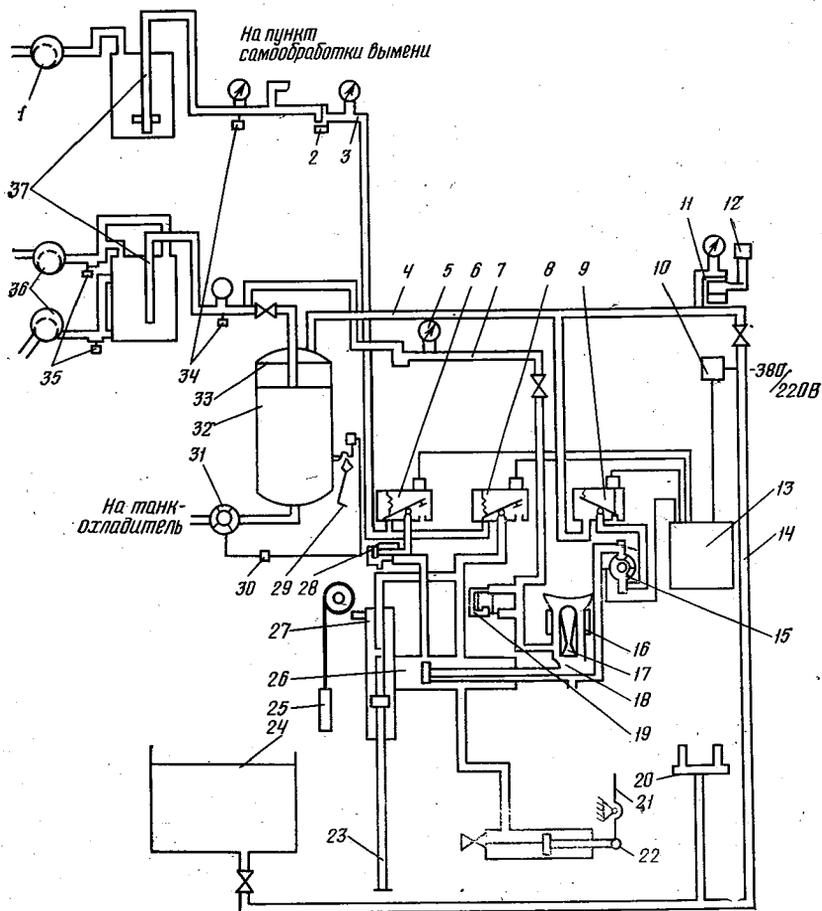


Рис. 11.28. Технологическая схема автоматизированной доильной установки УДА-24 «Комсомолка»:

1 — силовой вакуум-насос; 2 и 5 — дифференциальные регуляторы; 3 — силовой вакуум-провод; 4 — молокопровод; 6 — электромагнитный клапан для додаивания; 7 — вакуум-провод для доения; 8 — электромагнитный клапан для окончания доения; 9 — электромагнитный клапан; 10 — блок питания автоматики; 11 — вакуум-регулятор-подсос; 12 — воздушный фильтр; 13 — блок управления доением; 14 — циркуляционный провод; 15 — датчик-счетчик; 16 — межстенное пространство; 17 — подсосовое пространство; 18 — доильный аппарат; 19 — пульсатор доения; 20 — кронштейн для поддержки доильного аппарата во время промывки; 21 — выходная дверь доильного станка; 22 — пневмоцилиндр; 23 — механизм вывода доильного аппарата из-под вымени; 24 — бак моющей жидкости; 25 — противовеса; 26 — горизонтальный цилиндр манипулятора; 27 — вертикальный цилиндр манипулятора; 28 — пульсатор манипулятора; 29 — микровыключатель; 30 — блок управления агрегатами; 31 — насос-опорожнитель; 32 — воздуходелитель; 33 — фильтр молока; 34 — вакуумные регуляторы; 35 — предохранительные клапаны; 36 — вакуум-насосы для доения; 37 — вакуум-баллоны.

вентиль — с молочной магистралью 4. Бак-воздухоразделитель 32 имеет сток в бак моющего раствора через молочный насос.

Манипулятор доильного аппарата состоит из горизонтального 26 и вертикального 27 цилиндров, пульсатора 28, противовеса 25

и механизма 23 вывода аппарата из-под вымени. Для открытия и закрытия дверей станка используется пневмоцилиндр 22. Манипуляторы подключены к силовой вакуумной магистрали 3 через дистанционно управляемые клапаны 6 и 8.

В систему автоматического управления входят две станции управления 13 и 30, блок питания 10, датчик-счетчик молока 15 и микровыключатель 29, электромагнитные клапаны подсоединения доильных аппаратов к молокопроводу 9, режима додаивания 6 и окончания доения 8.

При снятии доильного аппарата с крючка посылается сигнал в станцию управления доением, и через некоторую выдержку времени, необходимую при надевании стаканов, клапан 9 подключает аппарат 18 к молокопроводу с вакуумом 4. Молоко, проходя через датчик-счетчик 15 и клапан 9, попадает в молокопровод и воздухоотделитель, а затем насосом откачивается на хранение. Датчик-счетчик молока посылает импульсные сигналы на станцию управления доением. Если поток молока уменьшится до 0,4—0,5 л/мин, включается клапан 6 манипулятора додаивания, а при дальнейшем снижении до 0,2 л/мин аппарат отключается и выводится из-под вымени коровы манипулятором. Пульсатор 28 создает переменный вакуум и соответствующее движение доильного аппарата горизонтальным цилиндром, что стимулирует молокоотдачу коров. Открытие выходных дверей происходит с выдержкой времени 8...10 с после снятия доильных станков.

Принципиальные схемы управления доильной установкой. Доильной установкой управляют при помощи устройства, схема которого приведена на рисунке 11.29.

При замыкании тумблерного выключателя SA1 доильная установка включается в работу. При этом включается поляризованное реле KV2 и через его контакты реле KV3 и соленоидный электроклапан Y1, который подает вакуум. Одновременно через тумблер SA2 получает питание катушка реле KV6, а через его контакты — поляризованное реле KV7, подготавливающее цепь для включения реле KV8. При замкнутых контактах KV3:2 и KV6:1 через поляризованное реле KV4 включается реле KV9 и подготавливает цепь для реле KV10.

Когда напряжение на конденсаторе C1 достигнет определенного значения (достаточного для отпускания), отключатся реле KV2 и KV3, а реле KV10 включится и вновь подготовит цепь катушки реле KV2.

Поляризованное реле KV4 включено через контакты датчика-счетчика молока (вход ДРМ). Как только перерыв сигнала от датчика станет больше времени задержки на отпусkanie реле KV4, определяемой емкостью конденсатора C4 и сопротивлением R9, оно отключится и отключит реле KV9, что приведет к включению реле KV2, KV3 и KV5. При этом лишится питания реле KV10 и включится электромагнитный клапан Y1, начнется процесс додаивания и массаж вымени. Реле KV5 отключится с выдержкой времени после прекращения действия клапана Y3, задержка которого об-

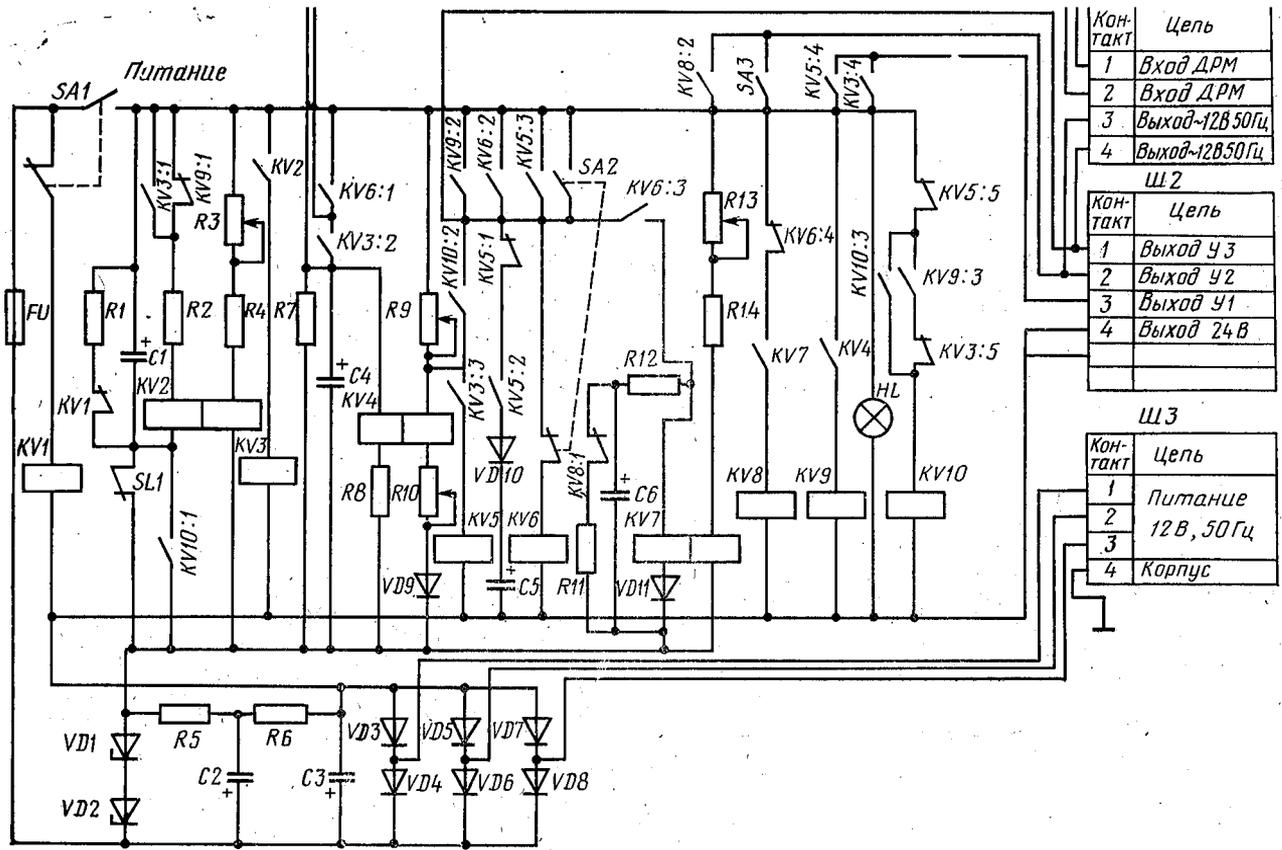


Рис. 11.29. Принципиальная схема управления процессом доения.



По такой схеме можно управлять только одним станком доильной установки. В станции управления доением число таких блоков соответствует числу доильных станков в установке.

Напряжение питания подается на клеммник «Питание» от общего блока питания станции управления.

Отдельно установленные станки, где проводится подготовка вымени коров, имеют свою станцию управления, принципиальная схема пульта которой приведена на рисунке 11.30. Станция управляет водяным насосом, подающим теплую воду на обработку вымени, открытием и закрытием входных и выходных дверей, фиксацией разбрызгивателя воды под выменем.

При включенном силовом автоматическом выключателе *QF* питание на цепи управления подается тумблером *SA*, контролируемым сигнальной лампой *HL1*. Одновременно через резисторы *R2* и *R3* вводится одна из катушек поляризованного реле *KV3* и препятствует замыканию контактов, а через резистор *R1* заряжается конденсатор *C1*.

Электропривод насоса управляется магнитным пускателем *KM* через кнопки *SB1* и *SB2*. В то же время замыкается цепь катушки промежуточного реле *KV1*, которое подает питание на электромагнит *Y1* клапана пневмопривода входных дверей.

После того как сработает реле *KV1*, отключится реле *KV5* и выходная дверь не откроется при случайном нажатии кнопки *SB3*, расположенной на панели пульта.

Когда корова зайдет в станок, сработает конечный выключатель *SQ1*, тогда реле *KV2* отключит электромагнит *Y1* через реле *KV1*, и двери закроются под действием противовеса. При этом сработает конечный выключатель *SQ2*, реле *KV3* получит питание и включит реле *KV4*, через которое заряженный конденсатор *C1* соединится с катушкой реле *KV3*, в результате будет включен электромагнит соленоида *Y4* привода дуги, которая фиксирует разбрызгиватель, а также электромагнит *Y2* клапана водяного вентиля. Начнется подмывание вымени, длительность которого определяется значением сопротивления резистора *R3*.

После того как конденсатор *C1* зарядится, реле *KV3* под действием тока во второй обмотке возвратится в исходное положение и отключит реле *KV4*, а через его контакты отключатся электромагниты соленоидных клапанов *Y2* и *Y4*, прекратится подача воды, противовес возвратит дугу в исходное положение. Операция подмывания вымени закончится.

После нажатия кнопки *SB3* реле *KV5* включается и включает электромагнитный клапан *Y3* открытия выходных дверей. Выходя из станка, корова освобождает педаль, замыкающую конечный выключатель *SQ3*. Подается напряжение на катушку реле *KV1*, которое отключает реле *KV5*, разрывающее цепь катушки электромагнитного клапана *Y3*. Выходная дверь под действием противовеса закрывается.

Ускорить строительство новых и реконструкцию действующих бройлерных птицефабрик, дополнительно создать специализированные хозяйства по производству мяса индеек, уток и гусей.

Из Продовольственной программы СССР

## Глава 12. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПТИЦЕВОДСТВА

### 12.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Производство продукции птицеводства, мяса птицы и пищевых яиц, как правило, развивается на промышленной основе. Птицу содержат в надежно изолированных от внешней среды безоконных птичниках с искусственным микроклиматом и освещением. Предпочтение отдается клеточному содержанию, но применяется также напольное содержание птицы на глубокой подстилке или на специальных насестах. Практически все основные технологические процессы в птицеводстве механизированы с учетом требований автоматизации.

Для кормления птицы применяют сбалансированные по содержанию питательных веществ гранулированные или рассыпные комбикорма, производимые на государственных или межколхозных комбикормовых заводах. В хозяйствах практикуется кормление с колес, а также после некоторой доработки комбикормов путем внесения определенных премиксов и смешивания.

Птичники, как правило, комплектуют одновозрастной и равнозначной по продуктивным свойствам птицей, которую используют только в период достаточно высокой продуктивности. Выращивание молодняка стремятся вести беспересадочно.

### 12.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОРМЛЕНИЯ ПТИЦЫ

Технологические основы автоматизации кормления птицы. При групповом способе содержания продуктивной птицы обеспечить индивидуальное нормированное кормление практически невозможно. Поэтому применяют, как правило, групповое (стадное) кормление.

Число и время кормлений в течение суток устанавливают исходя из зоотехнических требований.

Для кормления птицы применяют желобковые кормушки и бункерные автокормушки различной конструкции.

Продолжительность заполнения кормушек легко определить из выражения

$$t_p = m_{p,k} / Q_k, \quad (12.1)$$

где  $m_{p,k}$  — суммарная вместимость кормушек, т;  $Q_k$  — производительность кормораздатчика, т/ч.

Окончание процесса раздачи можно фиксировать либо по возврату корма в бункер-дозатор, либо по заполнению последней в контуре кормораздатчика кормушки.

Корм в желобковые кормушки раздают при помощи цепных (рис. 12.1, а) или тросо-шайбовых (рис. 12.1, б) конвейерных транспортеров.

Цепные кормораздатчики перемещают корм по периметру кормушек со скоростью, близкой к скорости самой цепи  $v_{ц}$ . Тогда продолжительность раздачи корма определяют из соотношения

$$t_p = l_k \eta / v_{ц} \quad (12.2)$$

где  $l_k$  — общая длина контура кормушек, м;  $\eta$  — коэффициент выравнивания раздачи, обычно принимается  $\eta = 1,25$ .

Толщину корма, поступающего на движущуюся цепь, регулируют заслонкой на выходе из бункера-дозатора вручную.

В новых клеточных батареях БКН-3 по специальному трубчатому кормопроводу корм перемещается шайбовым рабочим органом по контуру раздачи и просыпается через специальные прорезы (щели) в кормушки. Продолжительность раздачи корма в этом случае определяют по уравнению (12.1).

Кормораздатчики для птицы. Для раздачи корма птице птичники оборудуют технологическими линиями кормления (рис. 12.2, а).

Корм подвозят к птичникам специальным автокормовозом-загрузчиком ЗСК-10, из которого загружают бункеры 1 для хранения корма. Из бункера корм выгружается поперечным транспортером 2 и поступает в бункеры-дозаторы 3 кормораздатчиков, последовательно заполняя их. Емкость бункеров-дозаторов обычно рассчитана на одну раздачу корма.

Датчик, установленный на последнем бункере-дозаторе, отключает транспортер после его наполнения.

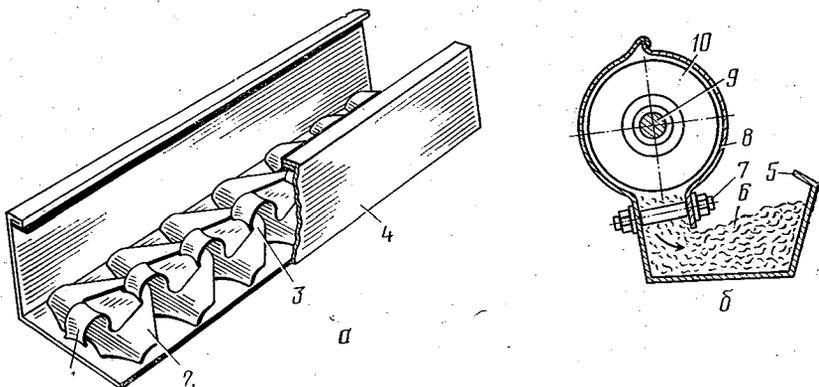
В птичниках напольного содержания птицы устанавливают кормораздатчики типа РТШ-2 (рис. 12.2, б), которые имеют бункер для хранения комбикорма 1, тросо-шайбовый конвейер 5 с приводной станцией и бункером-дозатором 3, автосамокормушки 6.

Последняя в контуре кормораздатчика автосамокормушка 7 является контрольной при раздаче корма.

Принципиальные схемы автоматизации кормления птицы. Принципиальную схему системы автоматического управления раздачей корма рассмотрим на примере птичника с клеточными батареями двух уровней, оборудованными цепными кормораздатчиками.

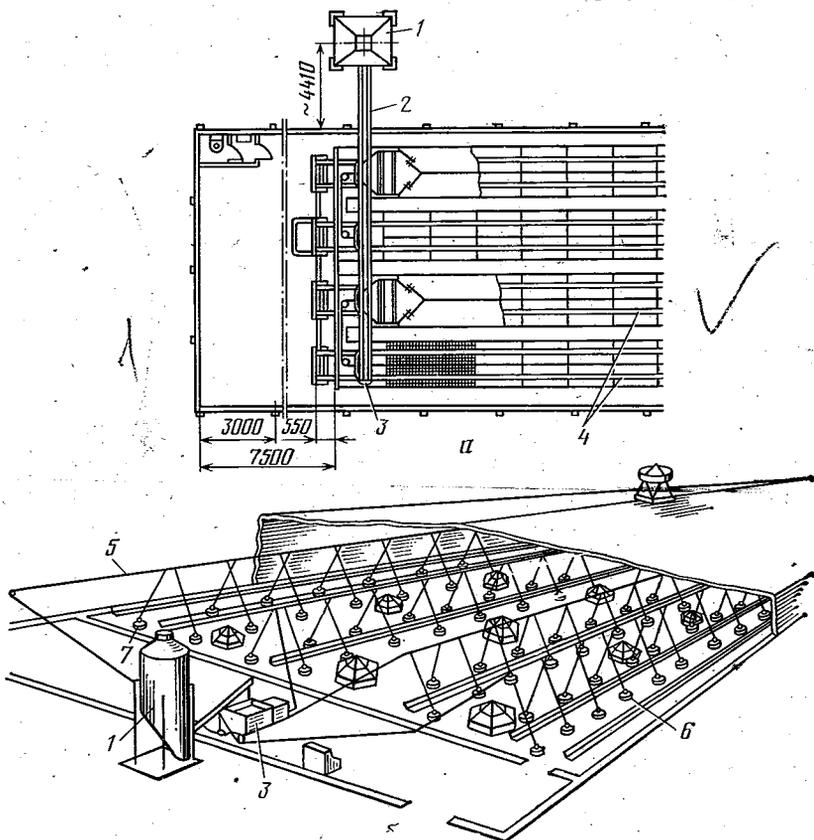
Схема (рис. 12.3) предусматривает ручной режим управления раздачей корма оператором и автоматический, которые задаются переключателем режимов SA. Сигнальные лампы HL1 и HL2 показывают включенный режим.

При автоматическом режиме переключатель SA устанавливают в положение А. Программное реле времени КТ1 подает питание на катушку магнитного пускателя КМ1 привода поперечного транс-



**Рис. 12.1. Кормораздаточные транспортеры для птицы:**

**а** — цепной; **б** — тросо-шайбовый; 1 — крючок; 2 — звено; 3 — полка; 4 — кормушка; 5 — желоб; 6 — корм; 7 — шпилька; 8 — труба; 9 — трос; 10 — шайба.



**Рис. 12.2. Технологическая линия кормления птицы:**

**а** — в птичнике с клеточными батареями; **б** — кормораздатчик РТШ-2; 1 — бункер для хранения корма; 2 — поперечный транспортер; 3 — бункер-дозатор; 4 — кормушки желобкового или бункерного типа; 5 — тросо-шайбовый конвейер; 6 и 7 — автосамормушки.

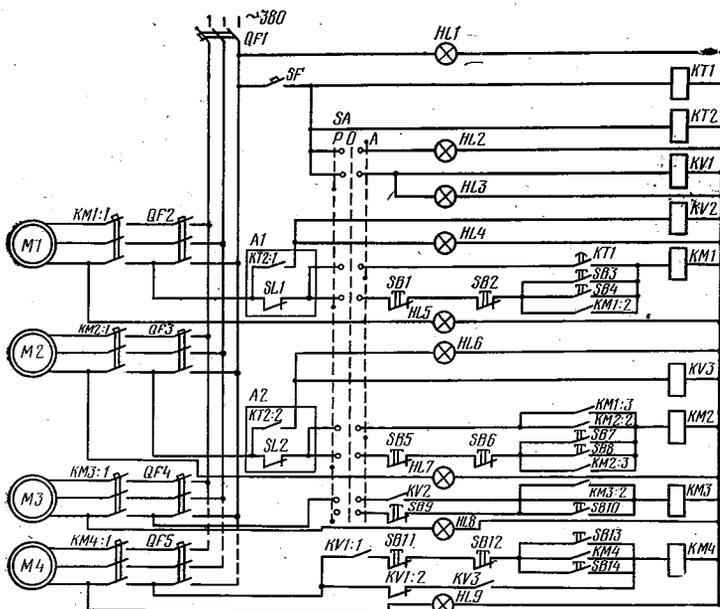


Рис. 12.3. Принципиальная схема управления технологической линией кормления.

портера первого яруса, одновременно включается *KM2* привода поперечного транспортера второго яруса.

Когда бункера-дозаторы наполнятся кормом, сработают датчики уровня *SL1* и *SL2*, которые отключают магнитные пускатели *KM1* и *KM2* и останавливают загрузочные транспортеры. Когда подходит время кормления, реле *KT2* через устройства *A1* и *A2* включает реле *KV2* и *KV3*, и зажигаются сигнальные лампы *HL4* и *HL6*. Контакты реле *KV2* и *KV3* включают в цепь тока катушки магнитных пускателей *KM3* и *KM4*, которые запускают соответствующие кормораздатчики и включают сигнальные лампы *HL8* и *HL9*.

При снижении уровня корма в бункерах-дозаторах датчики уровня *SL1* и *SL2* снова включают поперечные транспортеры *M1* и *M2*. Раздача корма при этом прекращается. После отключения поперечных транспортеров раздача корма возобновляется. Когда заканчивается время раздачи, установленное на реле времени *KT2*, его контакты размыкаются, и раздача корма прекращается.

Этот принцип автоматизации кормления птицы типичен для всех, в том числе новых, образцов оборудования птичников.

Автоматическое включение кормораздатчика в птичниках полного содержания осуществляет реле времени, а отключение — датчик уровня корма в последней самокормушке. Принципиальная схема управления при этом аналогична схеме, изображенной на рисунке 11.10.

### 12.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОЕНИЯ ПТИЦЫ

Технологический процесс поения сельскохозяйственной птицы имеет свои специфические особенности, которые обусловлены, с одной стороны, свойствами организма птицы и, с другой — техническими данными оборудования.

Широко применяемые в клеточных батареях желобковые проточные автопоилки (рис. 12.4, а) имеют весьма существенные недостатки. Расход воды в них в 3...3,5 раза превышает потребление ее птицей. В новых клеточных батареях каскадного типа эти поилки устанавливают вместе с кормушками, что ведет к значительным потерям корма и затратам труда на их ежесуточную очистку.

Суть управления системой поения птицы с желобковыми проточными поилками заключается в автоматическом включении и отключении клапана подачи воды 1 на поилки 3 вместе с включением освещения. В устройствах УПУС-1 предусмотрен для этого специально размыкающий контакт. Групповые чашечные (рис. 12.4, б) и непроточные желобковые (рис. 12.4, в) поилки применяются при содержании птицы на подстилке, насестах и в

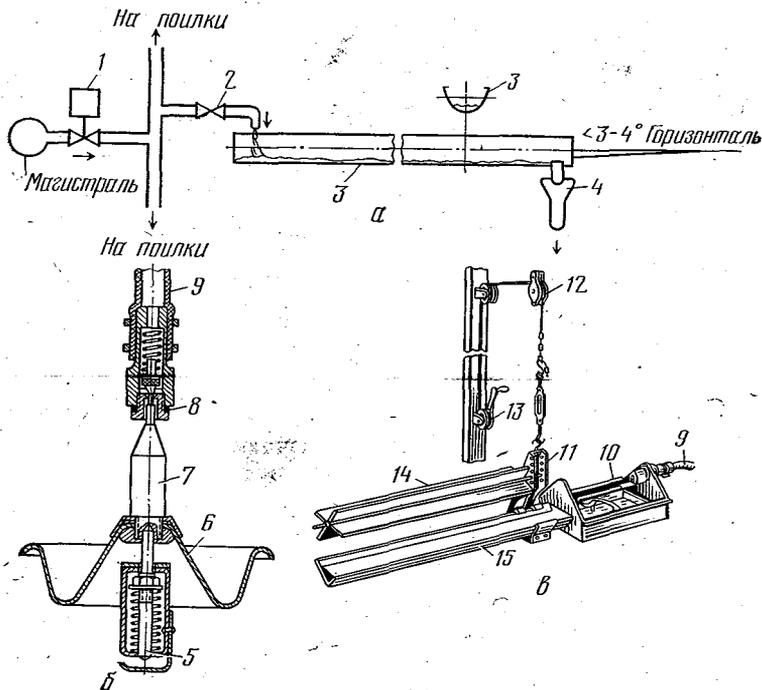


Рис. 12.4. Автопоилки для птицы:

а — проточная желобковая; б — групповая чашечная; в — непроточная желобковая; 1 — электроклапан; 2 — кран ручного регулирования; 3 — поилка; 4 — трубопровод канализации; 5 — шток; 6 — чаша; 7 — подвеска; 8 — клапанное устройство; 9 — водопроводный плант; 10 — поплавковая камера; 11 — штанга; 12 — блок; 13 — барбан лебедки; 14 — ограждение; 15 — желоб поилки.

клеточных батареях горизонтального типа. Эти поилки комплектуются регуляторами уровня воды прямого действия — поплавковыми или подпружиненными клапанами.

## 12.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ МИКРОКЛИМАТА В ПТИЦЕВОДСТВЕ

**Технологические основы регулирования микроклимата в птичниках.** Решение общих вопросов автоматизации микроклимата в птицеводстве аналогично решению подобных вопросов в животноводстве (см. п. 11.4). Но в птицеводстве есть и некоторые специфические особенности регулирования условий среды, в частности при выращивании молодняка и инкубировании яиц.

Молодняк птицы, особенно в раннем возрасте, нуждается в особых «тепличных» условиях содержания. Температура в зоне обитания молодняка вначале должна поддерживаться около  $34...35^{\circ}\text{C}$  и постепенно (равномерно) по мере акклиматизации к  $15...25$ -дневному возрасту снижаться до  $20...22^{\circ}\text{C}$ . Пределы даны для молодняка различных видов птицы. Особые требования предъявляются также к влажности воздуха. При содержании молодняка она должна быть несколько выше, чем для взрослого поголовья, а колебания ее ограничены пределами  $\pm 2,5\%$ . Воздушная среда птичников, как правило, более интенсивно загрязняется, но в то же время к ее качеству предъявляются более высокие требования. К обмену воздуха в птичнике также предъявляются повышенные требования.

В летнем режиме, когда обогрев не требуется, регулирование вентиляции осуществляется в функции температуры воздушной среды птичников.

Рациональный режим вентиляции птичников показан на графике (рис. 12.5). На участке  $OA$  при температуре ниже допустимой минимальной  $\theta_{\min}$  вентиляция уменьшается до предела  $L_{(O_2)}$ , исключаяющего кислородное голодание. На участке  $AB$  (между минимальной и номинальной температурой) увеличивают воздухообмен до номинального  $L_{(CO_2)}$ . На участке  $BC$  номинальной температуры  $\Delta\theta_n$  сохраняется номинальная вентиляция.

При повышении температуры выше номинальной (участок  $CD$ ) вентиляция пропорционально ей увеличивается до максимума.

**Автоматизация управления вентиляцией птичников.** Для регулирования вентиляции используют станции управления

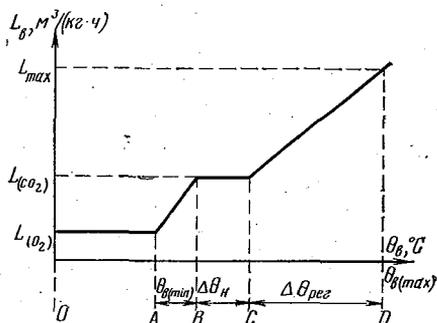


Рис. 12.5. График регулирования вентиляции в птичнике.

ШАП-5701 и МК-ВАУЗ, устройство которых описано в главе 11. В последнее время в комплексе «Климат-47М» поставляется устройство управления «Климатика-1» ТСУ-2-КЛУЗ, которое по принципу действия аналогично МК-ВАУЗ, но функциональные характеристики его значительно шире. Во-первых, введено ручное управление. Во-вторых, при наличии перекоса температурных полей может быть установлено несколько (до четырех) датчиков температуры, что обеспечивает усредненные температуры. Четырехполюсный переключатель предусмотрен для уставок температуры. Дополнена световая сигнализация «Аварийное отключение температуры» и «Срабатывание защиты» с соответствующими датчиками-резисторами.

Таким образом, существенно расширена панель управления и соответственно усложнена схема, что несколько компенсировано использованием интегральных микросхем.

На рисунке 12.6 приведена схема соединений панели управления станции управления ТСУ-2-КЛУЗ. Переключатель SA1 (на четыре положения) вместе с сопротивлениями R2, R3, R4 и потенциометром RP4 является датчиком температуры в диапазоне от 0 до 40 °С. Переключатель SA1 может быть установлен в положения, соответствующие температуре 0, 10, 20 и 30 °С. Переключатель SA2 также имеет 4 положения, что соответствует числу датчиков температуры (терморезисторов), установленных по длине помещения и соединенных параллельно.

Автоматизация управления увлажнением воздуха в птичниках. Кроме обычных устройств вентиляции и подогрева приточного воздуха, установки микроклимата птичников для выращивания молодняка птицы «Климат-2» оборудованы увлажнителями приточного воздуха, функционирующими в режиме «Включено—Отключено», и управляемым двухпозиционным регулятором влажности типа СПР-104 (СПР-3) с калиево-натриевым датчиком (рис. 12.7).

В первичном преобразователе RM регулятора с изменением относительной влажности воздуха в обратной зависимости изменяется сопротивление, что приводит к рассогласованию измерительного моста регулятора. Сигнал рассогласования подается на вход транзисторного усилителя VT1 и далее на фазочувствительный каскад VT2, который управляет триггером, собранным на транзисторах VT3 и VT4. Нагрузкой триггера служит выходное реле KV, исполнительные контакты которого KV:3 управляют увлажнительной установкой.

Регулятор СПР-104 имеет следующие технические данные: диапазон регулируемой влажности 35...90% при температурах от -5 до +35 °С, погрешность шкалы ±3%. Датчик подключается экранированным проводом длиной до 200 м.

Автоматизированные инкубаторы. Самые современные инкубаторы «Универсал-55» и ИКП-90 «Кавказ» имеют унифицированные устройства регулирования климатических режимов инкубации и управления поворотом лотков в инкубационных камерах. Выводные камеры, которые комплектуются на три и шесть инкубацион-

Блок управления

Панель управления

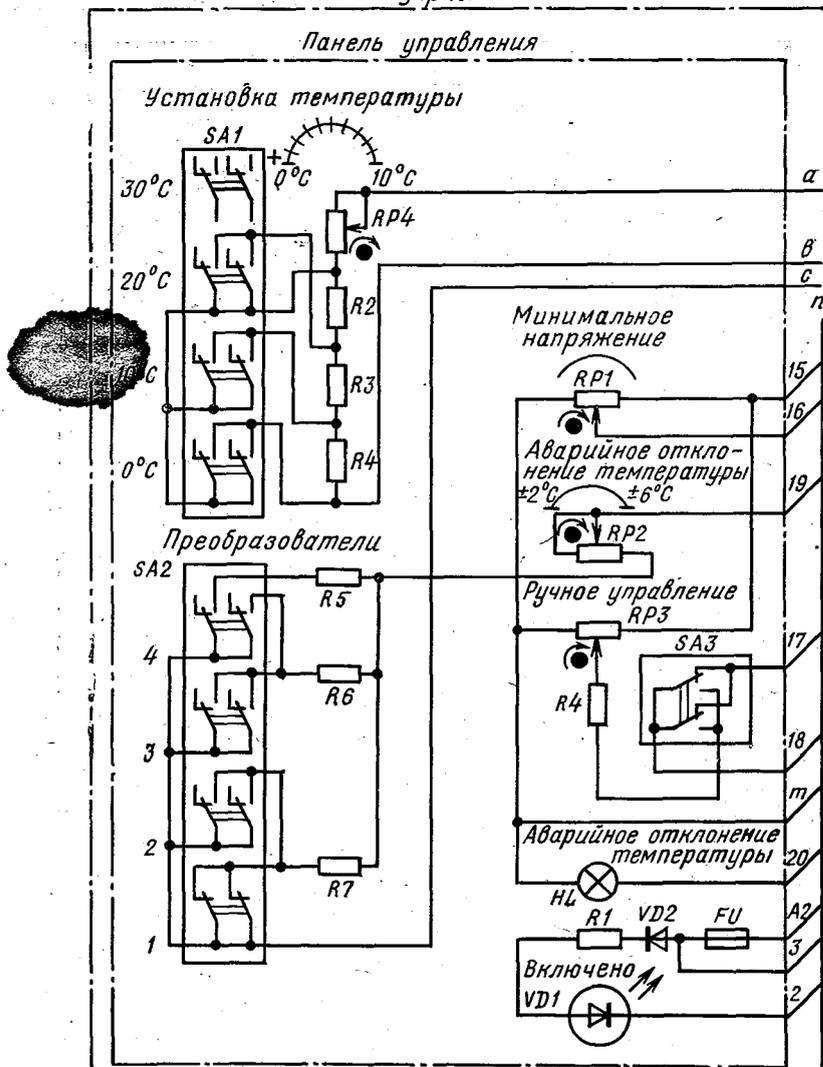


Рис. 12.6. Схема соединений панели управления станции ТСУ-2-КЛУЗ.

ных, не имеют поворота лотков. В остальном устройство инкубационных и выводных камер аналогичное.

На рисунке 12.8 изображена инкубационная камера, оборудованная вентилятором 1, который обеспечивает выравнивание температуры по объему камеры и улучшает теплопередачу между воздухом и яйцом. Двумя электронагревателями 2 мощностью по 1 кВт управляют совместно в двух режимах: на полном напряже-

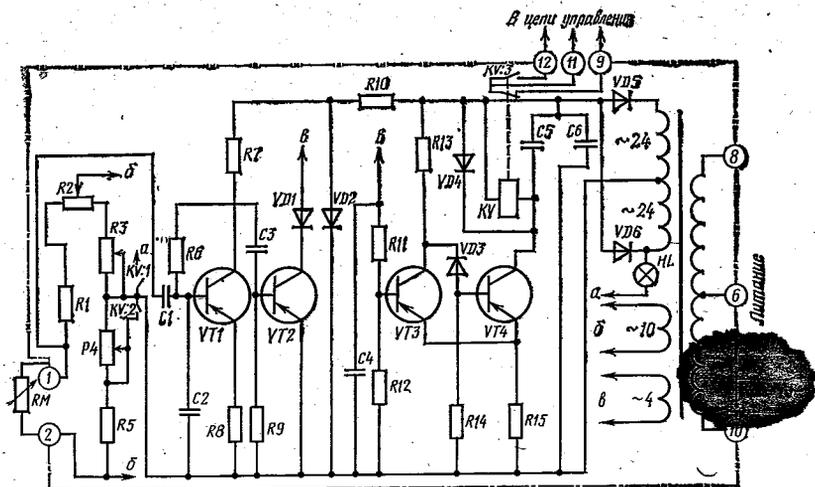


Рис. 12.7. Принципиальная схема влагурегулятора СПР-104.

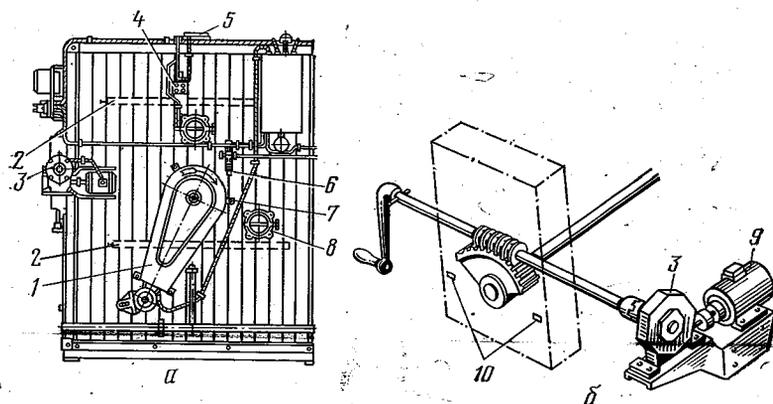


Рис. 12.8. Инкубационная камера как объект регулирования режимов инкубации:

а — вид на заднюю стенку; б — механизм поворота лотков.

нии сети и на половинном через тиристор. Увлажнитель 7 имеет отдельный электромашинный привод, вода подается через управляемый клапан 6. Приточная 8 и вытяжная 5 заслонки воздухообмена спарены и управляются электромагнитным соленоидным приводом 4. Для поворота лотков предназначен механизм 3 с моторным электроприводом 9, имеющим два ограничительных концевых выключателя 10. Температура контролируется платиновым датчиком типа ТСП, влажность — мокрым контактным термометром.



тор *AL* (РТИ-3) посылает сигнал на открытие тиристора *VS*. Электрическое напряжение обратной последовательности, равное половине номинального, поступает на обогревательные элементы *EK1* и *EK2*. При дальнейшем снижении температуры терморегулятор *AL* 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 превысит  $38,3^{\circ}\text{C}$ , замкнется контакт термореле *SK1* и включит реле *KV1*, которое отключит промежуточное реле *KV2*. Контакты реле *KV2* отключат терморегулятор *AL*, а включат соленоид охлаждения *YA1* и световую и звуковую аварийную сигнализацию, а также местную световую *HL1*.

При снижении влажности воздуха (на 3%) влагорегулятор *A2* включает соленоид *YA2* и подает воду на диск механического распылителя *M2*. При этом зажигается сигнальная лампа *HL5*. Световая сигнализация *HL4* показывает «Разогрев», *HL3* — «Температура в норме», *HL2* — «Охлаждение».

Внутриобменный вентилятор *M1* включается магнитным пускателем *KM1* прямо при подаче напряжения на цепи управления и отключается только при открытии дверей конечным выключателем *SQ*.

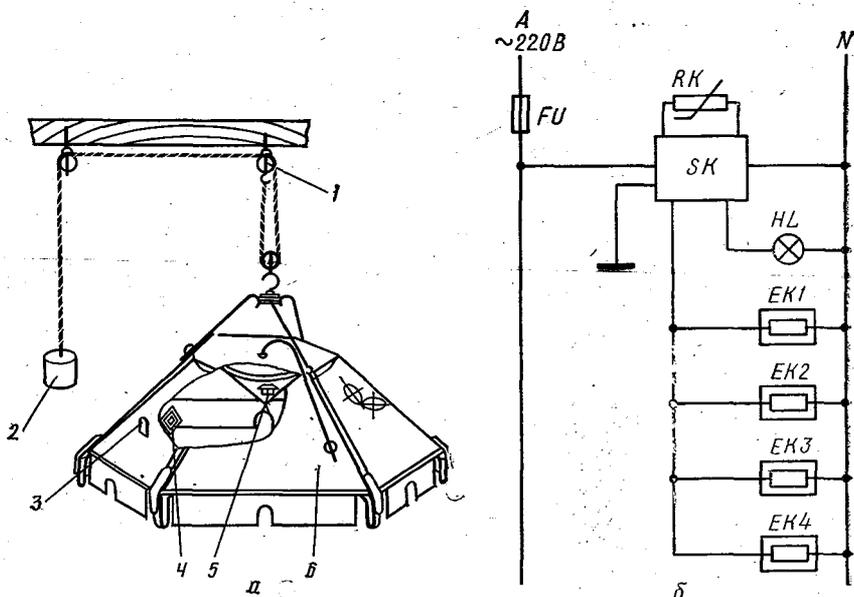


Рис. 12.10. Электробрудер БП-1А:

*a* — общий вид; *б* — принципиальная схема; 1 — система блоков; 2 — груз противовеса; 3 — терморегулятор; 4 — электронагреватель; 5 — осветительный прибор; 6 — зонд.

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.

**Автоматизация местного обогрева птицы.** Для местного обогрева молодняка птицы наиболее широкое распространение получили электробрудеры БП-1А. Температурный режим под брудером регулируется (рис. 12.10, а) включением и отключением электроннагревательных элементов бесконтактным терморегулятором РТБ-1. Как видно из схемы (рис. 12.10, б), система автоматического регулирования температурного режима под электробрудером включает четыре нагревательных элемента *EK1...EK4* мощностью по 250 Вт каждый, терморегулятор *SK* и сигнальную лампу *HL*.

Терморегулятор *SK* путем управления подачей напряжения на нагревательные элементы поддерживает под брудером температуру в пределах от 20 до 34 °С, установленную ручной настройкой.

## 12.5. АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ ПТИЧНИКОВ

В технологиях птицеводства освещение играет весьма существенную роль. На развитие и продуктивность всех видов несушек режимы освещения (возрастающий или убывающий день) оказывают заметное стимулирующее влияние.

С целью реализации этих программ птичники строят безоконными и оборудуют искусственным электрическим освещением. Для управления освещением используют различные общего назначения и специальные автоматические программные устройства.

Для управления режимом освещения (светового дня) в птичниках используют двухпрограммные устройства суточного цикла типа 2РВМ. При этом программа получается ступенчатой (через 15 мин), а переход на новую ступень выполняется вручную. Эти недостатки ограничивают применение 2РВМ на управление освещением.

Специальные программные устройства типов УПУС-1(2) и ПРУС-1(2) реализуют жестко выданную программу управления режимом светового дня в автоматическом режиме с медленным (3...5 мин) изменением его продолжительности на протяжении 52 недель.

Программное устройство УПУС-1 (рис. 12.11) имеет часовой механизм 1, программный барабан 3 с ходовым винтом 4 и втулкой 5. Через шестерни 2 часовой механизм вращает программный барабан с частотой вращения один оборот в сутки и одновременно через винт передвигает контактный ролик вдоль барабана на 0,75 мм в сутки.

На токопроводящую поверхность барабана наклеивают бумажную диаграмму программы управления освещением. Перекаты-

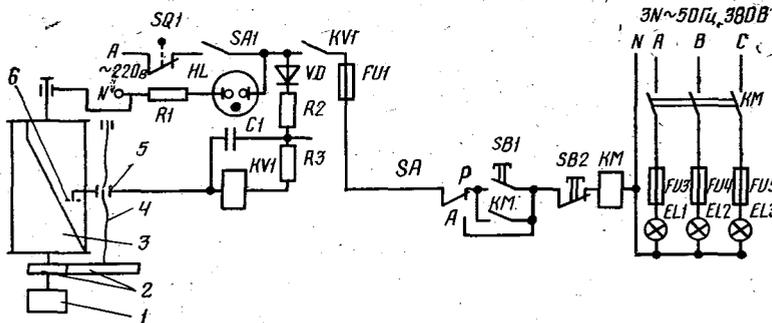


Рис. 12.11. Принципиальная схема устройства типа УПУС-1 для управления освещением.

ваясь по барабану, контактный ролик попадает на бумажную наклейку, цепь тока разрывается, и с некоторой (15 с) выдержкой времени, определяемой  $RC$  цепочкой, отключается реле  $KV1$ , контакты которого отключают управление освещением (магнитный пускатель  $KM$ ).

Когда ролик попадает на токопроводящую поверхность, с выдержкой времени (3 с) включается реле  $KV1$ , подающее питание на катушку магнитного пускателя  $KM1$  включения освещения.

Программное устройство типа УПУС-2 оборудовано фотореле для согласования освещения оконных птичников с программным

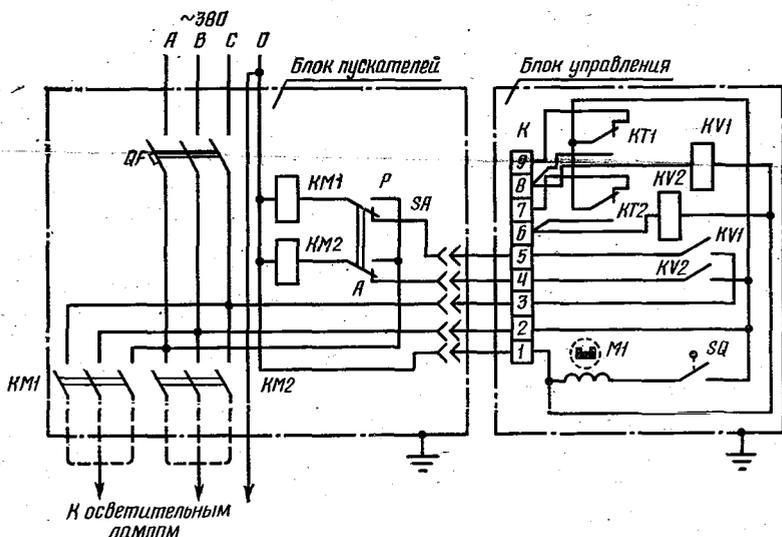


Рис. 12.12. Принципиальная схема устройства типа ПРУС-1 для управления освещением.

режимом. При помощи устройства УПУС-2 можно управлять освещением в нескольких птичниках.

Программное устройство ПРУС-2, кроме управления режимом светового дня по жесткой, вырезанной на металлическом барабане программе, позволяет выполнять двухступенчатое включение и от-

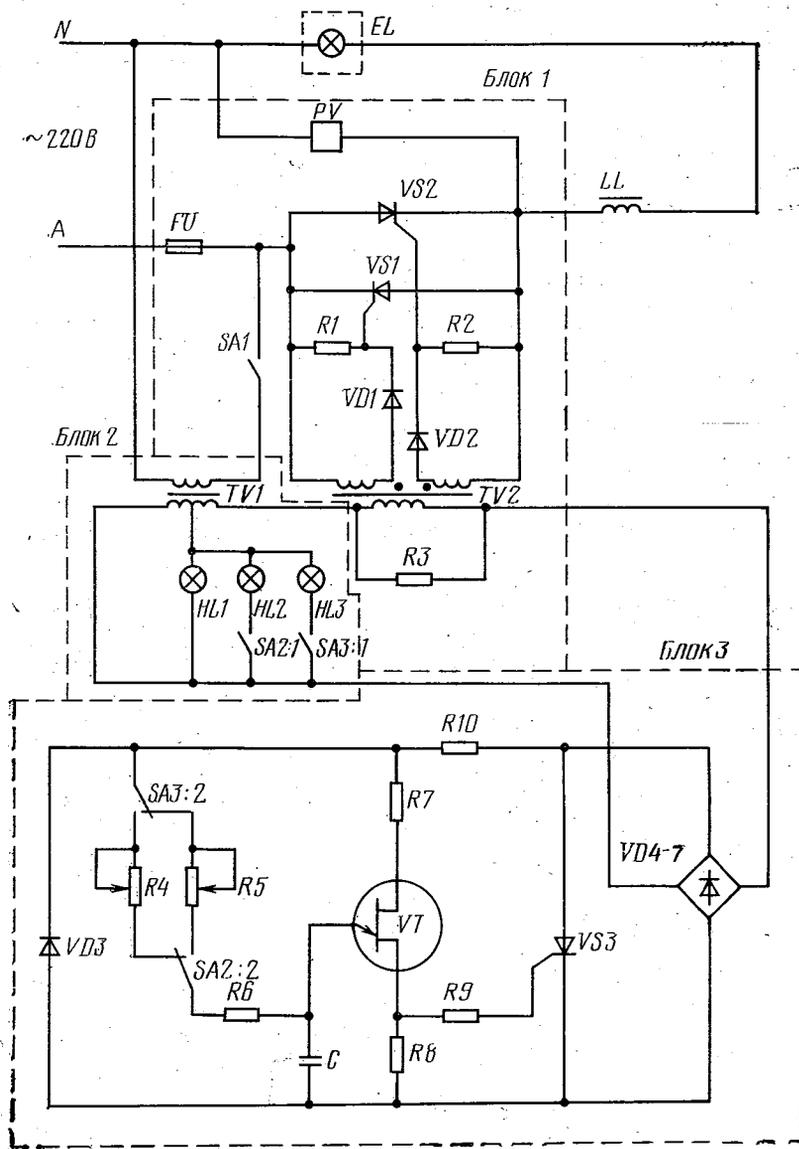


Рис. 12.13. Принципиальная схема устройства типа ТИРОС-1 для управления освещением.

ключение освещенности, регулируемой либо числом ламп, либо введением дополнительного сопротивления.

На рисунке 12.12 приведена принципиальная схема устройства ПРУС-1 для управления освещением с имитацией рассвета и заката. Кулачки микропереключателей  $KT1$  и  $KT2$  несколько сдвинуты по срабатыванию во времени.  $KT1$  срабатывает первым и через реле  $KV1$  включает цепь питания первой ступени освещения пускателем  $KM1$ . Через некоторое время (2...5 мин) срабатывают контакты  $KT2$  в цепи реле  $KV2$ , которое магнитным пускателем  $KM2$  включает вторую ступень освещения.

Отключение происходит в обратной последовательности.

В птичниках для выращивания молодняка, особенно мясного поголовья, практикуется снижение интенсивности освещения в промежутках между кормлениями. Кроме экономии энергии, это дает положительный технологический эффект — уменьшается травмирование птицы, повышаются привесы.

Для управления интенсивностью электроосвещения применяется автоматическое устройство на бесконтактных элементах ТИРОС-1 (рис. 12.13). Напряжение на осветительные приборы поступает из сети ( $A - N$ ) через блок 1, в котором происходит его коммутация тиристорами  $VS1$  и  $VS2$ . Блок 2 обеспечивает питание цепей управления и сигнализации  $HL1$ ,  $HL2$  и  $HL3$ , показывающей наличие напряжения и положение переключателей  $SA2$  и  $SA3$ . Блок 3 создает выдержки времени снижения интенсивности освещения, которые настраивают резисторами  $R4$ ,  $R5$  и переключателями  $SA2$  и  $SA3$ , установленными в блоке 2.

Устройство ТИРОС-1 применяется в дополнение к устройствам автоматического управления продолжительностью светового дня.

## 12.6. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УБОРКИ ПОМЕТА

Для уборки помета (рис. 12.14, а) в птичниках применяются телночно функционирующие скребковые механизмы типа МПС-1М (и другие его модификации) в сочетании с транспортерами ТСН-3,0Б на удалении помета и погрузке в транспортные средства. Производительность уборки за 1 ход 400 кг, скорость движения скребка 0,17 м/с, производительность ТСН-3,0Б 3 т/ч.

Частоту включения линии уборки помета определяют по нормативным данным выделения помета птицы в сутки:

$$n_{сут} = q_n N_n k_n / Q_y, \quad (12.3)$$

где  $q_n$  — нормативное выделение помета одной птицей, кг в сутки;  $N_n$  — число птиц на линии уборки;  $k_n$  — коэффициент неравномерности отложения помета, равный 1,2 ... 1,3;  $Q_y = 400$  кг — производительность установки МПС-1М.

Длительность уборки помета определяется из предположения, что скребок проходит в одну и другую сторону траншеи:

$$t_{уб} = 2l_T / v_{ск}, \quad (12.4)$$

где  $l$  — длина траншей, м;  $v_{ск}$  — скорость движения скребка, м/с.

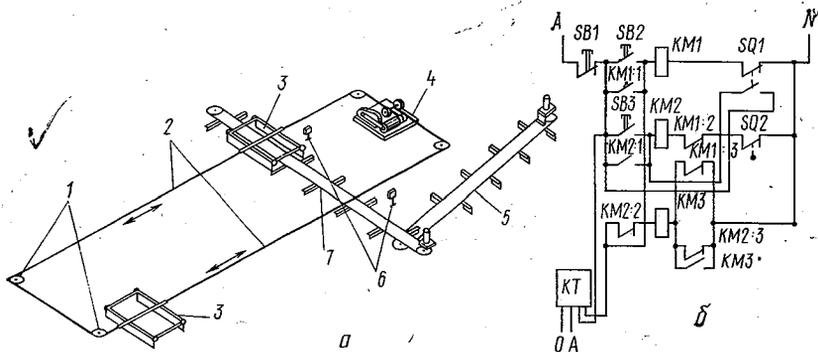


Рис. 12.14. Установка для уборки помета в птичниках:

а — схема устройства; б — принципиальная схема системы управления; 1 — поворотные устройства; 2 — трос; 3 — скребки; 4 — приводная станция; 5 — наклонный транспортер; 6 — концевые выключатели; 7 — поперечный транспортер.

Длительность работы поперечного и выгрузного транспортеров определяют по формуле

$$t_{\text{в}} = q_{\text{п}} N_{\text{п}} k_{\text{н}} / (n_{\text{в}} Q_{\text{тр}}), \quad (12.5)$$

где  $N_{\text{п}}$  — число птиц в птичнике. ✓

Для управления уборкой помета, как показано на принципиальной схеме (рис. 12.14), в автоматическом режиме используется суточное программное реле типа 2РВМ, а в ручном — кнопки SB (1...3). Челночное движение скребков обеспечивают конечные выключатели SQ1 и SQ2.

## 12.7. АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРА ЯИЦ

Сбор яиц в птичниках, как правило, механизирован. Технологическая линия яйцесбора включает ряд механизмов. Транспортеры сбора яиц (рис. 12.15) расположены вдоль гнезд I, в которых содержится (клеточные батареи) или несется (напольное содержание) птица. Снесенное яйцо выкатывается из гнезда по наклонной решетке 2 на ленту 3, приводимую в движение шкивом 4 от вала электропривода. В конце ряда гнезд установлен накопительный стол 5, с которого птичница собирает яйцо.

При централизованном сборе яиц с многоярусных гнезд вместо накопительного стола устанавливают механизм вывода яиц на один уровень (рис. 12.16). В каскадных батареях этот механизм устанавливают наклонно.

Для централизации сбора яиц в горизонтальном направлении (с нескольких батарей или птичников) применяют ленточные или планчатые транспортеры яиц. В этих системах приемные столы на элеваторах отсутствуют.

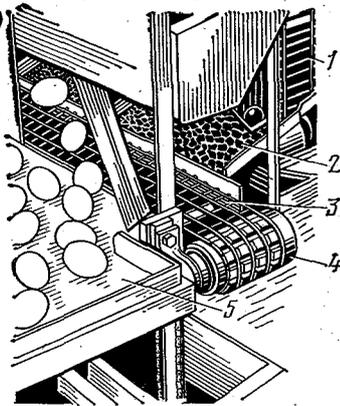


Рис. 12.15. Устройство для сбора яиц в птичниках.

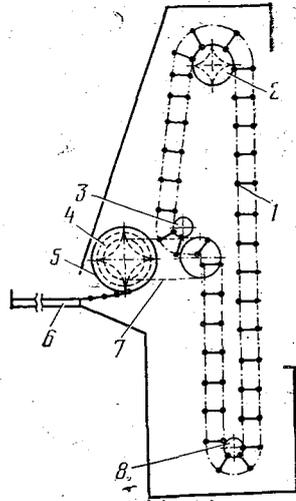


Рис. 12.16. Элеватор яиц:

1 — транспортная лента; 2 — верхний шкив; 3 — ролик; 4 — приводная звездочка; 5 — электропривод; 6 — стол; 7 — цепь; 8 — нижний шкив.

Принципиальная электрическая схема управления сбором яиц в птичнике (рис. 12.17) предусматривает работу в ручном, наладочном и автоматическом режимах. Выбор режима осуществляется многопозиционным переключателем *SA1*. Тумблерными переключателями *SA2...SA7* осуществляется дистанционное включение отдельных установок в наладочном режиме, а *SA8* — при ручном управлении. При включении поперечного транспортера *M3* магнитным пускателем *KM3* блок-контактами *KV1:1* и *KV1:2* через *KV9:1* и *KV9:2* подготавливается включение продольных транспортеров первого яруса *M1* и привода щеток очистки лент *M2*. На втором ярусе поперечный транспортер *M4* через реле *KV7* сблокирован с электроприводом продольного транспортера *M6*, а через реле *KV10* — с электроприводом очистки щеток *M5*.

В автоматическом режиме управление по заранее рассчитанному алгоритму осуществляет многоканальное устройство программного управления (например, КЭП-12У), которое своими контактами дублирует функции контактов выключателей *SA2...SA7* и автоматически управляет транспортерами.

При централизованном сборе яиц, чтобы не потерять контроль над продуктивностью птицы, вводят автоматический учет яиц, для чего используют счетчики различных конструкций (например, СИСЭИСЭ-5), датчиками импульсов для которых могут служить фотореле или рычажные с микропереключателями (герконами) релейные элементы.

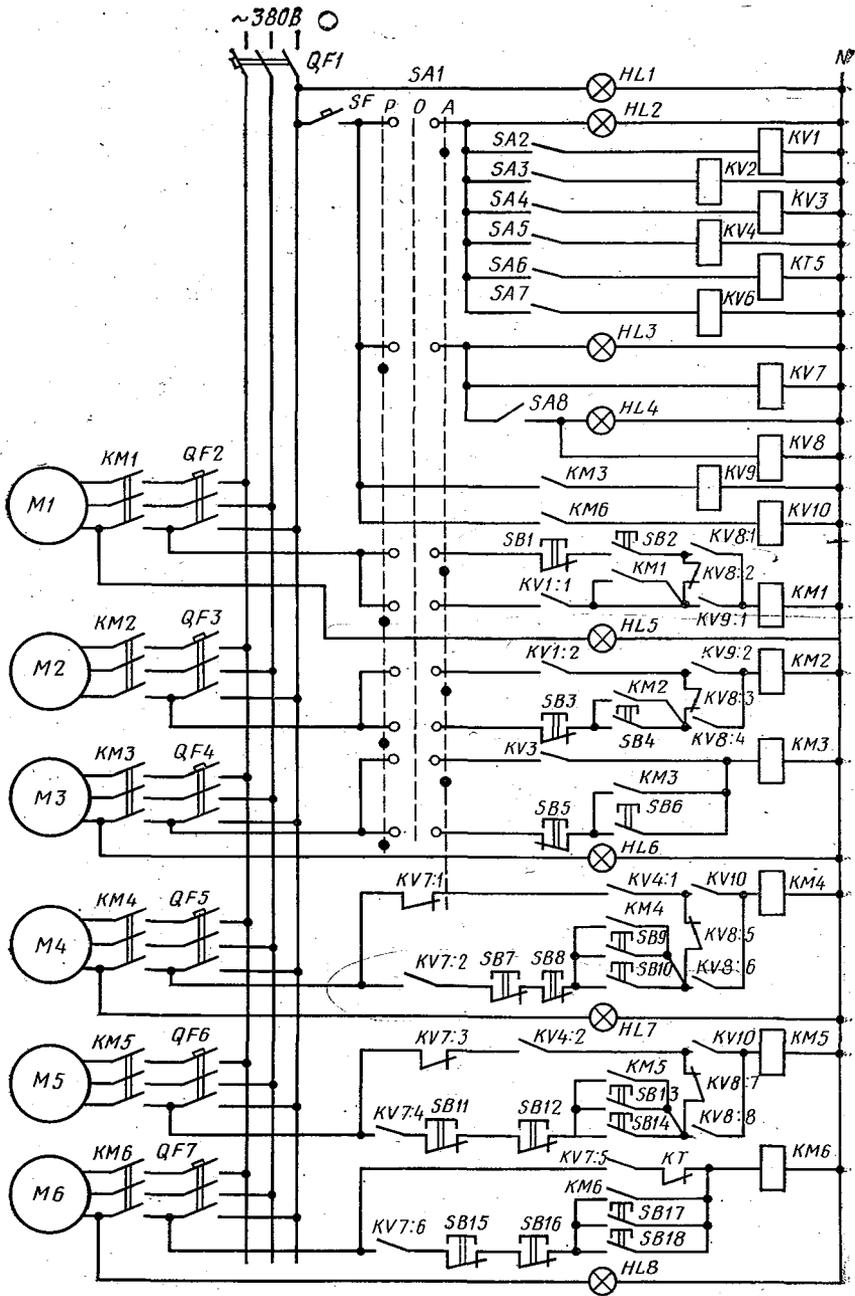


Рис. 12.17. Принципиальная схема управления сбором яиц в птичнике.

**..Повысить надежность электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.**

Из Основных направлений экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года

## **Глава 13. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

Под энергоснабжением понимается надежное и бесперебойное обеспечение сельских потребителей электрической энергией, газом, горячим воздухом и водой, паром и холодом.

Без устройств и систем автоматики невозможно организовать экономичное, надежное и бесперебойное энергоснабжение сельских потребителей.

### **13.1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

Без автоматических устройств защиты и блокировки, управления и регулирования, измерения и сигнализации человек не в состоянии быстро обнаружить и устранить повреждения, а также управлять быстропротекающими технологическими процессами в электроснабжающих установках.

Благодаря автоматизации повышаются обеспечение бесперебойного электроснабжения сельских потребителей и надежность работы электрооборудования, сокращаются количество обслуживающего персонала и эксплуатационные расходы, возрастают качество электрической энергии и скорость управления технологическими процессами, снижается себестоимость вырабатываемой электроэнергии и улучшаются условия работы обслуживающего персонала.

В установках сельского электроснабжения широкое применение нашли различные устройства автоматики энергосистем.

Устройства автоматической защиты защищают электрические установки от ненормальных (перегрузки, снижение или повышение напряжения и частоты) и аварийных (короткие замыкания, неполнофазные режимы, атмосферные перенапряжения и т. п.) режимов. Защиту выполняют при помощи плавких предохранителей, тепловых расцепителей магнитных пускателей, тепловых и электромагнитных расцепителей автоматов и различных реле.

Устройства автоматического секционирования сетей позволяют сохранить электроснабжение основной массы потребителей путем автоматического отключения поврежденного участка сети и части потребителей, питающихся от этого участка.

Автоматическое повторное включение (АПВ) обеспечивает сохранность электроснабжения путем автоматического отключения поврежденного участка на короткое время, а затем обратного его

включения после устранения в бестоковую паузу преходящего короткого замыкания. Обычно такие преходящие (неустойчивые) короткие замыкания наблюдаются в линиях электропередачи. Благодаря АПВ число перерывов в снабжении потребителей электрической энергией значительно снизилось. До 80% общего числа потребителей, отключенных при возникновении коротких замыканий, успешно автоматически повторно включаются в эксплуатацию. Это объясняется тем, что в период бестоковой паузы (от долей секунды до нескольких секунд) короткие замыкания самоустраиваются, поскольку электрическая прочность поврежденного элемента изоляции при кратковременном отключении в большинстве случаев восстанавливается.

Устройства АПВ выпускают как однократными, так и двух- и трехкратными, то есть два и три раза выполняют попытку автоматического повторного включения после отключения линии защиты. Схемы многократных устройств АПВ значительно сложнее однократных, поэтому их применение в сельском электроснабжении может быть оправдано лишь на ответственных установках.

Автоматическое включение резервного оборудования (АВР) обеспечивает бесперебойность электроснабжения посредством быстрого автоматического отключения релейной защитой поврежденного оборудования и включения резервного оборудования или источника электроэнергии.

Если АПВ повторно включает линию электропередачи, то устройство АВР включает резервный источник электроэнергии (силовой трансформатор, резервную электросеть или дизельную электростанцию) при выходе из работы основного.

Устройства АВР относительно просты, и стоимость их незначительна, поэтому экономический эффект от их внедрения существенно заметен. Устройства АВР эффективно используют при электроснабжении животноводческих комплексов, которые имеют часть потребителей первой и второй категорий.

Продолжительность действия устройств АПВ и АВР в общем случае ограничивается двумя условиями. Во-первых, время бестоковой паузы  $t_n$  должно быть больше времени деионизации среды  $t_d$  в месте короткого замыкания и меньше времени  $t_c$ , обеспечивающего самозапуск включенных двигателей после восстановления напряжения  $t_d < t_n < t_c$ . Время  $t_n$  рекомендуется для АВР принимать равным 0,5...1,5 с, для однократного АПВ — 0,5...2 с, для двухкратного АПВ во втором цикле — 10...15 с.

При оперативном отключении источников электроснабжения устройства АПВ и АВР выводятся из работы, то есть они не выполняют повторного включения и включения резервного источника.

Автоматическая частотная разгрузка источника электроснабжения (АЧР) предотвращает чрезмерное снижение частоты, угрожающее развитием аварии, путем принудительного автоматического отключения малоответственных потребителей при снижении частоты из-за дефицита мощности. Устройства АЧР при снижении

частоты до 40...47 Гц (в зависимости от конкретных энергосистем) поочередно отключают неответственные потребители такой суммарной мощностью, чтобы частота восстановилась до 48...49,5 Гц. Сельские электропотребители пока не охвачены устройствами АЧР, хотя для животноводческих комплексов они обязательны.

Автоматическое регулирование возбуждения генераторов и напряжения в сетях обеспечивает поддержание напряжения у электропотребителя на заданном уровне. Для большинства сельских потребителей отклонение напряжения допускают от  $-7,5$  до  $+7,5\%$ , а для животноводческих комплексов промышленного типа — как для общепромышленных потребителей: для электродвигателей и их аппаратуры управления от  $-5$  до  $+10\%$ , для остальных электроприемников от  $-5$  до  $+5\%$  номинального напряжения.

Заданное напряжение на шинах электростанций обеспечивается регуляторами возбуждения генераторов, на шинах подстанций — устройствами автоматического переключения под нагрузкой ответвлений силового трансформатора, в электросетях и непосредственно у электропотребителя — статическими конденсаторами, которые одновременно используют как компенсаторы реактивной мощности.

Устройства автоматики для автоматического пуска и останова электрогенерирующих агрегатов, автоматического включения генераторов на параллельную работу, регулирования частоты и распределения активной мощности между параллельно работающими агрегатами применяют на дизельных, гидравлических и ветровых электростанциях сельскохозяйственного назначения, в том числе используемых в качестве резервных источников.

Кроме того, в установках сельского электроснабжения широко используются различного назначения автоматические устройства измерения, контроля и сигнализации, позволяющие обслуживающему персоналу следить за режимами работы установок и быстро определять причину и нарушения нормального режима и место аварий. Схемы и устройства автоматизации перечисленных технологических процессов электроснабжения рассматриваются в курсе «Электроснабжение сельского хозяйства».

### 13.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОТЛОАГРЕГАТОВ

Тепловая энергия в общем потреблении энергии сельским хозяйством составляет от 60 до 80% в зависимости от климатических районов нашей страны. Она расходуется на отопление жилых, производственных и животноводческих помещений, приготовление пищи и корма, подогрев воды и получение 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. Огневые котлы и теплогенераторы в сельском хозяйстве СССР используют

ся весьма широко, несмотря на их значительную металлоемкость и повышенную себестоимость тепловой энергии, большие потери теплоты при ее передаче от котельных к потребителям и высокую пожароопасность, высокую загрязненность отходами и трудности с автоматизацией. На их эксплуатации занято более 500 тыс. операторов. 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 используется ряд огневых паровых котлов типа КМ, КВ-300М, Д-721А, ДКВР, МЭК и другие 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 типа АВ-2, АПВ-2, ПТВМ-30М, КВ-ГМ, ДКВР, ДЕ и другие. 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  $\approx 130$  °С для пропаривания почвы и собственных нужд.

Системы автоматического управления котельными установками можно разделить на следующие: пневматическую типа ПМА и электрическую типа АГОК-66 для отопительных и водогрейных котлов, оборудованных горелками среднего и низкого давления без принудительной подачи воздуха; пневматическую типа АГК-2П и электрические типа АМК и АМКО для паровых и водогрейных котлов, работающих на газе и жидком топливе; электронно-гидравлическую типа «Кристалл» для отопительных котлов малой и средней мощности и электронную типа «Курс-101», предназначенную для тепличных пароводогрейных котлов, работающих на газообразном или жидком топливе.

Эти системы выполняют следующие основные операции:

автоматическое регулирование тепловой нагрузки с целью обеспечения заданной температуры в помещении и требуемого количества горячей воды и пара;

автоматическое управление уровнем воды в котле;

дистанционное управление котлом (пуск, регулирование тепло- и паропроизводительности и останова котлов);

технологическую защиту, предотвращающую аварии;

технологическую блокировку, исключающую выполнение неправильных операций при эксплуатации;

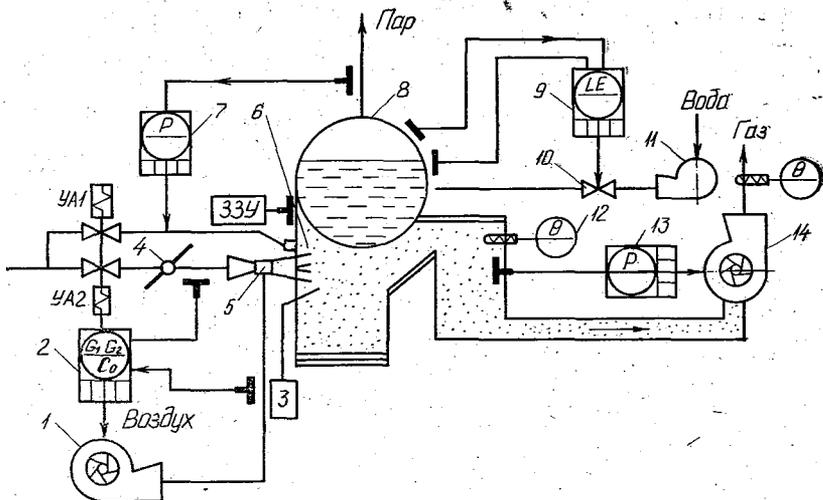


Рис. 13.1. Функциональная схема системы «Кристалл» автоматизации котла.

технологическую сигнализацию, извещающую персонал о ходе выполнения технологических процессов;

автоматический контроль технологических параметров работы котлов.

Несмотря на низкую стоимость и простоту эксплуатации пневматических систем автоматизации котлов, они вытесняются электрическими системами, которые обеспечивают большую гибкость и точность управления, высокую чувствительность и возможность передачи информации на расстояние.

Наибольшей возможностью автоматизации всех технологических операций котлоагрегата обладают «Кристалл» и «Курс-101».

Система «Кристалл» построена по агрегатному принципу, позволяющему просто и удобно собирать заданную систему управления различными параметрами из небольшого числа элементов аппаратуры. Функциональная схема системы «Кристалл» приведена на рисунке 13.1. Она обеспечивает автоматическое управление давлением пара и уровнем воды в барабане 8 котла, разрежением в топке 6, расходом воздуха и розжигом котла при помощи зажигателя 3, дистанционное управление электроприводами дымососа 14 и насоса 11 питательной воды, дистанционный контроль давления воздуха за вентиляторами, разрежения в топке и температуры дымовых газов. Световая сигнализация включается при повышении или понижении уровня воды в барабане котла, понижении давления воздуха и разрежения в топке, повышении давления пара и при аварийном отключении котла.

Система состоит из регулятора 7 давления пара в барабане 8 котла, регулятора 2 соотношения газа и воздуха, регулятора 13

разрежения в топке, регулятора 9 уровня воды с соответствующими датчиками и контрольно-измерительных приборов 12 температуры. Регуляторы 2, 7 и 13 оптимизируют процесс горения. Давление пара характеризует соответствие между выработкой и потреблением пара. Если равенство между ними нарушается, то изменяется давление пара. Например, при увеличении потребления пара давление падает и регулятор 7 выдает импульс регулируемому органу 4 на увеличение подачи топлива.

Для полного сгорания топлива в горелке 5 необходимо определенное количество воздуха, избыток воздуха повышает вынос теплоты с дымовыми газами, а недостаток воздуха приводит к неполному сгоранию топлива. Следовательно, для обеспечения максимального КПД котельной установки необходим регулятор 2, поддерживающий заданное соотношение топливо — воздух. Регулятор 2 по сигналу от датчиков расхода топлива и подачи воздуха управляет производительностью вентилятора 1.

Для полного удаления дымовых газов используется дымосос 14, который при помощи регулятора 13 обеспечивает заданное разрежение газов в верхней части топки.

При избыточном разрежении увеличивается вынос теплоты через дымосос, при недостаточном — дымовые газы прорываются внутрь помещения котельной.

Уровень воды в барабане котла поддерживается постоянным при помощи регулятора 9, получающего сигналы об изменении уровня от манометра. При отклонении уровня от заданного значения регулятор 9 воздействует на регулирующий клапан 10.

В аварийном режиме котел останавливают, прекращая подачу топлива при помощи клапана УА2, 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 газо- или жидкообразного топлива  $SP_T$ , воздуха  $SP_B$ , разрежения газов в топке  $SP_r$ , давления пара  $SP_n$ , верхнего  $SL_B$  и нижнего  $SL_n$  уровней воды в барабане котла, наличия пламени ЗЗУ (рис. 13.2, а). Схема управления системой «Кристалл» для котла ДКВР и его защиты работает в соответствии с временной диаграммой (рис. 13.2, б). При подаче на схему напряжения срабатывает только реле КV5 через замкнутый контакт датчика  $SP_n$ , остальные реле сигнализации отключены. Переводом переключателя СА1 в нормальное предупредительное положение «Н» включают реле блокировки КВ и реле выдержки времени КТ2, исключающие ложное срабатывание реле защиты КV1...КV6 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 рисунке 13.2 эти элементы не показаны). По мере достижения указанными параметра-

ми заданных значений срабатывают датчики  $SL_B$ ,  $SL_H$ ,  $SP_G$ ,  $SP_B$  и включают соответственно реле  $KV_6$ ,  $KV_3$  и  $KV_2$ . Для розжига точки от запальников переключатель  $SA1$  переводят в положение  $П$  — «Пуск», при котором срабатывают реле выдержки времени  $KT1$  по цепи  $K$  (из схемы управления дымососом),  $KV_2 : 1$ ,  $KV_3 : 1$  и  $KV_6 : 1$ ; электромагнит  $YA1$  клапана топлива на запальнике и электроискровой зажигатель  $З$ . Одновременно отключаются реле  $KB$  и  $KT2$ , но реле  $KB$  вновь включается замыкающими контактами  $KT1 : 3$ .

Далее переключатель  $SA1$  переводят в положение  $B$  — «Включено» и вручную полностью открывают электромагнит  $YA2$  отсекающего клапана (рис. 13.1) на топливопроводе. При этом замыкаются контакты  $SQ$  (рис. 13.2). 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  $SP_B$  датчика давления, и реле  $KV_2$  отключается. Затем отключаются другие элементы схемы в последовательности, показанной на диаграмме рисунка 13.2, б.

Регуляторы в системе «Кристалл» выполнены по функционально-структурной схеме, показанной на рисунке 13.3, а.

Регулятор состоит из датчика  $D$ , задатчика  $Зд$ , электронного усилителя  $ЭУ$ , электрогидравлического реле  $ЭГР$ , пневматического устройства обратной связи  $УОС$  и гидравлического исполнительного механизма  $ГИМ$ . Регулятор позволяет управлять параметрами по П-, И-, ПИ-законам регулирования. Усилитель  $ЭУ$  воспринимает сигнал разбаланса датчиков и задатчика. Сигнал разбаланса после усиления поступает на электрогидравлическое реле  $ЭГР$ , управляющее электрогидравлическим исполнительным механизмом  $ГИМ$ .

В исполнительном механизме энергоносителем является давление воды. При отсутствии рассогласования обмотки электромагнитов  $YA1$  и  $YA2$  электрогидравлического реле (рис. 13.3, б) отключены от выходных напряжений электронного усилителя. Связанные с их сердечниками клапаны опущены и перекрывают отверстия  $C$  для слива воды. Поршень  $1$  неподвижен, так как давления с обеих его сторон одинаковы.

При появлении сигнала рассогласования срабатывает один из электромагнитов  $ЭГР$ , например  $YA1$ , поднимая клапан. Нижняя полость исполнительного механизма соединяется со сливом  $C$ , и поршень начинает перемещаться вниз под действием давления воды в верхней полости, воздействуя на регулирующие органы  $PO$ . Одновременно перемещаются рычаги обратной связи, сжимая сильфон  $5$  и растягивая сильфон  $7$ . Вследствие этого давление внутри полости  $2$  мембранной коробки понижается, а снаружи в

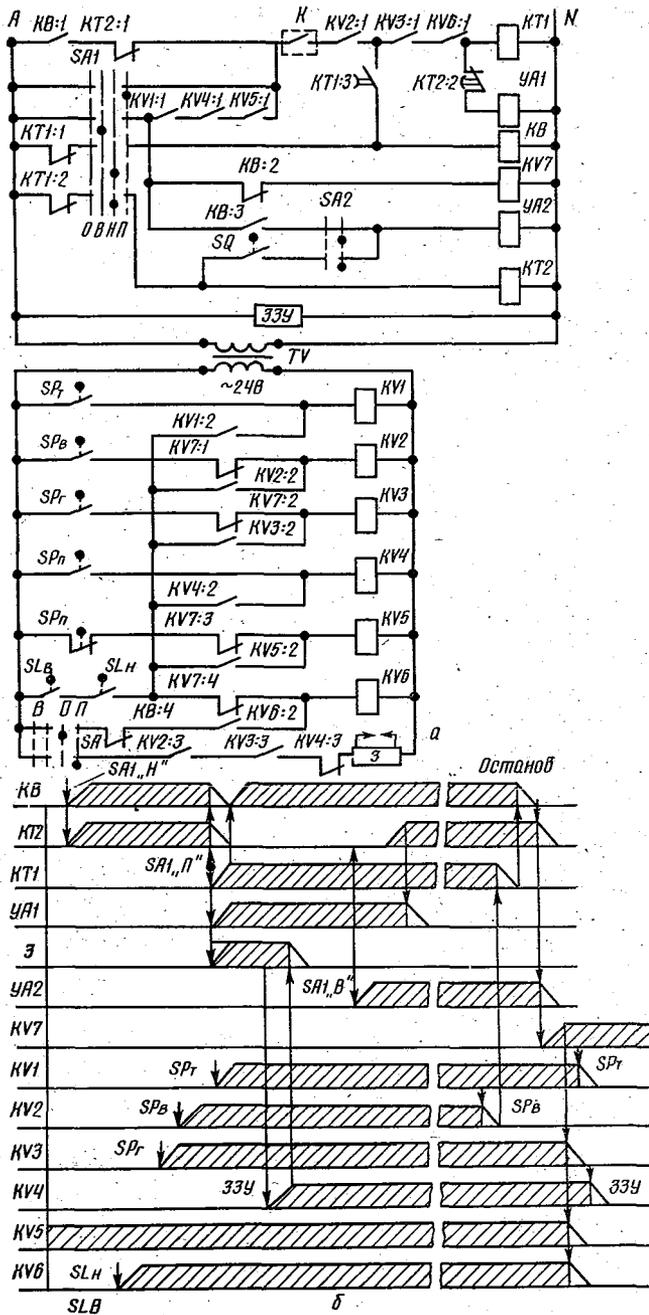


Рис. 13.2. Принципиальная электрическая схема управления системой «Кристалл» и ее защиты (а) и временная диаграмма ее работы (б).



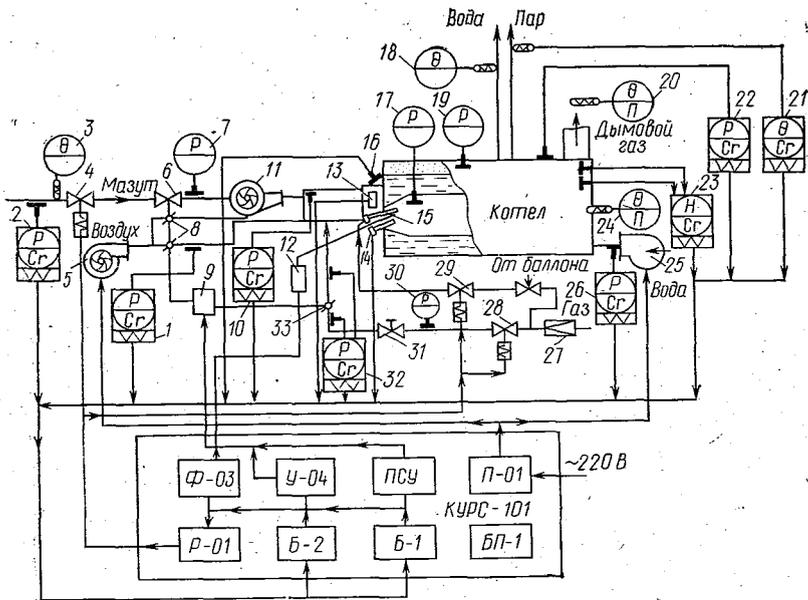


Рис. 13.4. Функциональная схема автоматизации котла типа АВ тепличного комбината.

журного персонала. Система «Курс-101» работает в комплекте с общепромышленной контрольно-измерительной и регулирующей аппаратурой: сигнализаторами давления вторичного 1 и первичного 10 воздуха, мазута 2, пара 22, воды 26, газа 32 до и после регулирующей заслонки 33, сигнализатором 23 уровня воды, датчиками температуры мазута 3, воды 18, дымовых газов 20, газов в топке 24, сигнализатором 21 температуры пара, приборами контроля давления мазута 7, газов 17 в топке, пара 19, газа 30. Уровень воды в котле поддерживается при помощи электронасоса 25.

Газ подается в котел через регулятор давления 27 газа, отсечной клапан 28 и вентиль 31. При розжиге топки газ берется от газового баллона через отсечной клапан 29 и запальник 15. Воздух в топку подается вентиляторами первичного 11 и вторичного 5 воздуха. Резервное жидкое топливо (мазут) распыляют ротационной форсункой, имеющей общий электропривод с вентилятором первичного воздуха.

На трубопроводе жидкого топлива установлены отсечной 4 и регулирующий 6 клапаны.

Газ воспламеняется в запальнике 15 от искры, получаемой на электродах от трансформатора зажигания 12. Наличие пламени в запальнике контролируется ионизационным датчиком 14, а в основной горелке — фотодатчиком 13. Плотность закрытия топки контролируется конечным выключателем 16.

Процессом горения в топке управляют при помощи исполнительного механизма 9, действующего на положение газовой заслонки 33, или клапана 6 жидкого топлива и дроссельных заслонок 8, изменяющих расход первичного и вторичного воздуха.

Управляющее устройство «Курс-101» состоит из отдельных блоков и панелей. Поступающая от датчиков информация обрабатывается в блоках В-1 и В-2 и направляется на панель сигнализации и управления ПСУ, блок управления У-04, блок реле Р-01 и блок управления факелом Ф-03.

Переключатели вида топлива, режима и резервного оборудования размещены в блоке переключателей ВП-1. Электроснабжение всех цепей управления осуществляется от блока питания П-01.

Пускают котел кнопкой «Пуск», установленной на панели «Курс-101», после заполнения котла водой и включения вентилятора, подающего воздух в топку. При этом исполнительный механизм 9 перемещает органы, регулирующие поступление топлива и воздуха в положение 100%-ного открытия, начинается вентиляция топки и газоходов котла, продолжающаяся 1...2 мин. По истечении этого времени от блока управления У-04 поступает сигнал на исполнительный механизм 9, осуществляющий перевод воздушной заслонки и регулирующего органа топлива в положение 20%-ного открытия. Блок реле Р-01 выдает сигнал на открытие нормально закрытого отсечного клапана 29 и закрытия продувочного клапана (на рис. 13.4 он не показан). Одновременно от блока Ф-03 включается трансформатор зажигания 12. При появлении пламени в запальнике 15 от ионизационного датчика 14 поступает в блоки В-1 и Р-01 сигнал на открытие отсечного клапана 28; подводящего газ к горелке. При успешном розжиге горелки сигнал от фотодатчика 13 поступает через блоки В-2 и У-04 на исполнительный механизм 9, который через 20...25 с перемещает регулирующие органы в положение 40%-ной нагрузки. Запальник 15 отключается через 50...70 с. После этого котел переводят переключателем, установленным на панели «Курс-101», в режим автоматического регулирования параметров котла. На этом пуск котла заканчивается.

Система автоматического регулирования обеспечивает перемещение регулирующих органов в положения 40- и 100%-ной нагрузки и автоматическое отключение подачи воздуха и топлива. При максимальных значениях температуры воды или давления пара исполнительный механизм переходит от 100%-ной в положение 40%-ной нагрузки, а при достижении максимальных предельно допустимых значений система при помощи отсечного клапана 28 или 4 прекращает подачу топлива. При этом исполнительный механизм занимает положение 20%-ной нагрузки, пламя в топке погасает, и начинается послеостановочная вентиляция котла, которая автоматически отключается через 30...60 с. При снижении регулируемого параметра до предельного минимального значения котел автоматически включается в соответствии с вышеизложенной последовательностью пуска.

Останавливают котел дистанционно кнопкой «Стоп» с панели «Курс-101», последовательность нормального останова аналогична описанному выше автоматическому отключению котла. Аварийное автоматическое отключение котла происходит при максимальном и минимальном предельных уровнях воды в котле, повышении температуры воды выше 97 °С или давления пара до 0,21 МПа (котел АПВ-2), понижении давления газа перед клапанами-отсекателями и перед горелкой ниже 1 кПа или повышении его перед регулирующей заслонкой выше 35 кПа, понижении давления первичного воздуха ниже 1,1 кПа или вторичного — ниже 0,15 кПа. При аварийном отключении повторный пуск котла возможен только после устранения причины останова.

Система имеет устройства световой сигнализации положения регулирующих органов, контроля всех параметров в нормальном и аварийном режиме, памяти первопричин аварии и общей звуковой аварийно-предупредительной сигнализации.

#### 13.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ

Теплогенераторы используют для воздушного отопления и вентиляции животноводческих и птицеводческих ферм, гаражей и ремонтных мастерских, а также для сушки и активного вентилирования подогретым воздухом различной сельскохозяйственной продукции. В качестве источника энергии для теплогенераторов служит жидкое и газовое топливо, реже твердое топливо.

Наибольшее применение нашли теплогенераторы ТГ-75, ТГ-1, ТГ-2,5, ТГ-150, ТГ-350 и ТГ-500. Они обеспечивают подогрев от 5,3 до 25 тыс. м<sup>3</sup>/ч воздуха до 60 °С, расходуя от 9 до 50 кг/ч жидкого топлива.

Технологическая и принципиальная электрическая схемы теплогенератора ТГ показаны на рисунке 13.5.

Теплогенератор состоит из корпуса 10, к которому присоединены или встроены в него вентилятор 1 подогреваемого воздуха, вентилятор 2 топочного блока, горелка 5 с диффузорными распылителями топлива, камера газификации 7, топочная камера 8, теплообменник-воздухонагреватель 9, дымовая труба 11. Топливо подается в топку по топливопроводу 3 и распыляется воздухом от вентилятора 2. Открытие и закрытие топливопровода осуществляет электромагнитный клапан УА, зажигают топку при помощи электродов 6, для контроля наличия пламени предназначен фоторезистор 4.

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 А (рис. 13.5, б и в).

Когда температура в помещении в результате вентиляции снижается, замыкаются контакты полупроводникового терморегулятора Р и получают питание программное реле времени КТ и реле

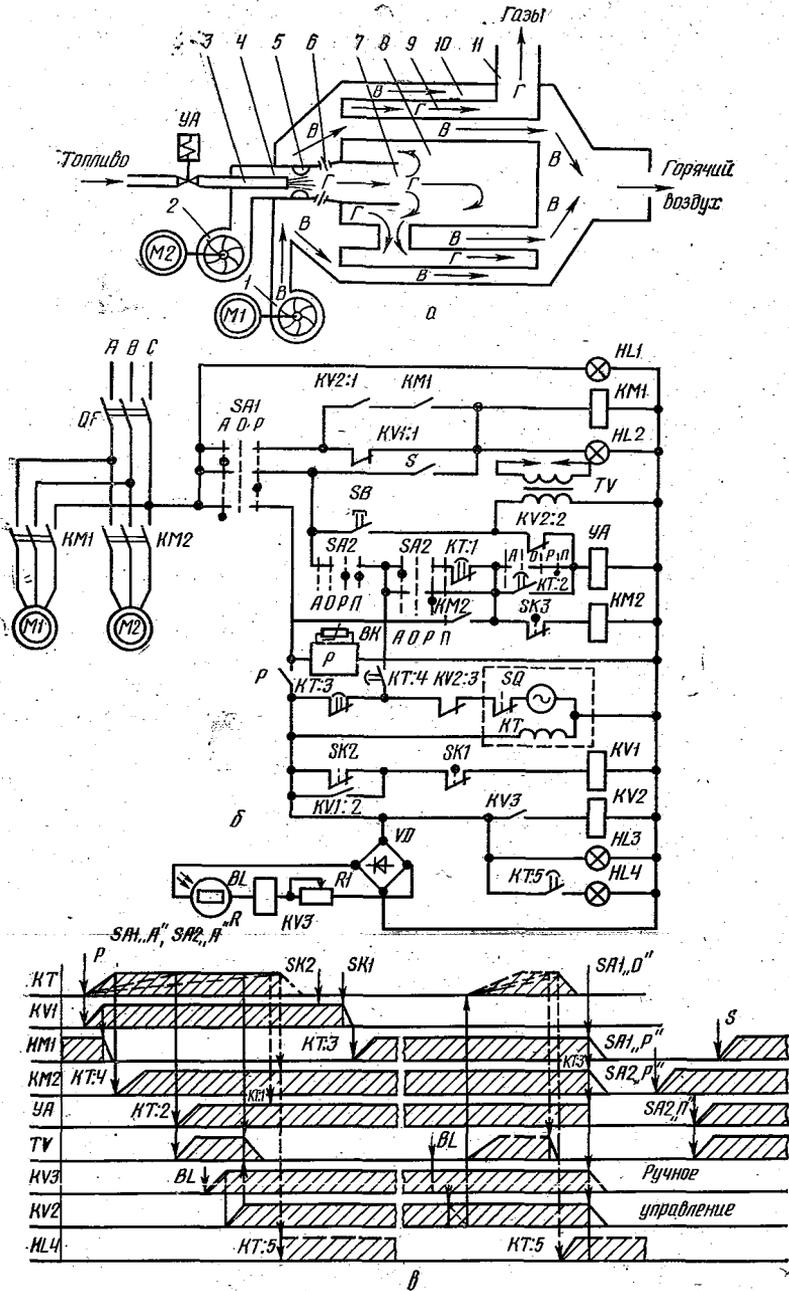


Рис. 13.5. Технологическая (а) и принципиальная электрическая (б) схемы и временная диаграмма работы (в) теплогенератора типа ТГ.

*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 *SK3*). 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 *I*. 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 *HЛA*, а размыкающим контактом *KT:3* отключается вентилятор *M2* топки (на рисунке 13.5, в показано пунктиром). 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. Когда температура теплогенератора превысит допустимую, контакты датчика *SK3* разомкнутся и отключат теплогенератор. Для нормального останова теплогенератора переключатель *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 *П*. Включается электромагнитный клапан *УА*, 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*.

### 13.5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОДОГРЕВА ВОДЫ И ВОЗДУХА И ПОЛУЧЕНИЯ ПАРА

Электронагревательные установки широко применяются в сельскохозяйственном производстве благодаря их достоинствам, основные из которых следующие: постоянная готовность к действию и исключение использования огневых котельных со специальными помещениями для котлов и хранилищ топлива, транспортировки топлива и золы; возможность полной автоматизации процессов нагрева; улучшение санитарно-гигиенических условий обслуживающего персонала; облегчение в распределении теплоты по большим территориям; уменьшение себестоимости тепловой энергии и пожарной опасности.

Для подогрева воды используют установки как прямого нагрева путем пропускания тока через воду, так и косвенного нагрева при помощи тепловых электронагревательных элементов (ТЭНов), а также установок индукционного и диэлектрического нагрева, хотя последние в сельском хозяйстве используются редко.

Достоинство прямого электродного нагрева заключается в простоте устройства, большой скорости нагрева и высоком КПД.

В сельском хозяйстве для подогрева воды для поения животных и технологических нужд используют элементные электроводонагреватели низкого давления — термосы типа УАП (ВЭТ) с вместимостью резервуара от 50 до 1000 л, проточные электроводонагреватели типа ЭПВ производительностью от 80 до 200 л воды в 1 ч с температурой нагрева до 95 °С, ВЭП-600 с производительностью 600 л теплой воды в час и другие.

Для получения горячей воды и пара применяются электродные котлы типов: КЭВ (котел электродный водогрейный), КЭВЗ (с замкнутым контуром) мощностью от 10 до 6000 кВт, ЭПЗ (электродный проточный с замкнутым контуром), КЭПР (котел электродный паровой регулируемый) мощностью 160, 250, 2500 и 5000 кВт, ЭКП (электродный котел паровой) мощностью 100, 300 кВт и выше и другие.

Для электроподогрева воздуха в животноводстве до 5 °С используют стационарные электрокалориферные установки типа СФОА с мощностью от 5 до 100 кВт.

Практически для всех водогрейных электроустановок динамические свойства описываются передаточной функцией аperiodического звена второго порядка.

Автоматическое управление электроводонагревателями осуществляется по температуре, а электропаровыми котлами — еще и по давлению пара. Схемы управления рассмотрим на примерах автоматизации элементных и электродных водогрейных и паровых установок, так как они не имеют отличий от других типов электронагревательных установок. Прежде чем включить в сеть элементные водонагреватели, их обязательно следует заполнить водой, иначе перегорят нагревательные элементы. Электродные водона-

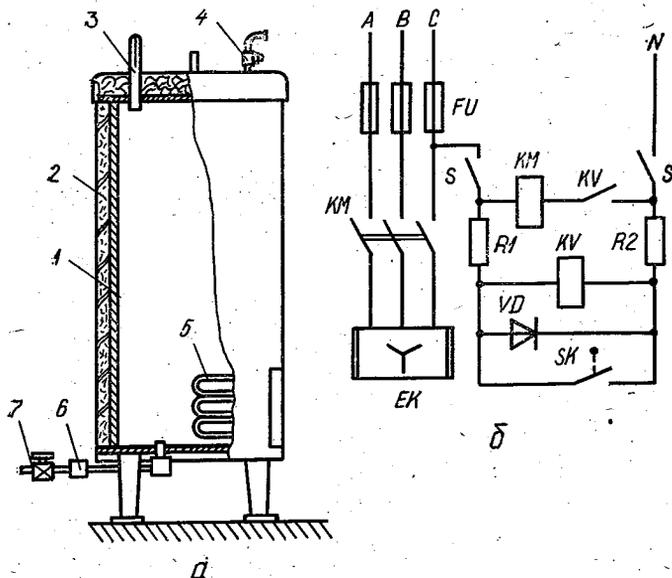


Рис. 13.6. Устройство (а) водонагревателя типа УАП и принципиальная электрическая схема управления им (б).

греватели не имеют этой особенности. На рисунке 13.6 приведено устройство водонагревателя типа УАП, выпускаемого взамен водонагревателей ВЭТ, и электрическая схема управления им. Он предназначен для нагрева воды до  $90^{\circ}\text{C}$  и выполнен в виде стального сварного резервуара 1 с патрубком 4 для горячей воды. Резервуар теплоизолирован стеклянной ватой 2 и закрыт внешним кожухом. Благодаря теплоизоляции температура воды снижается очень медленно. В подводном водопроводе установлены обратный клапан 6 и запорный вентиль 7. Водонагреватель подключают к водопроводу с избыточным давлением не менее 50 кПа, под действием которого горячая вода вытесняется через патрубок 4. Автоматическое управление элементными нагревателями 5 (ТЭНы) осуществляется при помощи контактного термометра 3; контакты SK которого при высокой температуре воды шунтируют обмотку реле KV. Реле KV отключает обмотку магнитного пускателя KM, а последний — электронагреватели EK. Повторное включение электронагревателя происходит при снижении температуры воды на  $5^{\circ}$ . Диод VD поставлен для облегчения работы контактов SK. У более мощных водонагревателей типа УАП ТЭНы устанавливают в двух зонах резервуара — в нижней и верхней. Каждой группой ТЭНов управляет свой термодатчик.

На рисунке 13.7 приведены устройство и схема управления проточного водонагревателя ЭПВ-2А.

Проточные водонагреватели обеспечивают горячей водой сразу после включения. Они имеют плохую теплоизоляцию и малую

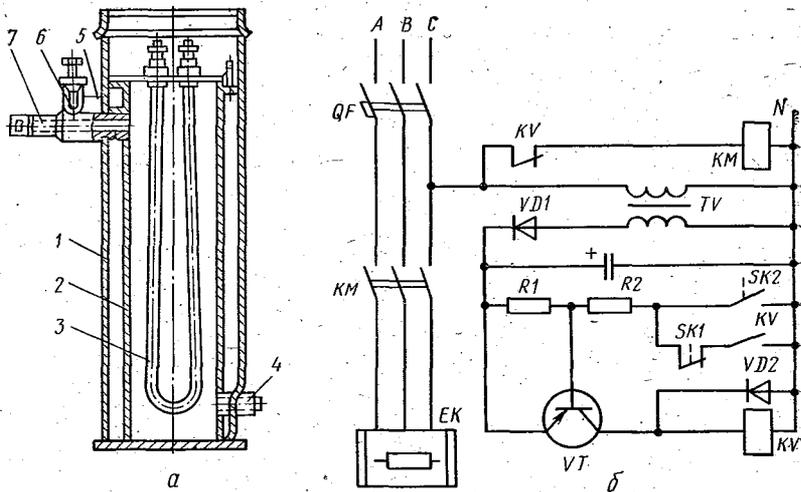


Рис. 13.7. Устройство проточного водонагревателя ЭПВ-2А (а) и принципиальная электрическая схема управления им (б).

вместимость, следовательно, не способны сохранять теплоту воды. Вода через водонагреватель должна проходить непрерывным потоком.

Холодная вода подается через штуцер 4, а горячая уходит через штуцер 7 с предохранительным клапаном 6. Контактный термодатчик закрепляется в штуцере 5. В корпусе водонагревателя, состоящем из двух металлических цилиндрических стенок 1 и 2, установлена группа ТЭНов 3 мощностью 12 кВт, подключенных к трехфазной сети.

Схема управления осуществляет двухпозиционное релейное регулирование температуры воды при помощи контактов SK1 и SK2 термодатчика. При повышении температуры воды до заданного верхнего значения замыкаются контакты SK2, открывается триод VT и включается реле KV, которое своими контактами отключает при помощи магнитного пускателя KM электронагреватель EK. При снижении температуры воды вначале размыкаются контакты SK2, а затем при нижнем значении температуры размыкаются контакты SK1, триод VT закрывается, реле KV обесточивается и своими контактами включает магнитный пускатель электронагревателей EK.

Схемой автоматизации водоподогревателя ВЭП-600 предусматривается поддержание заданной температуры воды в автопоилках коровника до 200 коров (рис. 13.8). Водонагреватель состоит из проточного нагревательного бака 1 с предохранительным клапаном 2, термометром 3, термодатчиком SK1 и нагревательного блока 7. Циркуляция воды осуществляется при помощи насоса 6, который направляет теплую воду ( $\approx 20^\circ\text{C}$ ) из бака 1 к автопоилкам на ферму КРС. Неиспользованная в автопоилках вода возвраща-

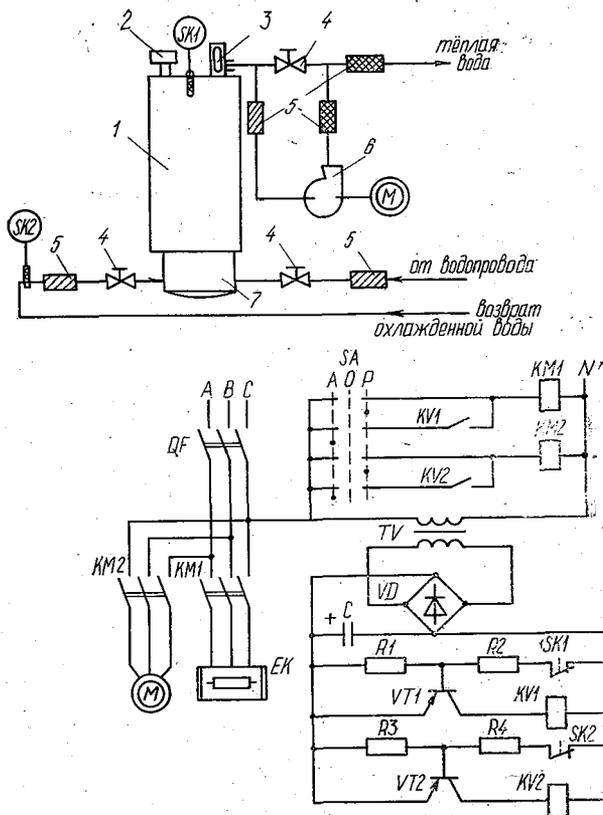


Рис. 13.8. Технологическая (а) и принципиальная электрическая (б) схемы управления электронагревателем ВЭП-600.

ется в бак 1. Ее температура контролируется термодатчиком SK2, устанавливаемым в самой холодной зоне системы поения. Электрооборудование изолируется от водопроводов изоляционными вставками-трубками 5. Перекрытие водопотоков осуществляется запорными вентилями 4.

Схема управления работает аналогично схеме ЭПВ-2А. При малой температуре контакты SK1 и SK2 термодатчиков замкнуты, реле KV1 и KV2, а также магнитные пускатели KМ1 и KМ2 включены. При повышении температуры воды в баке размыкается контакт SK1, триод VT1 закрывается, реле KV1 отключается и отключает своим контактом магнитный пускатель KМ1 электронагревателя EK. Таким же образом действует на отключение пускателя KМ2 насоса термореле SK2. При снижении температуры возвратной воды контакты SK2 замыкаются, триод VT2 открывается, срабатывает реле KV2 и включает магнитный пускатель KМ2

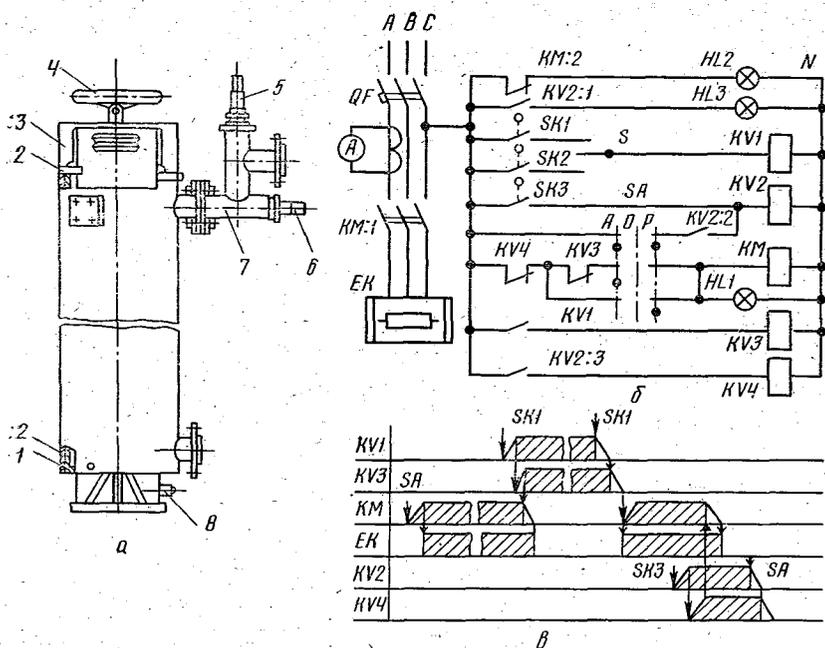


Рис. 13.9. Устройство котла КЭВЗ (а), принципиальная электрическая схема управления им (б) и временная диаграмма его работы (в).

электронасоса, благодаря этому охлажденная вода в автопилках заменяется на теплую из бака. Ручное включение и отключение установки ВЭП осуществляется переводом переключателя SA соответственно в положение P и O.

**Автоматическое управление электродными водогрейными и паровыми котлами** осуществляется по температуре, давлению и уровню воды в котле. Электродный метод нагрева воды и получения пара обеспечивает простоту конструкции и глубокое регулирование мощности от 10 до 100%. Недостатками следует назвать зависимость мощности от температуры и засоленности воды, а также отложение солей на электродах. Эти котлы используют в системах горячего водоснабжения в центральных и местных электростанциях. Для уменьшения накипеобразования воду предварительно смягчают или одна и та же вода используется как теплоноситель между котлом и теплообменным аппаратом (бойлером).

На рисунке 13.9 показаны внешний вид электродного водогрейного котла КЭВЗ и схема управления им. Котел имеет номинальную мощность от 25 до 1000 кВт.

Корпус 1 котла цилиндрической формы с двойными стенками, между которыми расположена теплоизоляция 2 из стекловолкна. Подвод и отвод воды происходит через нижний 8 и верхний 7 патрубки. В верхнем патрубке установлены электроконтактные

термометры 5 и 6. Корпус закрывается крышкой 3, на которой закреплен кожух, закрывающий электрические выводы электронагревателей.

Электронагревательные трехфазные электроды выполнены из трех пар стальных коаксиальных труб. Между трубами вставлены три подвижных изоляционных стеклотекстолитовых цилиндра. Изменяя при помощи маховика 4 их положение, регулируют мощность котла. Котел может работать в режиме нагрева воды или в режиме отопления.

В режиме нагрева воды реле *KV1* тумблером *S* подключают к цепи датчика *SK1* температуры воды, в режиме отопления — к цепи датчика *SK2* температуры воздуха в помещении (рис. 13.9, б). Контакты термодатчика *SK3* замыкаются при достижении температуры воды максимально допустимого значения. Автоматическое *A* или ручное *P* управление устанавливают переключателем *SA*.

Схема управления в автоматическом режиме работает в соответствии с временной диаграммой (рис. 13.9, в). Электродный нагреватель включается магнитным пускателем при повороте переключателя в положение *A*. Нагрев воды в котле продолжается до заданной температуры, при которой контакты термодатчика *SK1* включают слаботочное реле *KV1*, а реле *KV1* включает реле *KV3*, отключающее магнитный пускатель электронагревателя *ЕК*. Повторное включение происходит при помощи реле *KV1*, *KV3* и пускателя *КМ* при размыкании контактов *SK1* вследствие снижения температуры воды. Затем цикл повторяется. При недопустимом повышении температуры замыкаются контакты *SK3* и при помощи реле *KV2* и *KV4* выполняют аварийное отключение электронагревателя. После этого отключенный котел может включить только обслуживающий персонал. Сигнальные лампы *HL1*, *HL2* и *HL3* загораются соответственно при включении, нормальном и аварийном отключении котла.

Саморегулируемый электродный паровой котел типа ЭКП работает следующим образом (рис. 13.10). Электроды, выполненные в виде пакета плоских пластин 1, размещены в центральной каме-

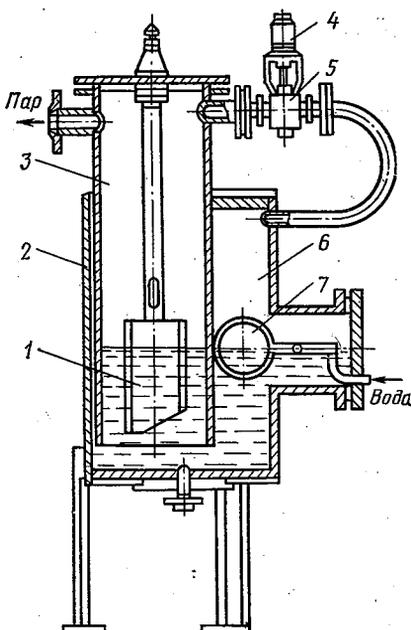


Рис. 13.10. Устройство саморегулируемого электродного парового котла.

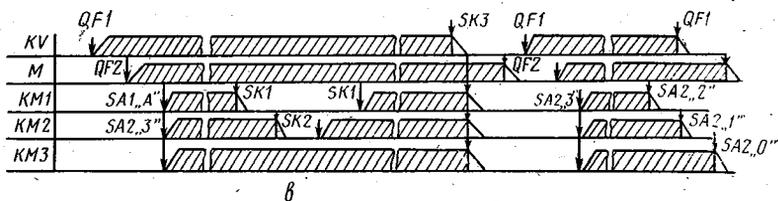
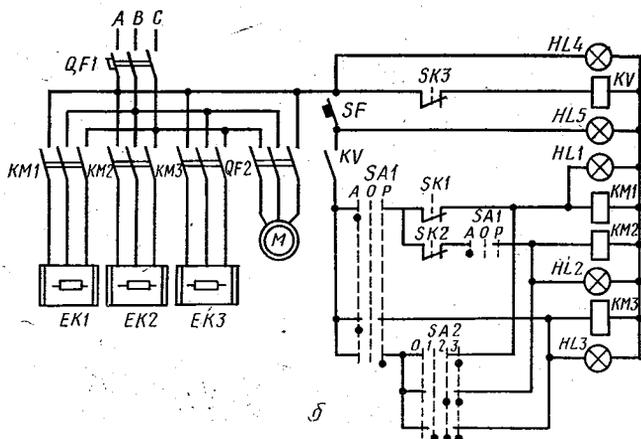
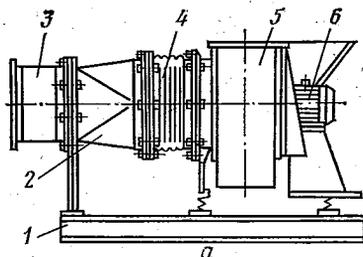


Рис. 13.11. Внешний вид calorиферной установки типа СФОА (а), принципиальная электрическая схема управления ею (б) и временная диаграмма работы (в).

ре 3. Центральная камера свободно соединена в нижней части корпуса 2 и через вентиль 5 в верхней части с внешней камерой 6. Вентиль 5 открывается и закрывается при помощи регулятора давления 4 прямого действия. Уровень воды в камере поддерживается поплавковым регулятором 7 прямого действия. Под действием электрического тока, протекающего через воду, образуется пар, который скапливается в верхней части корпуса.

Если разбор пара меньше его производства, то повышается давление, под действием которого регулятор давления 4 закрывает вентиль 5. Вследствие этого вода из центральной камеры вытесняется во внешнюю, электроды оголяются, и уменьшается паропроизводительность котла. Этот принцип обеспечивает автоматическое

поддержание давления не только при изменении разбора пара, но и при изменении электрической проводимости воды.

Автоматизированные электрокалориферные установки типа СФОА мощностью от 5 до 25 кВт используют в сельском хозяйстве одновременно для отопления и вентиляции животноводческих помещений (рис. 13.11).

Электронагревательные элементы выполнены из нихромовой или фехральной проволоки, а в мощных калориферах — из ленты. Поверхность нагревательных элементов нагревается до  $200^{\circ}\text{C}$  при скорости движения воздуха 10...15 м/с. Электрокалорифер 3 совместно с переходным патрубком 2, мягкой вставкой 4, вентилятором 5 и двигателем 6 закреплены на раме 1. Электронагревательные элементы объединены в две или три трехфазные секции, при включении и отключении которых в две или три ступени регулируют мощность. Автоматическое или ручное управление происходит в соответствии с временной диаграммой (рис. 13.11, е) в зависимости от положения А или Р переключателя SA1. Переключателем SA2 выбирают число одновременно работающих ступеней электронагревателя. Автоматом QF1 подают питание на установку, а автоматом QF2 включается вентилятор М. После включения вентилятора переключателем SA1 включают все три секции EK1...EK3 калорифера. Когда температура в помещении достигает заданного значения, отключается термодатчиком SK1 первая секция EK1. Если температура продолжает повышаться, то термодатчик SK2 отключает вторую секцию EK2. Третья секция остается в работе. При снижении температуры термодатчики SK2 и SK1 включают сначала секцию EK2, а затем EK1. Термодатчик SK3 защищает электрокалориферную установку от перегрева. Если температура на поверхности оребрения нагревательных элементов превысит заданное значение, то контакты SK3 разомкнутся в цепи реле KV и реле KV снимет питание с цепей управления магнитными пускателями. Обратное включение произойдет автоматически при замыкании контактов SK3 от снижения температуры. Ручное управление секции осуществляют при помощи переключателя SA2 в соответствии с правой частью временной диаграммы рисунка 13.11, е. Заводами осваивается новая серия калориферов типа «Электротерм» с тиристорным устройством регулирования их мощности.

### 13.6. АВТОМАТИЗАЦИЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Охлаждение сельскохозяйственных продуктов и хранение их при низкой температуре позволяют сохранить их естественные качества и витамины в них, замедляют жизненные процессы и уменьшают потери, увеличивают сроки сохранности ценных питательных свойств молока, мяса, рыбы, овощей, фруктов и т. п. Продукты хранят при температурах от  $-2$  до  $+2^{\circ}\text{C}$  (в зависимости от вида продукта) при относительной влажности 80...95%.

В сельском хозяйстве холод получают как безмашинным способом (ледники, льдосоляное охлаждение), так и при помощи

специальных холодильных машин. При машинном охлаждении теплота от охлаждаемой среды отводится во внешнее окружающее пространство при помощи низкокипящих холодильных агентов (фреон или аммиак). Температура кипения фреона различных марок равна  $-30...-40^{\circ}\text{C}$ , а аммиака — около  $-33,4^{\circ}\text{C}$ .

На животноводческих молочных фермах используют фреоновые холодильные установки типа МХУ производительностью холода на 9 и 14 кВт/ч. Они обеспечивают охлаждение 2 т молока за 5 ч с 36 до  $7^{\circ}\text{C}$ . Взамен МХУ освоено производство водоохлаждающих установок типа УВ-10 и АВ-30 соответственно производительностью холода 41 и 35 кВт/ч. В фруктохранилищах используются фреоновые типа ХМФ и ФХ и аммиачные типа ХМАВ и ХМАУ холодильные машины холодопроизводительностью от 18 до 100 кВт/ч.

Для потребителей малой холодопроизводительности промышленность выпускает электрические холодильные шкафы и переносные холодильники, работающие на основе термоэлектрического охлаждения (эффекта Пельтье). Сущность его заключается в том, что при пропускании тока через разнородные полупроводники в месте их соединения снижается температура.

Поскольку принципы действия холодильных установок и их схемы автоматизации аналогичны, то рассмотрим их на примере автоматизации наиболее ходовой водоохлаждающей установки типа УВ-10, технологическая и электрическая схемы которой показаны на рисунке 13.12.

Установка УВ-10 состоит из компрессора 4 с электроприводом М1, воздушного конденсатора 2 с приводом вентилятора М2, ресивера 1, теплообменника 7 со встроенным в него осушителем-фильтром 6, терморегулирующего вентиля 8, оросительного змеевикового испарителя 12, размещенного в баке 9, холодоносителя с оросителем 10, центробежного насоса 13 для перекачки холодоносителя, фильтров 5, 6 и 11 и вентиля 3.

Установка работает по двум замкнутым контурам: по холодильному агенту и по холодоносителю (воде).

Первый контур работает следующим образом. Компрессор 4 отсасывает пары хладагента из испарителя 12, сжимает их и нагнетает в конденсатор 2, где хладагент охлаждается и конденсируется за счет теплообмена с воздухом, прогоняемым вентилятором М2. Жидкий хладагент скапливается в ресивере 1, а затем проходит через фильтр-осушитель 6 и теплообменник 7. В фильтре 6 он освобождается от влаги и грязи, а в теплообменнике 7 дополнительно охлаждается за счет регенеративного теплообмена с парами хладагента, идущего из испарителя.

Охлажденный хладагент поступает в терморегулирующий вентиль 8, в котором снижается его давление, а затем в виде парожидкостной смеси поступает в испаритель 12. В испарителе эта смесь превращается в пар, отбирая теплоту от водяного холодоносителя и вынося ее в конденсатор. В конденсаторе теплота отводится в окружающую среду при помощи вентилятора.

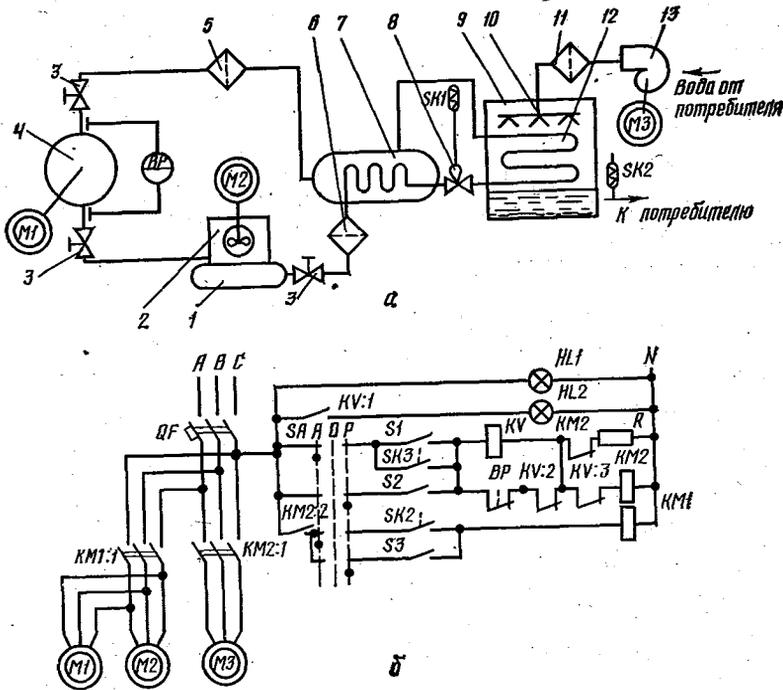


Рис. 13.12. Технологическая (а) и принципиальная электрическая (б) схемы управления водоохлаждающей установкой.

Циркуляция холодоносителя осуществляется насосом 13 через очистительный фильтр 11. Холодоноситель в распыленном виде омывает испаритель и охлаждается, а затем уходит к потребителям холода. Отдав холод соответствующим холодообменникам, холодоноситель снова возвращается в бак 9. Оптимальная работа холодильной установки наблюдается тогда, когда температура паров на выходе из испарителя 12 на 15...20° выше температуры кипения холодильного агента. Для поддержания этой разницы температур предназначен терморегулирующий вентиль 8 с датчиком температуры SK1 прямого действия.

Температура холодоносителя контролируется датчиком температуры SK2, который при 3°С включает электропривод компрессора M1 и вентилятора M2 и отключает его при 0,5°С при помощи магнитного пускателя KM1. Электропривод M2 вентилятора включается одновременно с компрессором (рис. 13.12, б). Защита от повышения давления нагнетания выше 1,5 МПа и понижения давления всасывания ниже 0,04 МПа осуществляется датчиком разности давления BP, который размыкает свои контакты и отключает магнитным пускателем KM2 электропривод M3 компрессора.

Схема управления работает в ручном и автоматическом режимах. В ручном режиме переключатель *SA* ставят в положение *P*. Включают и отключают электродвигатели *M1*, *M2* и *M3* тумблерами *S2* и *S3*.

В автоматическом режиме переключатель *SA* ставят в положение *A* и включают тумблер *S1*. Параллельно контактам тумблера *S1* подключены контакты датчика *SK3* температуры, установленного в охлаждаемом объекте и включающего холодильную установку при повышении температуры. При замыкании *SK3* срабатывает магнитный пускатель *KM2* и включает насос, а затем блок-контактами *KM2:2* — магнитный пускатель *KM1* электроприводов компрессора и вентилятора. Магнитный пускатель *KM1* автоматически включается и отключается от датчика температуры *SK2*, а магнитный пускатель *KM2* — от датчика *SK3*.

Защита установки работает следующим образом. При размыкании контактов датчика разности давлений *BP*, а также контактов тепловых реле магнитных пускателей *KM1* и *KM2* (они включаются последовательно с контактами *BP*, на схеме не показаны) реле *KV* расшунтируется и срабатывает. Оно своими контактами включает сигнальную лампу *HL2*, отключает магнитный пускатель *KM2* насоса, а затем блок-контактами *KM2* отключается магнитный пускатель *KM1*. После этого схему в исходное состояние можно привести только вручную путем отключения и включения тумблера *S1*.

Бытовые холодильники имеют более простые технологические и электрические схемы (рис. 13.13).

В компрессор *5* из испарителя *2* холодильной камеры поступает газообразный хладагент. Из компрессора парообразный хладагент с повышенным давлением и температурой направляется в систему трубопроводов *1* внешнего охлаждения. При охлаждении он превращается в жидкость, которая, пройдя осушительный фильтр *4* и капиллярную трубку-дрессель *3*, снова попадает в ис-

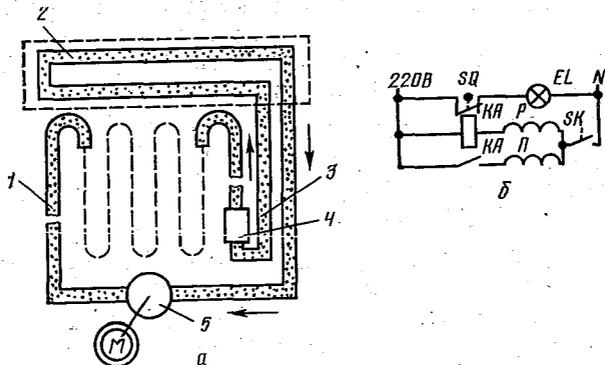


Рис. 13.13. Технологическая (а) и электрическая (б) схемы бытовых холодильников.

паритель 2. В испарителе жидкий хладагент испаряется, забирая теплоту.

Включение и отключение электродвигателя *M* компрессора осуществляет термодатчик *SK*. При повышении температуры в холодильной камере замыкаются контакты *SK*, которые включают рабочую *P* и пусковую *П* обмотки электродвигателя *M*. Пусковая обмотка токовым реле *КА* подключается только в момент пуска, когда через рабочую обмотку проходит повышенный пусковой ток. При открывании двери холодильника дверным конечным выключателем *SQ* включается осветительная лампа *EL*, установленная внутри холодильника.

### 13.7. АВТОМАТИЗАЦИЯ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Газоснабжение сельских энергетических установок осуществляется от газораспределительных пунктов через систему распределительных газопроводов. Обычно давление газа в подводящем газопроводе выше, чем требуется потребителю. Для контроля и регулирования давления газа на распределительных газопроводах в котельных устанавливают манометры, регуляторы давления газа и предохранительные клапаны. От этих элементов зависит бесперебойное нормальное газоснабжение котельной и защита топков от взрыва в случае неустойчивого сгорания газа из-за резких колебаний его давления или кратковременных перерывов подачи газа.

Регуляторы давления одновременно снижают давление с высокого на низкое и стабилизируют его.

Промышленность выпускает сетевые регуляторы давления типа РДС, универсальные регуляторы давления газа для котельных типа РДУК и другие. Принцип их работы основан на перемещении клапана, установленного на газопроводе.

Рассмотрим принцип управления давлением газа при помощи регулятора РДУК. Схема установки регулятора на газовой трубе 1 показана на рисунке 13.14, а. Схема управления состоит из регулятора РДУК 13, управляющего регулятора 4, так называемого «пилота» и соединительных газопроводов 2, 3, 7, 10, 11, обвязывающих все элементы.

Для того чтобы открыть регулирующий клапан 9, давление газа под мембраной 12, значение которого регулируется управляющим «пилотом» 4, должно быть больше давления газа над мембраной.

Регулятор управления («пилот») выполняет функции датчика давления. Он состоит из регулирующего клапана 5, мембраны 6 и пружины 8, которой устанавливают заданное давление. Степень сжатия пружины 8 изменяют специальной регулирующей гайкой, не показанной на рисунке.

При уменьшении давления газа на выходе регулятора снижается его давление над мембранами 6 и 12, вследствие чего кла-

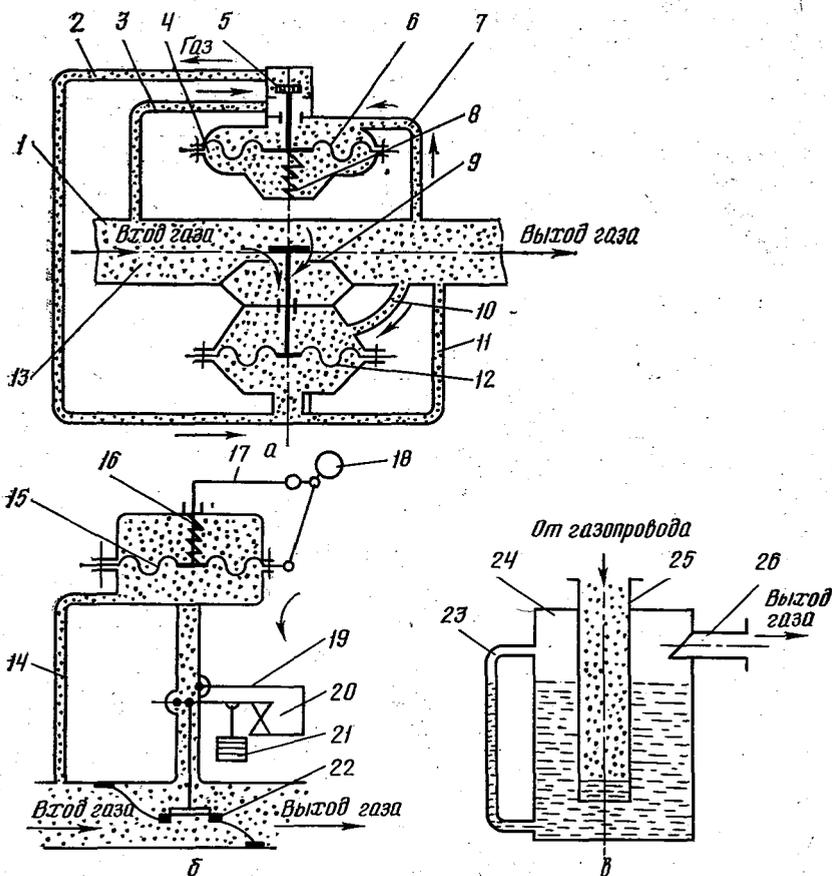


Рис. 13.14. Регулятор давления газа типа РДУК (а), механический (б) и пневматический (в) запорные клапаны.

пан 5 открывается пружиной 8 и давление газа под мембраной 12 становится выше, чем над ней.

Перепад этих давлений создает силу, поднимающую мембрану 12, при помощи которой открывается клапан 9.

При увеличении открытия клапана 9 давление в газопроводе повышается до установленного, при котором регулятор управления 4 прекращает перемещение клапана 5 и дальнейшее повышение давления газа под мембраной 12. Эти условия возникают всякий раз, когда давление за клапаном ниже установленного.

Повышение давления газа на выходе, например из-за снижения его расхода, приводит к прикрыванию вначале клапана 5, а затем к существенному увеличению разности давлений газа над мембраной 12 и под ней. Вследствие этого мембрана 12 прикрыв-

вает клапан 9, а давление газа в газопроводе понижается до установленного.

Регуляторы на различные давления отличаются друг от друга площадью и жесткостью гибкой части мембраны.

Предохранительные запорные клапаны используют для повышения безопасности работы котельных. Их устанавливают перед регулирующими устройствами. При помощи механических предохранительных клапанов прекращается подача газа в случае превышения установленного давления вследствие выхода из строя регулятора давления или каких-либо других причин.

Предохранительные клапаны изготовляют на разные давления в зависимости от размера мембраны.

Рассмотрим принцип работы предохранительного клапана, принципиальная схема которого показана на рисунке 13.14, б.

Клапан 22 закрывается под воздействием груза 21 как при повышении, так и при понижении давлений сверх предельно допустимых значений. Работа запорно-предохранительного клапана 22 происходит следующим образом. Степенью сжатия пружины 16 устанавливают минимальное и максимальное значения, при которых клапан закрывается.

Давление газа передается через импульсную трубку 14 под мембрану 15.

В случае отклонения давления от установленных пределов рычаг 17 освобождает ударник 18, который под действием собственной массы падает и сбивает защелку 19 со штока 20. На штоке 20 закреплен груз 21, под действием которого клапан 22 закрывается и перекрывает проход газу. Возврат клапана осуществляется вручную.

В котельных, работающих на более высоких давлениях газа, применяются дополнительно пружинные предохранительные клапаны. Они предназначены для сброса части газа в атмосферу в целях защиты оборудования от недопустимого повышения давления.

Кроме пружинного клапана, используются также гидравлические предохранительные затворы в регуляторных пунктах низкого давления.

Затвор состоит из корпуса 24 и трубы 25 с фланцем для присоединения к газопроводу (рис. 13.14, в). Между корпусом и трубой заливают масло до уровня, при котором давление столба масла на 300...500 Па превышает рабочее давление газа.

Одновременно по мерной стеклянной трубке 23 судят о давлении газа. Если оно превышает давление столба масла в трубе 25, то газ прорывается через жидкость и через трубу 26 выходит в атмосферу. Гидравлические затворы используют для давлений газа до 1,0 кПа.

Для регулирования температуры воды или давления пара и контроля пламени, регулирования разрежения в дымоотводящем канале и давления сжигаемого газа в газовых водонагревающих и парогенерирующих аппаратах используют газовые универсальные регуляторы типа РГУ-1 и РГУ-2. Они предназначены для автома-

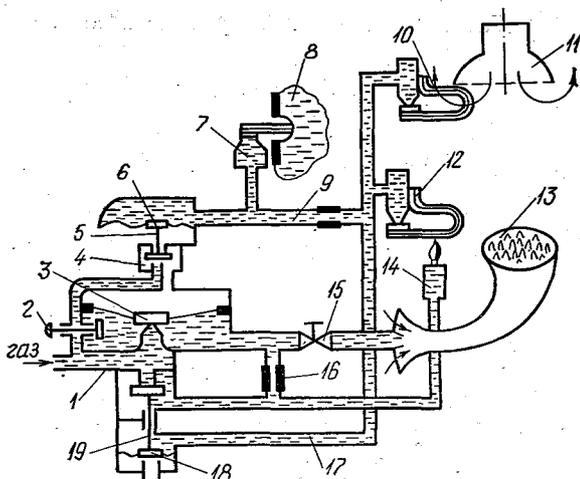


Рис. 13.15. Технологическая схема автоматизации газовых водогрейных и паровых установок.

тизации газовых аппаратов тепловой мощностью до 80 кВт (расход газа до 10 м<sup>3</sup>/ч).

Рассмотрим принцип действия регулятора РГУ-2, выполняющего функции регулирования и контроля (рис. 13.15). Регулятор РГУ-1 выполняет только функции контроля и аварийного отключения газа. Регулятор РГУ-2 состоит из блока контроля и регулирования 1 и датчиков пламени 12, тяги 10 и температуры 7, включенных в каналы регулирования 9 и контроля 17.

Для включения газоаппарата в работу зажигают пламя запальника 14 при закрытом кране 15. Газ к запальнику подают кнопкой 2 через дроссель 16.

Под воздействием пламени запальника биметаллическая пластинка закрывает сопло датчика 12. Так как сопла датчиков 7 и 10 тоже закрыты, то в каналах 9 и 17 давление газа резко возрастает. От этого давления подпружиненный микроклапан 19 мембраной 18 перемещается вниз и открывает доступ газа к запальнику 14. Теперь газ идет из газоподводящего канала помимо кнопки 2, и ее можно отпустить.

Под действием этого же давления клапан 5, перемещаясь под действием мембраны 6 вниз, выпускает порцию газа из надмембранного объема в дымовую трубу и закрывает нижнее силовое сопло 4. Вслед за этим мембрана 3 под давлением газа открывает сопло и подает газ к крану 15, при открытии которого воспламеняется от запальника 14 горелка 13.

При достижении в котле 8 температуры воды (или давления пара) заданного значения открывается сопло датчика 7, вследствие чего давление газа в канале регулирования 9 резко снижается. Это приводит к перемещению мембраны 6 вверх, открытию соп-

ла 4 и закрытию сопла связи с атмосферой, а затем под действием давления газа мембрана 3 закрывает свое сопло. Подача газа на запальник и в небольшом объеме на горелку будет поддерживаться только через верхнее седло клапана 19. Когда снижается температура воды, седло датчика 7 и седло 4 вновь закрываются и на горелке 13 устанавливается номинальный режим горения. При нарушении тяги в вытяжной трубе 11 или погасании пламени открывается сопло датчика 10 или 12, что вызывает сброс давления в каналах регулирования 9 и контроля 17. Это приводит к закрытию клапаном 19 и мембраной 3 доступа газа соответственно к запальнику 14 и горелке 13 в описанной выше последовательности.

Открытие сопла датчика 10 происходит вследствие изменения траектории движения дымовых газов при нарушении тяги и нагрева ими биметаллической пластинки.

Развитие добычи газа в СССР, строительство и ввод в эксплуатацию разветвленной системы газораспределительных сетей открывают широкие возможности применения газового топлива в животноводстве и кормопроизводстве, для сушки и переработки сельскохозяйственной продукции, для отопления и удовлетворения других тепловых нужд сельского хозяйства.

Для максимального сокращения затрат светлого нефтяного топлива целесообразно переводить на газ существующие пароводяные котлы и теплогенераторы. Все это требует ускорения и расширения работ по созданию новых средств и методов автоматизации газозенергетических установок в сельском хозяйстве.

...Поднять технический уровень и качество водохозяйственного строительства.

Из Основных направлений экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года

## Глава 14. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ОРОШЕНИЯ

### 14.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

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, производительность труда по водоснабжению увеличилась в 20 раз, эксплуатационные затраты снизились в 10 раз. Кроме того, при поении животных из автопоилок увеличивается продуктивность КРС на 10%, а птицы — на 15...20%.

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 скважиной. Эти насосы называются *артезианскими*.

Для подъема воды из открытых водоемов и шахтных колодцев применяют также *плавающие* центробежные насосы. Широкое распространение получили так называемые *объемно-инерционные* насосы с электромагнитным вибрационным приводом. Их используют в быту сельского населения на малую подачу воды (до 1 м<sup>3</sup>/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 м<sup>3</sup>/ч. Если расход воды составляет 30...65 м<sup>3</sup>/ч, то рекомендуют двухагрегатные насосные станции с водонапорным котлом. При расходе воды более 65 м<sup>3</sup>/ч

экономически целесообразно использовать насосные установки с непосредственной подачей воды в распределительную сеть (оросительную систему).

#### 14.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВОДОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ФЕРМ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

**Автоматизация безбашенной насосной установки.** Автоматическая водоподъемная установка типа ВУ с воздушно-водяным котлом (гидропневматическим аккумулятором) (рис. 14.1) предназначена для подъема воды из открытых водоемов и шахтных колодцев глубиной до 5 м при напоре от 25 до 80 м. Установка состоит из всасывающей трубы 1 с приемным фильтром насосного агрегата 2, нагнетательной 3 и водоразборной 12 труб с запирающими вентилями 5, воздушно-водяного бака 4 с датчиком давления 8 и струйным регулятором запаса воздуха, имеющим камеру смешивания 6, воздушный клапан 7, жиклер 10 и диффузор 11. Схема управления в автоматическом режиме работает следующим образом. Вода к потребителю поступает под действием давления воздушной подушки, расположенной над водой в котле.

При разборе воды из котла давление в котле снижается и замыкаются контакты манометрического датчика давления *ВР*, катушка магнитного пускателя *КМ* получает питание и включает электронасос. При повышении уровня воды давление в котле повышается до заданного значения, при котором контакты *ВР* размыкаются и насос отключается. Ручное управление электронасосом осуществляется кнопками «Пуск» *SB2* и «Стоп» *SB1*.

Объем воздушной подушки в баке постоянно уменьшается, так как часть воздуха растворяется и выносится с водой. Вследствие этого уменьшаются давление воздушной подушки и регули-

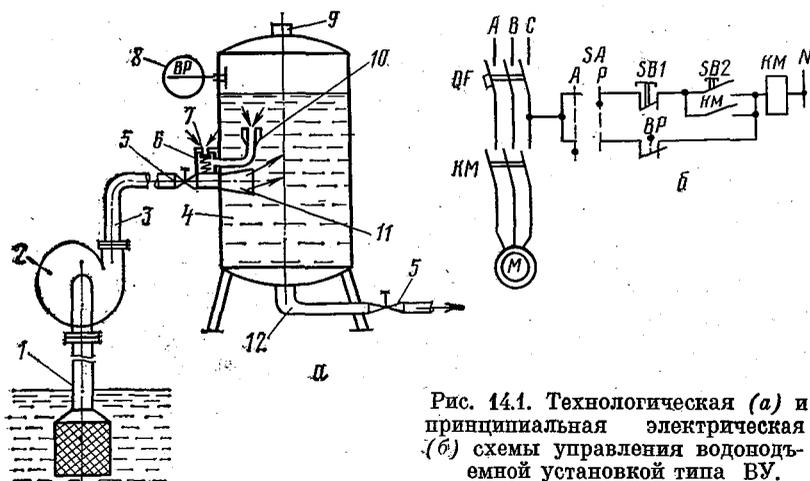


Рис. 14.1. Технологическая (а) и принципиальная электрическая (б) схемы управления водоносной установкой типа ВУ.

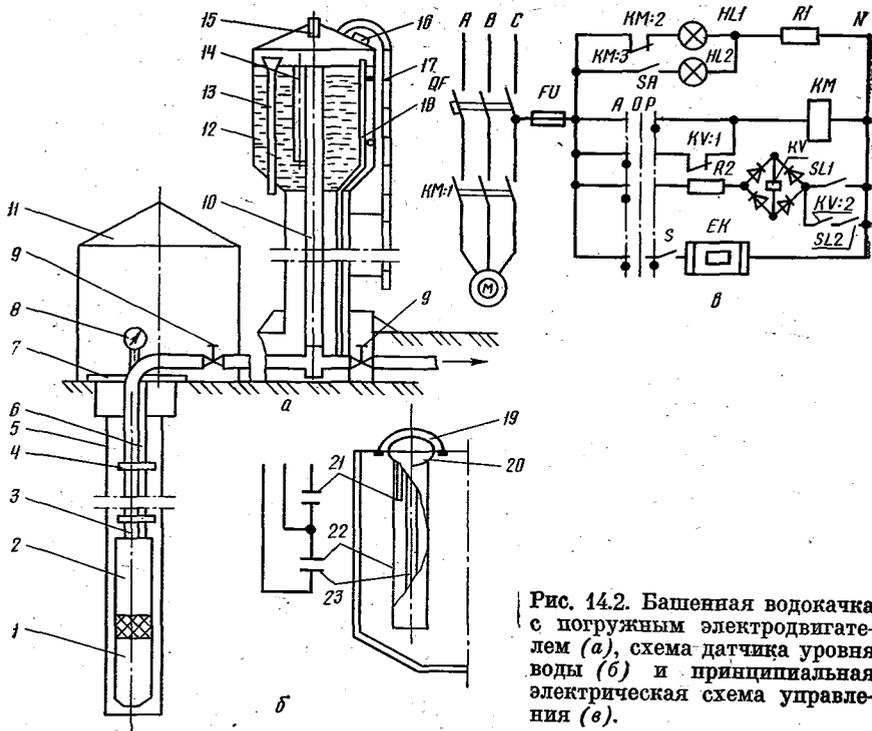


Рис. 14.2. Башенная водокачка с погружным электродвигателем (а), схема датчика уровня воды (б) и принципиальная электрическая схема управления (в).

рующий объем воды в котле, а агрегат начинает чаще включаться в работу.

Для автоматического поддержания объема воздушной подушки служит струйный регулятор, который обеспечивает подкачку воздуха до давления в баке 250 кПа. При максимальных аварийных давлениях срабатывает предохранительный клапан 9. Пополнение воздуха происходит, когда жиклер 10 перекрыт водой. Струя воды под действием насоса создает разрежение в камере 6 (эффект пульверизации), воздушный клапан 7 открывается, и воздух, смешиваясь с водой, поступает в котел.

Безбашенные водокачки имеют низкий коэффициент использования объема бака (0,15...0,2)  $V$ , большой перепад давлений (20...30 м) при малом регулирующем объеме  $V_p$  и взрывоопасны. Вследствие этого они широкого применения в сельском хозяйстве не нашли.

Автоматизация башенных водокачек. До 90% насосных установок сельскохозяйственного водоснабжения составляют башенные водокачки Рожновского с погружными электродвигателями (рис. 14.2). Погружные электронасосы типа ЭЦВ (Э — электропогружной, Ц — центробежный, В — для воды) выпускаются производительностью от 0,63 до 1000 м<sup>3</sup>/ч при напорах 12...680 м. Погружной электродвигатель 1 в монолите с многоступенчатым

насосом 2 закрепляют на водоподъемных трубах 3 и опускают в скважину 5. Трубы подвешивают к плите 7, установленной в помещении 11. Скважины выполняют из обсадных труб диаметром 100...450 мм. Электродвигатели выполняют сухими, полусухими и заполненными маслом или водой. Наиболее распространены электродвигатели, заполненные водой. Смазывают резинометаллические или пластмассовые подшипники также водой. К электродвигателю подводят кабель 6, закрепленный на водоподъемных трубах хомутами 4. Всаывающая часть имеет сетку, задерживающую крупные примеси, находящиеся в воде.

Бак башни 12 выполняют сварным из листовой стали и устанавливают на кирпичную, железобетонную или металлическую опору. К баку подводят напорно-разводящий трубопровод 10. Конец напорной трубы доводят до верхнего уровня, а отвод воды из бака происходит через обратный клапан у нижнего уровня. Бак оборудуют внешней 17 и внутренней 18 лестницами, люком 16, вентиляционным клапаном 15, датчиками уровня 14 и водосливной трубой 13, исключающей перенаполнение бака водой в случае неотключения насоса от датчиков верхнего уровня. На водопроводе ставят манометр 8 и задвижки 9.

Электродный датчик уровня состоит из защитного корпуса 20, скобы 19 для крепления датчика в баке и трубчатых электродов: верхнего уровня 21, нижнего уровня 23 и общего 22. Внутри центрального электрода расположен нагревательный элемент, который включают в холодное время года для исключения обмерзания электродов.

На рисунке 14.2, в показана электрическая схема управления типа ПЭТ башенной насосной водокачкой. Она позволяет в ручном и автоматическом режимах пускать и останавливать электронасос, защищает электродвигатель от перегрузок и коротких замыканий, сигнализирует при помощи сигнальных ламп о включенном и отключенном состоянии насоса.

Ручное включение электронасоса осуществляют переводом переключателя SA в положение P, а отключение — переводом переключателя SA в положение O.

Автоматический режим работы задают переводом переключателя в положение А. Если в башне нет воды, то контакты (электроды) датчика верхнего SL1 и нижнего SL2 уровня разомкнуты, следовательно, контакты реле KV в цепи катушки магнитного пускателя KM замкнуты. Магнитный пускатель срабатывает и включает электронасос M. По мере накопления воды в башне перекрываются водой сначала контакты SL2 нижнего уровня, а затем SL1 верхнего уровня, и реле KV через воду получает питание. Контактными KV:1 оно разрывает цепь питания магнитного пускателя KM, и электронасос отключается. Реле KV остается включенным через контакты KV:2, SL1 и SL2. Оно отключится только тогда, когда вода разомкнет не только верхние контакты, но и нижние. В этом случае контакты KV:1 в цепи магнитного пускателя KM вызовут повторное включение электронасоса M. Отключенное

состояние насоса определяют по зеленой лампе *HL1*, а включенное — по красной лампе *HL2*.

Защита двигателя осуществляется при помощи тепловых расцепителей магнитного пускателя *KM* и автомата *OF*.

На холодный период года выключателем *S* включается электрообогреватель *EK* датчика, предотвращающий обледенение и вмерзание электродов датчика уровня воды в лед. Кроме рассмотренной станции управления типа ПЭТ, работающей с электродвигателями мощностью от 1 до 65 кВт, применяют станции управления типа СУНО, а также систему автоматического управления насосными агрегатами (САУНА) с бесконтактными станциями управления типа ШЭТ и «Каскад». Станции управления СУНО предназначены для автоматизации насосных агрегатов с электродвигателями с короткозамкнутым и фазовым ротором напряжением 380 В мощностью от 25 до 250 кВт. Их используют для управления поверхностными и погружными электронасосами головных насосных установок (см. п. 14.6), а также в системах водоснабжения крупных животноводческих комплексов. Станция СУНО обеспечивает пуск и остановку электронасоса при закрытой электрозадвижке, ручное и автоматическое или телемеханическое управление насосным агрегатом, контроль и заливку насоса от групповой вакуумной установки, контроль наличия струи и давления воды в водонапорном трубопроводе, температуры нагрева подшипников электронасоса, напряжения в силовых цепях и цепях управления, а также подачу сигнала при аварийном отключении насосного агрегата с блокировкой, не допускающей пуска установки до ликвидации повреждения.

#### 14.3. БЕСКОНТАКТНЫЕ СТАНЦИИ УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНЫМИ АГРЕГАТАМИ

Бесконтактная станция управления типа ШЭТ выполнена на полупроводниковых логических элементах. По сравнению с контактными схемами бесконтактные станции дороже, но удорожание окупается увеличением срока службы и надежности работы как самой системы управления, так и электродвигателя. Для защиты электродвигателя от перегрузок и коротких замыканий имеется специальный блок защиты.

Принципиальная схема станции (рис. 14.3) работает следующим образом. Когда в водонапорной башне нет воды, то контакты верхнего *SL1* и нижнего *SL2* уровней разомкнуты. Вследствие этого на входах *Bx.5* и *Bx.6* двоярного логического элемента ИЛИ—НЕ сигналы отсутствуют, а на его выходе сигналы появляются и через диоды *VD8* и *VD9* поступают на усилитель *У*, который усиливает входной сигнал, вызывающий срабатывание промежуточного реле *KV* и загорание сигнальной лампы *HL*. Реле *KV* своими контактами включает магнитный пускатель *KM*, а последний — электронасос *M*. По мере заполнения башни водой вначале замыкаются контакты *SL2* датчика нижнего уровня, а затем контакты

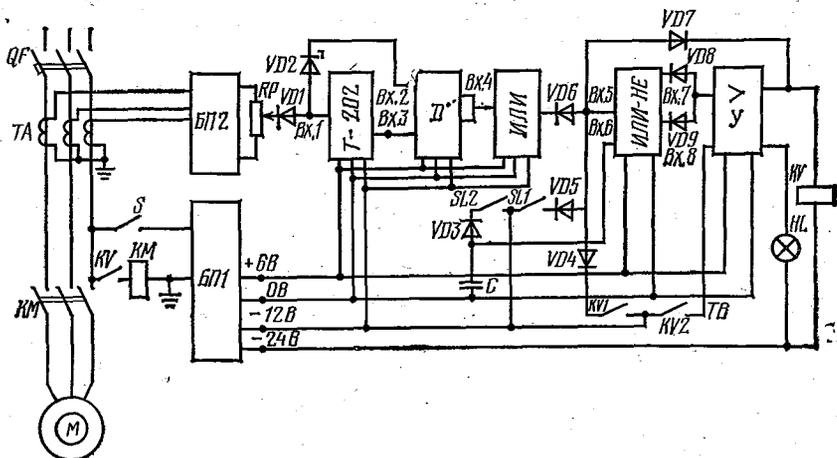


Рис. 14.3. Принципиальная электрическая схема управления водонасосной станцией типа ШЭТ.

*SL1* верхнего уровня. При замыкании контактов *SL2* на *Bx.6* подается отрицательный потенциал, вследствие чего на диоде *VD9* выходной сигнал исчезает, а на диоде *VD8* выходной сигнал есть, благодаря чему насос не отключается. Когда вода замыкает контакты *SL1* датчика верхнего уровня, на *Bx.5* поступает сигнал и на диоде *VD8* выходной сигнал также исчезает. Вследствие этого лампа *HL* и реле *KV* отключаются, что вызывает выключение электронасоса.

При расходе воды вначале размыкаются контакты *SL1* верхнего уровня, но это не приводит к включению электродвигателя, так как вместо выходного сигнала от датчика на вход *Bx.5* через диод *VD7* и реле *KV* подается отрицательный потенциал от источника — 24 В. При размыкании контактов *SL2* нижнего уровня на *Bx.6* сигнал исчезает, что вызывает автоматическое повторное включение электронасоса.

Логические элементы Т-202, выдержки времени *D* и элемент ИЛИ вместе с блоком питания БП2 защищают двигатель от перегрузок и от работы в аварийных режимах. Датчиком тока является трансформатор тока *ТА*, выпрямленный ток которого поступает на потенциометр *RP*. Движком потенциометра *RP* устанавливают значение токов срабатывания защиты при перегрузках и коротких замыканиях электродвигателя. При токах перегрузки срабатывает бесконтактное реле Т-202, с которого поступает на вход *Bx.3* сигнал, вызывающий срабатывание элемента выдержки времени *D*. С элемента *D* сигнал с выдержкой времени через элемент ИЛИ поступает на вход *Bx.5* элемента ИЛИ—НЕ, что вызывает отключение реле *KV* и электронасоса *М*. При токах короткого замыкания напряжение на потенциометре *RP* возрастает в несколько раз, вследствие этого открывается стабилитрон *VD2* и через вход *Bx.2*

на элемент *D* поступает сигнал, минуя цепочку выдержки времени в элементе *D*. С элемента *D* сигнал последовательно поступает на входы *Bx.4* и *Bx.5* и исчезает с входа *Bx.7*, что вызывает отключение электронасоса без выдержки времени.

Станция ШЭТ позволяет управлять электронасосом при помощи телемеханики. Для этого устанавливают реле приема телесигналов управления, контакты *KV2* и *KV1* которых соответственно включают и отключают электронасос. Параллельно контактам можно установить кнопочные станции для дистанционного включения и отключения насоса.

Логические элементы питаются от блока питания *БП1*, который к напряжению подключается выключателем *S*.

Комплексное устройство «Каскад» предназначено для автоматического и дистанционного управления погружными электродвигателями мощностью от 1 до 65 кВт водонасосных и дренажных станций. В устройстве предусмотрена защита электродвигателя от перегрузок, коротких замыканий и сухого хода, то есть от работы двигателя без воды (для двигателей мощностью 4,5 кВт и выше). Оно может работать в автоматическом режиме от датчиков нижнего *SL2* и верхнего *SL1* (рис. 14.4) уровней воды в водонапорном баке или от датчика давления *BP* столба воды в башне. Датчиком давления *BP* служит электроконтактный манометр, устанавливаемый в оголовке скважины на напорном трубопроводе. Цепи управ-

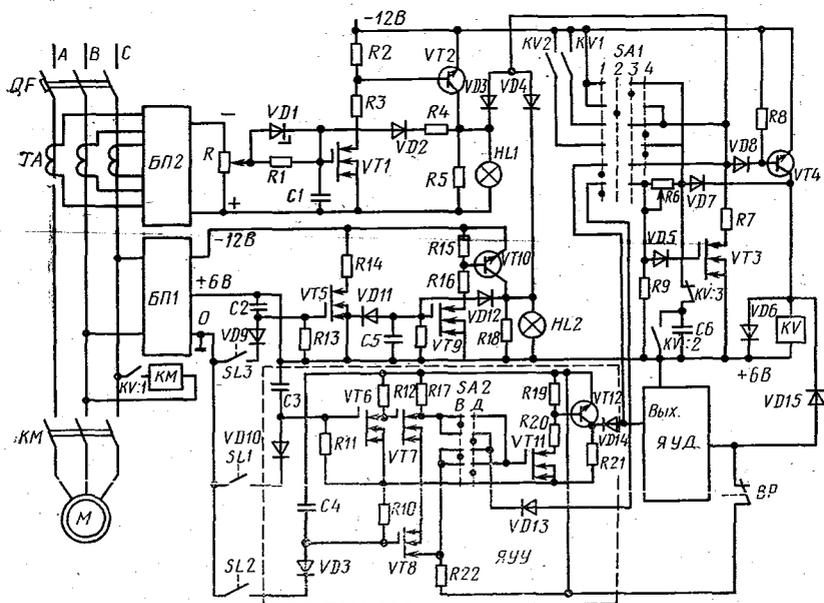


Рис. 14.4. Принципиальная электрическая схема управления водонасосной станцией типа «Каскад».

ления и защиты от сухого хода подключают к блоку питания *БП1*, а цепи защиты от перегрузок и коротких замыканий — к блоку *БП2*.

В зависимости от положения переключателя *SA1* схема работает от датчиков уровня или от датчика давления (положение *1*), или от реле телемеханического включения *TB* и отключения *ТО* (положение *4*), или от местного дистанционного управления: включается переводом переключателя *SA1* в положение *3*, а отключается переводом в положение *2*.

При автоматическом управлении по уровню в блоке управления устанавливают ячейку уровня (*ЯУУ*). Переключатель *SA2* ставят в положение *B* (водоподъем) или положение *Д* (откачка дренажных вод).

Рассмотрим работу схемы в режиме водоподъема. Если вода в баке находится ниже датчика минимального уровня, то контакты *SL1* и *SL2* разомкнуты, транзистор *VT8* закрыт, а сигнал включения насоса с резистора *R22* через диод *VD13* и резистор *R6* поступает на затвор транзистора *VT3*. Этот транзистор открывается с выдержкой времени, устанавливаемой цепочкой *R6—C6* (от 2 до 30 с), и открывает триод *VT4*. В результате этого срабатывает реле *KV*, которое включает пускатель *KM* и электронасос *M*. Включение электронасоса запоминается и поддерживается при помощи ячейки памяти, образованной диодом *VD7*, так как через диод поступает на затвор транзистора *VT3* отрицательный потенциал.

При замыкании водой контактов *SL1* датчика верхнего уровня сигнал поступает на затвор транзистора *VT6*, который открывается, закрывая транзистор *VT7*, и открывает транзисторы *VT11* и *VT12*. На коллекторе транзистора *VT12* увеличивается отрицательный потенциал, который через диоды *VD14* и *VD8* закрывает триод *VT4*. Реле *KV* отключается и выключает электронасос *M*, который остается отключенным до тех пор, пока вода в башне не опустится ниже контактов *SL2*. Далее цикл повторяется.

При переключении переключателя *SA2* в режим дренажа *Д* автоматическое включение электронасоса происходит от датчиков верхнего уровня *SL1*, а отключение — от датчика нижнего уровня *SL2*.

При автоматическом управлении по давлению вместо ячейки *ЯУУ* устанавливают ячейку *ЯУД* с датчиком давления *BP* (рис. 14.4). Ячейка управления по давлению состоит из формирователя времязадающих импульсов, счетчика импульсов и схемы совпадения. Все указанные узлы собраны на логических элементах (триггерах и элементах И—НЕ).

При снижении уровня, а следовательно, и статического напора воды, контакты датчика давления *BP* замыкаются и подают отрицательный потенциал питания. Начинает работать генератор и счетчик импульсов ячейки *ЯУД*. Через определенное число импульсов, осуществляющих задержку времени на включение электронасоса не более 15 мин, с выхода *Вых* ячейки *ЯУД* поступает

сигнал положительной полярности, который через диод *VD8* открывает триод *VT4*. Благодаря этому включаются реле *KV*, пускатель *KM* и электронасос *M*.

При работе электронасоса давление повышается, и контакты датчика *BP* размыкаются, но отрицательный потенциал питания *ЯУД* теперь подается через открытый триод *VT4* и диод *VD15*.

Через определенное время, устанавливаемое до 90 мин специальным задающим устройством в ячейке *ЯУД*, сигнал на выходе *Вых* исчезает, триод *VT4* закрывается, и реле *KV* отключает пускатель *KM* и электронасос *M*. При снижении давления воды процесс повторяется.

Следует отметить, что схема ячейки *ЯУД* сложная, многоэлементная, имеет малую надежность. Контактный манометр работает только на включение насоса, а отключение осуществляется от элемента выдержки времени. Кроме того, давление срабатывания реле *BP* зависит от расхода и динамического напора воды. Разрабатываются более простые схемы управления электронасосом по давлению.

При местном дистанционном включении ключ *SA1* переводит в положение 3, а при телемеханическом — в положение 4. В этих случаях отрицательный потенциал подается непосредственно или через контакты *KV2* на затвор транзистора *VT3* и открывает его и триод *VT4*. Далее схема работает аналогично работе от датчиков уровня.

При местном дистанционном отключении ключ *SA1* переводит в положение 2. В этом случае, как и при телемеханическом отключении контактами *KV1*, отрицательный потенциал подается на триод *VT4* и закрывает его, а реле *KV* и электронасос *M* отключаются.

*Защита электродвигателя от перегрузки* выполнена аналогично устройству станции управления типа ШЭТ. При ненормальных режимах (перегрузках, коротких замыканиях, неполнофазных режимах электронасоса) повышается напряжение на переменном резисторе *R*. Это напряжение через цепочку выдержки времени *R1—C1*, обратно пропорциональную значению напряжения на резисторе *R*, поступает на затвор транзистора *VT1* и открывает его и триод *VT2*. В результате этого через диоды *VD3* и *VD8* отрицательный сигнал закрывает триод *VT4* и отключает электронасос *M*. Одновременно загорается сигнальная лампа *HL1* «Перегрузка». Цепь обратной связи, состоящая из резистора *R4* и диода *VD2*, исключает автоматическое повторное включение электронасоса.

*Защита электронасоса от сухого хода* выполнена при помощи датчика наличия воды *SL3* в скважине и полупроводникового преобразователя сигнала. При нормальной работе насоса датчик *SL3* омывается водой, и его контакты замкнуты. При отсутствии воды в скважине контакты *SL3* размыкаются, транзистор *VT5* закрывается, а транзисторы *VT9* и *VT10* открываются. Отрицательный потенциал через триод *VT10*, диоды *VD4* и *VD8* закрывает триод

*VT4* и отключает электронасос *M*. Одновременно загорается лампа «Сухой ход». Этот сигнал запоминается. При появлении воды транзистор *VT5* открывается, а транзисторы *VT9* и *VT10* остаются открытыми за счет обратной связи через диод *VD12*. Вследствие этого повторно включить насос может только персонал после выяснения и устранения причин его отключения.

#### 14.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЕРЕКАЧКИ СТОЧНЫХ ВОД

Для откачки сточных, дренажных и хозяйственно-фекальных вод используют низконапорные (8...95 м) высокопроизводительные (16...9000 м<sup>3</sup>/ч) канализационные электронасосы. Канализационным насосам свойствен ряд отличительных особенностей. Такие насосы имеют незасоряющееся одно-трехлопастное уширенное рабочее колесо, самоуплотняющееся соединение насоса с напорным трубопроводом, направляющие аппараты в них отсутствуют.

Обычно эти установки имеют простую конструкцию, они оборудованы кнопочной станцией дистанционного управления электронасосным агрегатом при помощи магнитных пускателей.

В качестве примера рассмотрим систему автоматического управления двухагрегатной водоотливной насосной станцией (рис. 14.5). Вручную агрегаты включают и отключают кнопками *SB1...SB4*, а в автоматическом режиме — при помощи электродных датчиков уровня *SL1...SL4*.

Задвижки *1* и *5* с ручным приводом закрывают при ремонте насосов. При работе насосов они открыты. Обратный поток жидко-

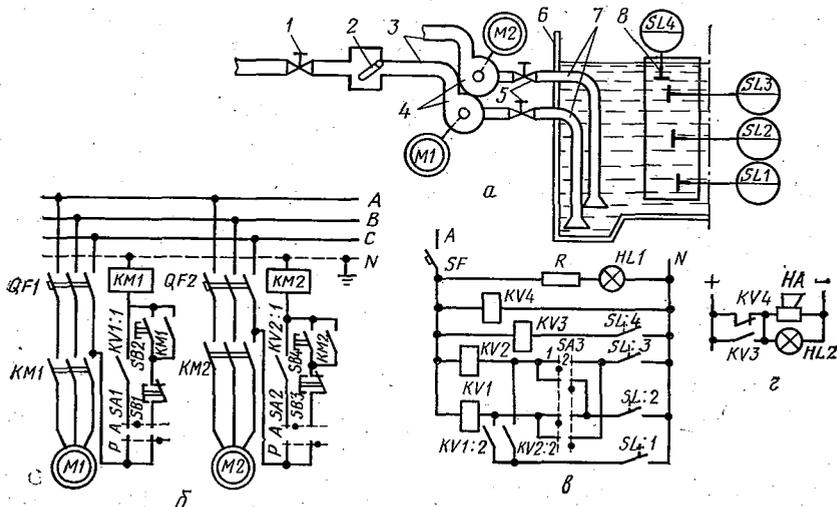


Рис. 14.5. Технологическая (а) и принципиальные электрические (б, в и г) схемы управления двухагрегатной откачивающей насосной станцией.

сти через неработающий насос 4, нагнетающую 3 и всасывающую 7 трубы предотвращает клапан 2. Сточные воды и навозная жижа собираются в резервуар 6. По мере повышения уровня жидкости они переключают промежутки электродов нижнего уровня *SL1*, *SL2* и общий электрод 8 (заземленная труба). Вначале от датчика *SL2* включается один насос. Если приток сточных вод больше, чем производительность насоса, то уровень стоков повышается и датчиком *SL3* включается второй электронасос. Очередность включения агрегатов определяется переключателем *SA3*. Например, в положении 1 переключателя *SA3* вначале от датчика *SL2* срабатывает реле *KV1*, которое включает электродвигатель *M1* первого насоса, а затем от датчика *SL3* — реле *KV2* и второй электронасос *M2*. В положении 2 переключателя очередность включения насосов будет обратной. Вторыми парами контактов реле *KV1* и *KV2* шунтируют через датчик *SL1* цепи датчиков *SL2* и *SL3*. Благодаря этому шунтированию отключение реле *KV1* и *KV2*, а затем и насосов при снижении уровня сточной воды произойдет только тогда, когда разомкнется цепь датчика *SL1* нижнего уровня.

Если производительность и двух агрегатов оказывается меньше притока сточных вод, то от повышения уровня замыкается цепь датчика *SL4* и срабатывает реле *KV3*, которое включает аварийно-предупредительную звуковую *HA* и световую *HL2* сигнализацию. Эта же сигнализация срабатывает от реле *KV4* при исчезновении напряжения питания. Цепи аварийной сигнализации получают питание от независимого источника.

#### 14.5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГИДРОМЕЛИОРАЦИИ

Мелиоративные системы служат для орошения и осушения 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 (степи и полупустынные районы). Системы состоят из прудов, небольших каналов и колодцев. Обводнительные системы имеют менее разветвленную распределительную сеть, чем оросительные.

В СССР свыше 19 млн. га орошаемых, 14 млн. га осушенных площадей и 90 млн. га обводненных угодий. К 2000 г. октябрьским Пленумом ЦК КПСС (1984 г.) намечено иметь 30...32 млн. га орошаемых и 19...21 млн. га осушенных земель. Орошаемые и осушенные площади уже сейчас дают треть продукции земледелия. Предстоит обводнить пастбища полустепных и горных районов, на которых получают с 1 га в три раза больше кормов, чем на богарных землях. В настоящее время завершаются работы по комплексной автоматизации ряда водохозяйственных систем, названных по зонам орошения: Саратовская система, Зарафшан, Сырдарья, Голодная степь, Каршинская степь, БФК (Большой Ферганский канал) и другие.

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 тысяч 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, состояния источников воды для орошения и других факторов. Следовательно, для централизованного управления такими рассредоточенными системами и своевременной корректировки требуется автоматизация процессов измерения, сбора и передачи на диспетчерские пункты управления большого количества информации о состоянии отдельных звеньев и параметров в многочисленных объектах, исчисляемых сотнями. В таких объектах системы автоматики должны иметь

оптимальное число измерительных и исполнительных органов и в то же время обеспечивать управление параметрами во всех рас-средоточенных 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 в зимний период 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 рас-

хода 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 этом число поливальщиков сокращается в 2...3 раза, производительность труда возрастает по сравнению с ручным поли-

вом в 10 раз, урожайность увеличивается на 10...15%. Срок окупаемости средств автоматизации не превышает 2...3 лет.

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 поливальных машин увеличивается в 10...20 раз, и коэффициент земельного использования повышается до 0,95. В рисовых оросительных системах регулируются не расходы, а уровни (горизонта) воды в каналах и чеках. Для этого распределительную сеть рисовых систем оснащают затворами-автоматами постоянного уровня гидравлического действия.

*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.

*Автоматизация измерения и учета воды* на гидросистемах — важное организационно-техническое мероприятие. Для этого мелиоративные системы оснащают соответствующими приборами для автоматизации контроля, измерения и учета воды: самописцами уровня с измерительными органами поплавкового типа, системами учета воды с датчиками, регистрирующими расход по положению открытия затворов гидротехнических сооружений, и другими.

#### 14.6. 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.

Широкий опыт автоматизации насосных станций в мелиорации показал высокую ее эффективность. Она обеспечивает оптимальный режим работы электронасосов, учет количества подаваемой воды, сокращает число аварий и повышает надежность работы.

Срок окупаемости средств на автоматизацию не превышает 1...3 лет.

Насосные станции в мелиорации отличаются высокой подачей (до сотен кубометров в секунду) и большой мощностью — до тысяч киловатт. Подача  $q$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) насосной станции зависит от площади орошения  $F$  (га), максимальной нормы водоподачи  $q_{\text{max}}$  [ $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{га})$ ] и КПД оросительной системы ( $\eta \approx 0,7$ ), учитывающего потери воды на испарение и фильтрацию в каналах:

$$q = q_{\text{max}} F / \eta.$$

Электродвигатели мощностью до 300 кВт обычно используют асинхронные короткозамкнутые на напряжение 380 В и 6,3 кВ (при мощности свыше 100 кВт). Если потребная мощность превышает 300 кВт, то рекомендуется использовать синхронные двигатели напряжением 6,3 или 10 кВ.

Схемы автоматизации насосных станций осуществляют пуск и остановку электродвигателей, заливку и пуск 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 колено 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 электронасоса.

В качестве примера рассмотрим автоматизацию оросительной насосной станции с предварительной заливкой насоса водой и с управлением по уровню воды в водоприемном сооружении (рис. 14.6). 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  $A$ , тогда схема работает в соответствии с временной диаграммой (рис. 14.6,  $\epsilon$ ). При понижении уровня в водоприемном сооружении до минимально допустимого значения замыкаются контакты  $SL2$  датчика уровня и включается реле  $KV1$ , которое включает электромагнитный клапан  $JA$ , установленный на заливной линии насоса. Насос через этот клапан заливается водой, а воздух в насосе выходит через реле залива  $K3$ . В конце заполнения насоса водой срабатывает реле залива  $K3$  и включает реле  $KV2$ , которое, в свою очередь, вызывает включение магнитного



цепи тока реле *KV1*, которое отключает электромагнит *УА*, 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 реле давления *KSP* возвращаются в исходное положение и включают магнитным пускателем *KM3* двигатель *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 струйного реле *KSH* остаются замкнутыми, реле времени включает аварийное реле *KV3*, которое отключает реле *KV1* и включает аварийную сигнализацию *НА*. 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 *УА*. Такая же последовательность работы схемы на отключение насоса будет и при случайном перерыве подачи воды (пунктирные линии на рисунке 14.6, *в*).

...Осуществить мероприятия по комплексной переработке сельскохозяйственного сырья и сокращению его потерь.

Из Продовольственной программы СССР

## Глава 15. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ И УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ

### 15.1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОКА

Чтобы сохранить товарное качество и пищевую ценность молока, его подвергают непосредственно на фермах первичной обработке: очистке, пастеризации и охлаждению.

Пастеризация — нагрев молока до температуры 63...90 °С с целью стерилизации. Пастеризация может быть продолжительной

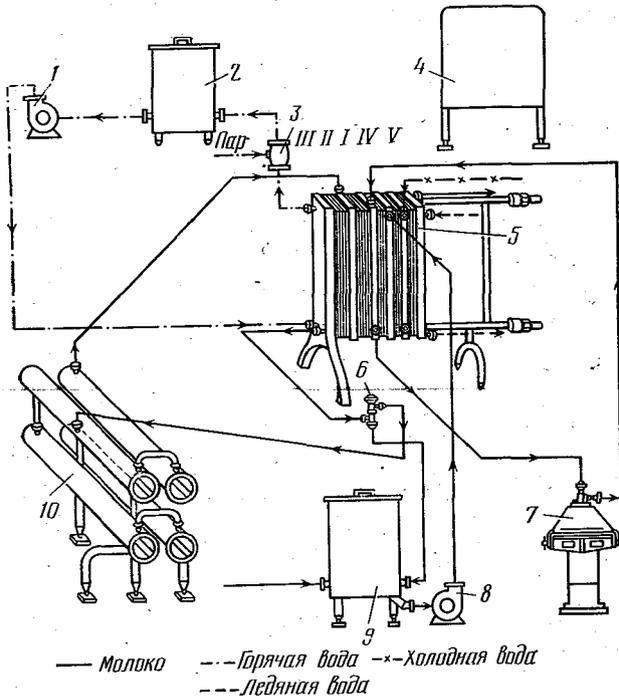


Рис. 15.1. Схема пастеризатора ОПФ-1:

1 — водяной насос; 2 — бойлер; 3 — инжектор; 4 — станция управления; 5 — пластинчатый аппарат; 6 — клапан; 7 — сепаратор-очиститель; 8 — насос; 9 — бак; 10 — выдерживатель; I и II — станции регенерации; III — секция пастеризации; IV и V — секции охлаждения.

(в специальных ваннах) или кратковременной (в проточных пластинчатых пастеризаторах). При температуре 72...76 °С продолжительность пастеризации (экспозиция) составляет 15...20 с, а при 85...87 °С пастеризация проходит практически мгновенно.

После пастеризации или непосредственно после доения молоко охлаждают до температуры 5...10 °С, для чего используют охлаждательные установки ОМ-400, РА-400/901, ОМ-1, SM-1200, а также холодильные агрегаты МХУ-8С, МК-2000, танки-охладители ТОМ-2А, ТО-2 и другие.

На рисунке 15.1 приведена технологическая схема пастеризационной установки ОПФ-1.

Горячая вода приготавливается в бойлере 2 паром, который подается через регулируемый клапан и инжектор 3 от котельной. При снижении температуры молока на выходе из пастеризатора по перепускному клапану 6 оно снова возвращается в пастеризатор. Чтобы стабилизировать работу пастеризатора, на выходе молока установлен уравнильный бачок 9.

На рисунке 15.2 показана принципиальная схема управления пастеризацией молока на пластинчатом пастеризаторе унифицированного щита управления.

Включают пастеризатор молока вручную автоматическим выключателем в силовой цепи и кнопками «Пуск» SB2 и SB4. Для контроля температуры в схеме предусмотрен логометр P с блоком питания AA. Перепускными клапанами Y1 и Y2 управляют при помощи бесконтактного устройства АК, принципиальная схема которого приведена на рисунке 15.3.

В соответствии с этой схемой блок управления получает питание от трансформатора TV1 через стабилизирующее устройство на транзисторах VT5...VT7. Сюда поступает сигнал от электронных компараторов, собранных по регенеративной схеме блокинг-генератора на транзисторах VT3, VT4 и VT8. Когда температура пастеризации ниже нормы, триггер находится в исходном состоянии, компараторы на триодах VT4 и VT8 работают в автоколебательном режиме, а компаратор на транзисторе VT3 заперт. Возникающие при этом импульсы открывают тиристоры VS16 и VS34, и через реле KV3 и KV4 соленоиды виброреле Y1 и Y2 (рис. 15.2) включаются, открывая выход воде из гидрокамеры и подачу пара в инжектор пастеризатора.

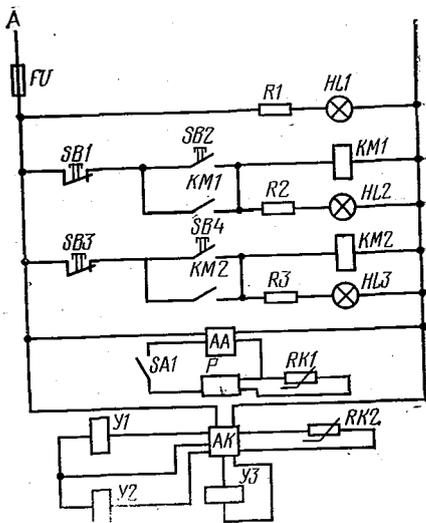


Рис. 15.2. Принципиальная схема станции управления ОПФ-1.

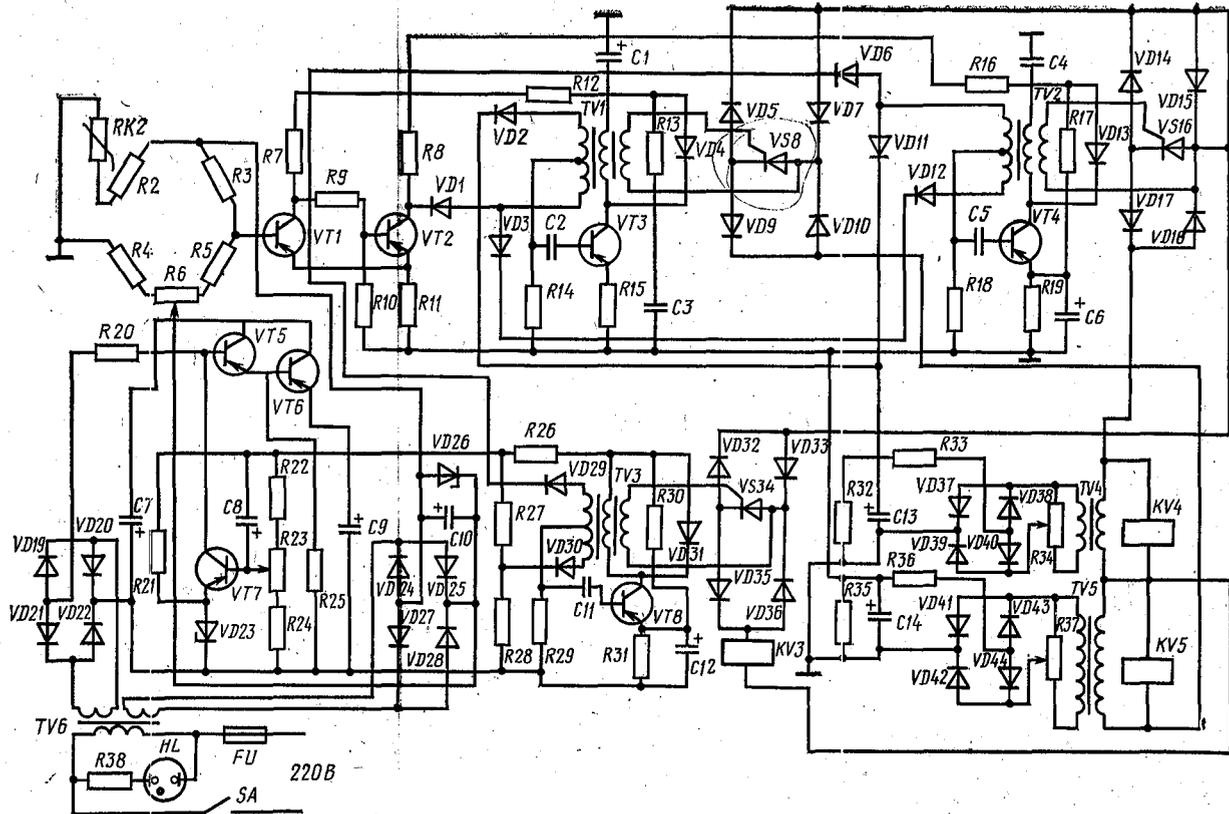


Рис. 15.3. Принципиальная схема блока управления пастеризацией.

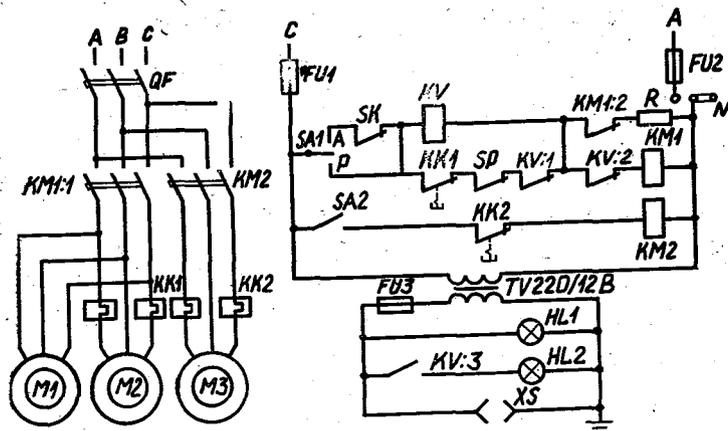


Рис. 15.4. Принципиальная схема МХУ-8С.

После того как температура достигнет нормы, триггер опрокинется, тиристор *VS8* (рис. 15.3) откроется и подаст питание через реле *KV5* на катушку соленоида *У3* (рис. 15.2), который откроет проход воде в гидрокамеру, и подача пара прекратится.

Когда температура пастеризации в пределах нормы, компаратор на транзисторе *VT3* (рис. 15.3) закрывается, тиристор *VS1* через реле *KV5* отключает катушку соленоида *У1* (рис. 15.2), в результате путь молоку на повторную пастеризацию перекрывается.

Для охладителей молока типична принципиальная схема установки МХУ-8С (рис. 15.4), которая предусматривает как ручной, так и автоматический режимы работы. При ручном управлении переключатель *SA1* устанавливают в положение «Р». При этом включается катушка магнитного пускателя *KM1*, работают электродвигатели *M1* (вентилятора) и *M2* (компрессора). Одновременно разрывается цепь резистора *R*.

Переключателем *SA2* включают магнитный пускатель *KM2* электродвигателя *M3* насоса. При этом работа холодильного агрегата осуществляется в автоматическом режиме. Если давление на выходе компрессора превысит норму, то разомкнется контакт реле давления *SP* и расшунтирует катушку промежуточного реле защиты *KV*, которое отключит магнитный пускатель *KM1* (компрессор и вентилятор агрегата) и включит сигнальную лампу *HL2*. Чтобы снова включить агрегат вручную, нужно переключатель *SA1* перевести сначала в положение «А», затем снова на «Р».

В автоматическом режиме переключатель *SA1* устанавливают в положение «А». В этом случае температура воды контролируется терморегулятором *SK*, который включает свои контакты при повышении, а отключает при снижении температуры, чем включает или отключает агрегат магнитным пускателем *KM1*.

## 15.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ЯИЦ

Собранное в птичниках яйцо, прежде чем пустить в реализацию, доводят до товарных кондиций: моют специальными растворами, сушат, сортируют по весовым категориям, штампуют, упаковывают в прокладки, а заполненные прокладки — в картонные ящики. Учитывая, что яйцо — это продукт питания, все операции по его обработке стремятся механизировать и автоматизировать комплексно, чтобы исключить прикосновение к нему человека.

Промышленность серийно выпускает автоматические яйцесортировальные машины ЯС-1 (однорядные) и МСЯ-1 (двурядные), которые сортируют яйца по категориям и штампуют. Создана и выпускается технологическая линия ЛОЯ-6,5, которая к тому же моет, сортирует по качеству с овоскопированием и укладывает яйца в прокладки.

Разработана и готовится к производству высокопроизводительная автоматическая технологическая линия ЛОЯ-20, обеспечивающая комплексную механизацию и автоматизацию всех технологических процессов.

Яйцесортировальная машина МСЯ-1 (рис. 15.5) оборудована устройствами механического принципа для автоматического взвешивания яиц, производительность которых ограничивается их инерционностью пределами 4...5 тыс. яиц в час. Машина МСЯ-1 сортирует яйцо на три весовые категории: мелкие — до 44 г, второй — от 44 до 58 г и первой — более 58 г.

Конструкция автоматического взвешивающего устройства машины МСЯ-1 показана на рисунке 15.5, б. Яйцо автоматически ложится на подпружиненную чашку 8, расположенную на одном конце, двуплечего рычага-коромысла 13, установленного на опоре 12, а на другом плече — груз 17. Если весовая категория яйца совпадает с настройкой груза, то сбрасыватель 15 толкает рычаг-коромысло 13, и яйцо выбрасывается с транспортера.

## 15.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЛИНИИ УБОЯ ПТИЦЫ

Для убоя птицы и обработки тушек до товарных кондиций современные специализированные птицеводческие хозяйства имеют убойные цеха, оборудованные полуавтоматическими убойными линиями (см. форзац). Птицу, доставленную из птичников в клетках, подвешивают за ноги крепежами на цепи подвесного конвейера, который движется медленно со скоростью 0,08 м/с в сторону рабочего места убоя и обескровливания. Перед убоем аппаратом для электроглушения, на который подается слаботочное напряжение от 650 до 900 В, птицу приводят в спокойное состояние. При помощи специальных ножниц птицу умерщвляют. Над желобом для стока крови каждая птица движется в течение 2 мин, а затем поступает в камеру тепловой обработки, где в тече-

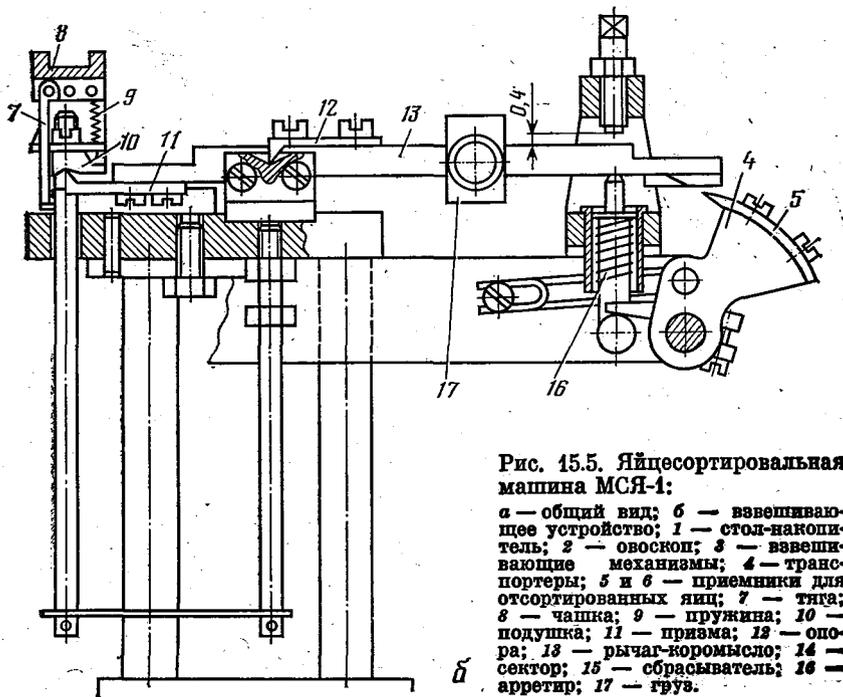
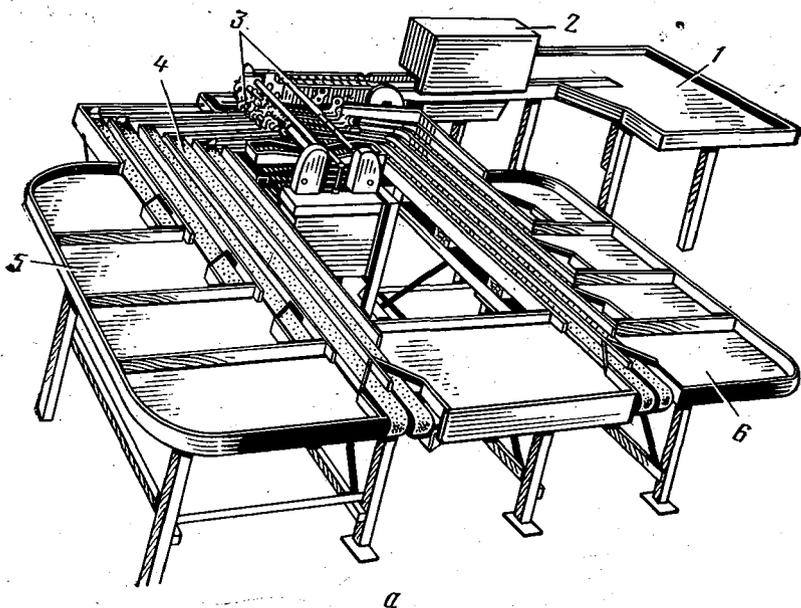


Рис. 15.5. Яйцесортировальная машина МСЯ-1:

а — общий вид; б — взвешивающее устройство; 1 — стол-накопитель; 2 — овозок; 3 — взвешивающие механизмы; 4 — транспортеры; 5 и 6 — приемники для отсортированных яиц; 7 — тяга; 8 — чашка; 9 — пружина; 10 — подушка; 11 — призма; 12 — опора; 13 — рычаг-коромысло; 14 — сектор; 15 — сбрасыватель; 16 — арретир; 17 — груз.

ние последующих 2 мин ее обрабатывают паром при температуре 52...54 °С (для цыплят 51...53 °С). Затем тушка проходит поочередно ряд машин, где снимается маховое перо с крыльев и хвоста, оперение с головы и шеи. Далее тушки моют теплой водой в течение 30 с и подвергают воскованию, подсушивают и предварительно охлаждают. Затем воск с тушек удаляют, обрабатывают лапки, тушки снимают с конвейера, упаковывают в ящики и отправляют в камеру охлаждения.

Запускают убойную линию с центрального пульта управления. Последовательность включения в работу отдельных машин осуществляется многоканальным программным устройством.

#### 15.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЕРЕРАБОТКИ БОЕНСКИХ ОТХОДОВ

Из машин обработки тушек убойных линий пух и перо с водой транспортируются в цех обработки пера, где поступившая масса попадает в центрифуги, а затем, предварительно обезвоженная, загружается в сушильные камеры. После сушки перо упаковывают для реализации. Отходы пуха и пера, а также непищевые отходы потрошения направляют в цех утилизации, где из них приготавливают кормовые добавки — мясную и мясо-костную муку. Переработку пуха (перьевых отходов) проводят по специальной технологии в две фазы: первая — гидролиз и стерилизация сырья, вторая — сушка и упаковка.

Сначала в гидравлическом прессе отжимают жир из кишок и других боенских отходов, а оставшуюся после выжимания массу измельчают в дробилке и используют в качестве добавок комбикорма. Но предварительно боенские отходы варят в специальных котлах при постоянном механическом перемешивании. Давление пара при запаривании отходов поддерживается на уровне 3,4...6,7 МН/м<sup>2</sup>, что соответствует температуре 148...170 °С. Влажность выходного продукта (мясо-костной муки) должна быть в пределах от 8 до 10%.

#### 15.5. АВТОМАТИЗАЦИЯ УТИЛИЗАЦИИ НАВОЗА И ПОМЕТА

На современных животноводческих комплексах и птицефабриках убирают навоз в полужидком состоянии, помет — в виде тестообразной массы. Поэтому навоз проходит стадию разделения твердой и жидкой фракций на виброфильтрах или центрифугах, затем сушат твердую и очищают жидкую массу, а помет подвергают термообработке и сушке.

Технологическая схема переработки жидкого навоза приведена на рисунке 15.6. На этой схеме показана линия подачи навоза *a* в резервуары-питатели *3*, из которых разделенная на твердую и жидкую фракции на виброфильтрах *4* масса посылается на дальнейшую переработку. Жидкая масса по трубопроводу посылается

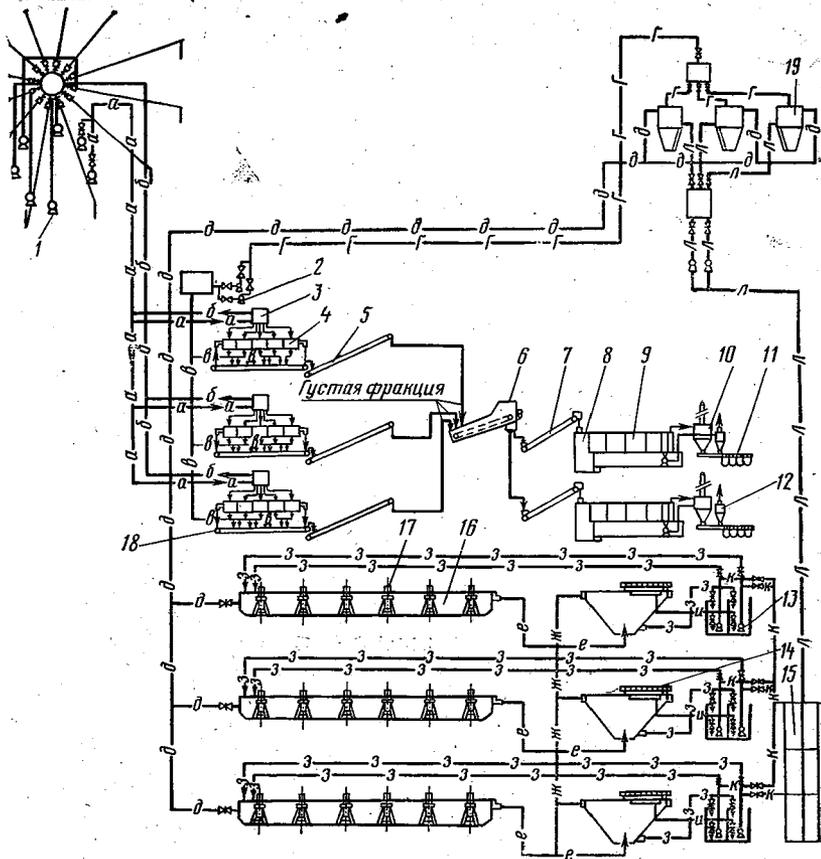


Рис. 15.6. Технологическая схема утилизации навоза:

а — трубопровод подачи навоза; б — трубопровод возврата навоза; в — трубопровод сточных вод; г — трубопровод к отстойникам; д — трубопровод к аэротенкам; е — трубопровод к повторным отстойникам; ж — трубопровод очищенной воды; з, к, л — трубопроводы ила; и — трубопровод пены; 1, 2 и 13 — транспортеры; 3 — резервуар; 4 — виброфильтр; 5, 7, 11 и 18 — транспортеры; 6 — кессон-дозатор; 8 — топка; 9 — барабан пометосушильной установки; 10 и 12 — циклоны; 14 и 19 — отстойники; 15 — иловые площадки; 16 — аэротенки; 17 — аэратор.

на отстойники 19, а оттуда жидкость поступает по трубопроводу д в аэротенки 16 и для окончательной очистки в отстойники 14. Ил по трубопроводу л подается на иловые площадки 15. Твердая фракция из виброотстойников 4 по транспортерам 5 и 7 через кессон-дозатор 6 поступает в барабан пометосушильной установки 9 или в бурты.

Общее управление технологической установкой централизовано и осуществляется с единого пульта управления. Контроль и регулирование параметров технологических процессов на отдельных участках утилизации навоза или помета осуществляются автоматически.

Чем выше развивается техника, тем более вытесняется ручной труд человека, заменяясь рядом все более и более сложных машин... \*

В. И. ЛЕНИН

## Глава 16. АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕМОНТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

### 16.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Автоматизация и механизация ремонтных работ способствуют улучшению качества, снижению себестоимости и сокращению сроков ремонта тракторов, автомобилей и другой сельскохозяйственной техники. Например, только от применения механизированного инструмента при ремонте производительность труда повышается в 2...5 раз.

В связи с насыщением сельского хозяйства техникой ставятся более сложные задачи по повышению качества обслуживания и сокращению сроков ремонта машин и агрегатов. Это достигается широкой автоматизацией производственных процессов и научной организацией труда в ремонтных предприятиях Госагропрома.

Технологические процессы ремонта сельскохозяйственной техники характеризуются большим разнообразием применяемого оборудования. При этом особое значение приобретает автоматизация процессов диагностики, при помощи которой определяют годность агрегата, причину выхода машины из строя, необходимость и объем ремонта. Большие затраты труда уходят на разборку и мойку ремонтируемых деталей, восстановление их работоспособности, а также сборку и послеремонтную обкатку и испытание отремонтированных агрегатов и машин. В ремонтных мастерских используются широко распространенные в промышленности токарно-винторезные, сверлильные, фрезерные, плоско- и круглошлифовальные станки, а также металлорежущие станки с программным управлением и другие. Кроме того, в мастерских имеются универсальные станки для притирки и шлифовки клапанов, механизмы для резки металлических листов и труб, нарезания резьб и образования фальцев, сгибания водогазопроводных труб, выпрессовки, сварочные агрегаты и другое оборудование.

Для очистки и мойки деталей, их гальванических покрытий и обкатки после сборки отремонтированных агрегатов используют компрессорные и гидравлические установки и специальные стенды.

Для ремонта электро- и радиооборудования, средств КИП и автоматики применяют установки общепромышленного назначения.

\* В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 1, с. 100.

Автоматизация отдельных стандов и процесса диагностики рассмотрена ниже. Описания схем автоматизации станков приведены в заводских инструкциях к ним.

Автоматизация станков сводится к решению трех задач: автоматизации загрузки заготовок (деталей), автоматизации установки, зажима и уборки деталей и автоматизации холостых и рабочих ходов механизмов станка.

Первая задача решается использованием различных загрузочных приспособлений, вторая — использованием автоматических средств совместно с передающими механизмами, третья — применением дополнительных механизмов, осуществляющих программное управление рабочими узлами станка.

Высокие возможности программного управления делают экономически выгодным применение его не только в серийном производстве деталей, но и при индивидуальном и малосерийном их производстве.

В крупносерийном производстве используются станки с числовым программным управлением (ЧПУ). Станки с системами ЧПУ требуют записи в памяти системы (магнитной ленте) технологической и геометрической информации в форме числового кода, который затем используется для соответствующего управления станком.

## 16.2. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Колхозы и совхозы, ремонтные мастерские и предприятия непрерывно развивают свою ремонтную базу, оснащают ее современным оборудованием и приборами, а при капитальном ремонте агрегатов сельскохозяйственной техники переходят на поточные линии.

Суммарные затраты на поддержание тракторов и сельскохозяйственных машин в работоспособном состоянии за срок эксплуатации в 2...3 раза превышают первоначальную стоимость этих машин.

Большие расходы на содержание техники, как отмечалось в апрельском (1983 г.) постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по дальнейшему повышению технического уровня, качества машин и оборудования для сельского хозяйства, улучшению использования, увеличению производства и поставок их в 1983—1990 годах», обусловлены пока низким качеством производства этой техники, ее обслуживания и ремонта.

Не имея приборов для определения состояния техники и высококвалифицированных кадров, механизаторы до 30...40% машин преждевременно направляют в ремонт. Одним из основных путей сокращения затрат на обслуживание и ремонт сельскохозяйственной техники является широкое использование средств диагностирования.

Диагностирование — процесс определения состояния объекта с указанием места, вида и причин дефектов, нарушений, повреждений и т. п. В технике используется техническая диагностика — отрасль знаний, изучающая и устанавливающая признаки неисправностей составных частей машин, разрабатывающая методы и средства определения технического состояния объектов диагностирования.

Внедрение технического диагностирования дает огромный технико-экономический эффект и является основным звеном планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники. Оно позволяет на 10...15% повысить межремонтный ресурс сельскохозяйственных машин, устранить необоснованную разборку узлов, ускорить ремонт, снизить до 30% трудоемкость обслуживания и ремонта, повысить мощность, экономичность и надежность техники. Благодаря своевременному диагностированию и обслуживанию на 20% сокращается число ремонтов и на 20...30% — потребность в запасных частях. Постоянно совершенствуются методы и технические средства диагностирования, разрабатываются электронные приборы и автоматические системы технической диагностики сельскохозяйственной техники.

Диагностирование включает три основных этапа: получение информации о техническом состоянии объекта; обработку и анализ полученной информации; постановку диагноза и принятие решения. На основе проведенной диагностики устанавливают вид и объем ремонтных работ, определяют и устраняют причины неисправностей и отказов, проверяют готовность машин и приводят их в работоспособное состояние.

Для систем технической диагностики необходим большой перечень первичных измерительных преобразователей для обнаружения и регистрации многочисленных скрытых дефектов контролируемых изделий.

Теоретически все неисправности можно установить методом диагностики, но практически для их определения пока отсутствуют многие первичные измерительные преобразователи. Разработка малоинерционных электрических первичных преобразователей и применение микропроцессорной техники позволяют использовать в диагностике положения теории вероятностной информации, что значительно повысит точность постановки диагноза.

При субъективном методе диагностирования обслуживающий персонал использует свои органы чувств и опыт работы и выявляет неисправности по внешнему осмотру, ощупыванию, прослушиванию, остукиванию деталей и т. д. Однако оценка технического состояния часто получается крайне неточной и не отвечает требованиям, предъявляемым к технической диагностике. Только опытный мастер-диагност может оценить, и то качественно, состояние отдельных частей машины.

Приборное диагностирование выполняют *прямыми и косвенными* методами.

При прямом диагностировании измеряют параметры деталей и по их отклонению от норм делают заключение о техническом состоянии. Измерения выполняют при помощи специальных приборов: микро- и миллиметров, нутрометров, щупов, масштабной линейки, рулетки, штангель-циркуля, угломеров, зубомеров, калибраторов, тахометров и т. п. Широко используются также приборы измерения температуры, усилий, давления, крутящих моментов, расхода жидкостей и газов, ускорений и вибраций, состава отработанных газов, жидкостей и других величин.

При косвенном диагностировании техническое состояние деталей и узлов оценивают по косвенным параметрам, например, зазор сопряжения поршня и цилиндра двигателя определяют по количеству газов, прорывающихся в его картер.

Прямые методы требуют более простых измерительных приборов, но значительно трудоемки и требуют разборки узлов. Косвенные методы имеют большую информативность, не требуют разборки узлов, но при них возникает необходимость в использовании сложных и дорогих специальных приборов и систем.

Для оценки технического состояния сельскохозяйственной техники создано значительное число диагностических приборов и установок, при помощи которых удается не только контролировать, но и повышать качество машин.

Имеющееся на сельскохозяйственных машинах контрольно-измерительное оборудование позволяет трактористу-машинисту постоянно контролировать параметры технического состояния основных агрегатов при их эксплуатации. Эти же приборы используют при диагностировании.

По мере совершенствования сельскохозяйственной техники удельный вес диагностики будет возрастать, трудоемкость ее выполнения — уменьшаться, а сами машины будут более приспособлены к диагностированию.

Для диагностирования рекомендуется укомплектовывать машинно-тракторный парк стационарными стендами (20%), передвижными установками (30%) и комплектами переносного оборудования (50%).

Для диагностирования используется большой набор технических средств.

В сельскохозяйственном производстве широко применяют безразборную диагностику и прогнозирование остаточного ресурса узлов при помощи комплектов измерителей типа КИ, разработанных в ГОСНИТИ. Установки и приспособления КИ ГОСНИТИ решают весьма широкий круг задач диагностики: измеряют крутящий момент и мощность двигателя, силу тяги и тормозные усилия на колесах, подачу и давление масляных насосов, давление в системе смазки и загрязненность фильтров гидросистемы, давление впрыска и определяют качество распыла топлива форсунками, измеряют давление сжатия в цилиндрах двигателя и момент подачи в них топлива. Эти установки позволяют определять зазоры в кривошипно-шатунном механизме и механизмах трансмиссии,

торцевые уплотнения узлов ходовой части и герметичность системы охлаждения, тепловой зазор в клапанном механизме и зазоры в подшипниках, износ шестерен коробки передач и втулочно-роликовых цепей.

В комплектах измерителей имеются приборы для проверки состояния электро- и гидрооборудования, узлов сходимости колес и свободного хода рулевого колеса, натяжения ременных и цепных передач и другие.

Методы и технические средства диагностики подробно описаны в специальной литературе [5]. Здесь мы кратко изложим основные методы приборного диагностирования состояния рабочих органов и машин.

Диагностирование по структурным параметрам — наиболее простой метод. Он сводится к определению состояния деталей по степени износа их геометрических размеров, зазору сопряженных деталей, ходу рычагов, а также по изменению герметичности рабочих объемов (камер сгорания, плунжерных пар, золотников, цилиндров управления и т. п.). Этот способ требует иногда разборки узлов и имеет невысокую точность диагностики работоспособности машины в целом.

По изменениям параметров рабочего процесса проводят диагностику двигателей внутреннего сгорания. К этим параметрам относятся температура нагрева масла в системе смазки и отработавших газов, амплитуды пульсаций давления отработавших газов и воздуха в коллекторах, амплитуды пульсаций давления топлива в топливной аппаратуре, результаты анализа содержания отработавших газов.

Метод диагностики по параметрам рабочего процесса отличается малой трудоемкостью, но имеет низкую точность.

Все перечисленные методы выполняют при постоянном участии оператора-диагноста. В автоматических системах роль оператора сводится к включению системы в начале проверки и отключению ее в конце диагностики. Автоматические системы диагностики используют виброакустические и спектрофотометрические методы контроля с набором электронных приборов.

Виброакустические методы диагностики регистрируют амплитуду и характер акустических сигналов (шумов и вибраций). Амплитуда и частота шумов и вибраций изменяются по мере износа деталей и увеличения зазоров сопряженных узлов. Задача виброакустической системы диагностики заключается в выделении сигнала, создаваемого возникшим дефектом, из многочисленных акустических помех, возникающих при нормальной работе агрегата. Другими словами, необходимо из сложных колебаний выделить информационную составляющую сигнала. Для этого используют приборы спектрального анализа, позволяющие выявлять причину, частоту и мощность вибраций, возникших из-за дефектов.

Для этого на объекте диагностики *ОД* (рис. 16.1) устанавливают первичный преобразователь акустических колебаний *ПП*, с ко-

того электрический сигнал подается на усилитель  $У$ , а затем на анализатор  $А$ .

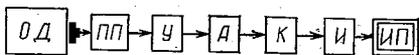


Рис. 16.1. Функциональная схема акустической системы диагностики.

На выходе анализатора поочередно выделяются составляющие (гармоники) акустических колебаний и в виде переменного напряжения подаются в квадратор  $К$ , а затем в интегратор  $И$  и измерительный прибор  $ИП$ . Квадратор на выходе дает значение мощности (квадрата напряжения), а интегратор осредняет мощность вибраций исследуемого диапазона частот за определенный промежуток времени. Значение мощности регистрирует измерительный прибор  $ИП$ . Метод акустической диагностики большинства узлов и агрегатов в сельскохозяйственной технике пока находится в стадии разработок.

Спектрофотометрический метод диагностики основан на определении содержания продуктов износа в пробе масла путем измерения спектров излучения при сжигании пробы масла в электрической дуге.

Спектры фотографируют, а потом расшифровывают по специальным спектрограммам или при помощи ЭВМ. Длительность анализа одной пробы на современных автоматических спектрофотометрах составляет 3...4 мин. По результатам периодических анализов строят графики интенсивности изнашивания и прогнозируют работоспособность объекта диагностики.

Спектрофотометрические методы имеют высокую погрешность диагностики ( $\pm 10...15\%$ ). В этой связи спектрофотометрическое диагностирование рекомендуется для предварительной экспресс-оценки технического состояния машины, а окончательный диагноз определяется более точными методами.

### 16.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МОЙКИ, РАЗБОРКИ И СБОРКИ АГРЕГАТОВ

При ремонте техники значительную долю общей трудоемкости работ занимают процессы очистки и мойки.

Наружные части машины и снятые агрегаты моют холодной или горячей водой. Первичную мойку сельскохозяйственных машин проводят на открытых площадках с использованием обычных шлангов и центробежных насосов с давлением 0,5...1,2 МПа.

Разобранные детали и узлы на ремонтных предприятиях моют в специальных камерах водяными растворами, предварительно подогретыми до температуры 60...80 °С.

Некоторые моечные растворы содержат вредные для здоровья компоненты. В МИИСПе разработаны нетоксичные моющие средства: МС-6 — для наружной очистки тракторов, автомобилей, комбайнов от маслянисто-грязевых отложений; МС-15 — для очистки трансмиссий и двигателей от масел и загустевших осадков; МС-8 — для очистки сильно загрязненных деталей.

Без автоматизации невозможно получить высокое качество моечно-очистительных работ с одновременным снижением их трудоемкости. Ремонтные предприятия оборудуются моечными конвейерами с щеточными установками для обмыва и очистки машины и установками обдува вымытых машин. Мойка и обдув осуществляются следующим образом. Машина подъезжает к конвейеру и направляется на него по сигналу светофора, который позволяет выдерживать минимальную дистанцию между машинами. Перемещаясь по конвейеру, машина своим корпусом пересекает луч света, что вызывает отключение фотореле системы автоматизации. Фотореле включает подачу тепловой воды и установку щеточной мойки, и начинается мойка движущейся машины. Приближаясь к установке обдува, машина пересекает второй луч света, и при этом происходит отпускание второго фотореле, отключение установки щеточной мойки, прекращение подачи воды и включение электровентиляторов обдува. Как только машина выйдет из зоны обдува, от луча света срабатывает второе фотореле и отключает электровентиляторы обдува.

Специальные моечные камеры имеют частичную автоматизацию технологических процессов: управление температурой и уровнем моечных растворов, периодическую их очистку от загрязнений, создание качающихся или вращающихся движений камер мойки по заданной программе.

Автоматизация разборочных и сборочных процессов сопряжена с большими трудностями, исходящими из специфики выполнения работ. Поэтому разборочные и сборочные операции выполняют в мастерских пока вручную. Однако на поточных линиях широко применяют механизированные приспособления: гайковерты, винтоверты, гидравлические и пневматические молоты, прессы, дрели и т. п.

При сборке агрегатов используют автоматические линии подачи деталей к месту сборки, транспортирования собираемого агрегата на следующее рабочее место.

Наиболее сложные процессы автоматической сборки — ориентация деталей относительно друг друга и сопряжение их. Обычно некоторые сборочные операции, легко выполняемые вручную, трудно поддаются автоматизации, и, наоборот, трудно выполняемые вручную операции легко могут быть автоматизированы.

Автоматизация сборки требует в ряде случаев изменения конструкции сборочных приспособлений и самих деталей. Технологический процесс сборки должен выполняться с наименьшим числом перемен положения деталей.

На ремонтных заводах и в мастерских для подъема, опускания и перемещения ремонтируемых агрегатов, машин и оборудования используют электрокары, тельферы и мостовые краны. Наибольшее распространение получили тельферы — подвесные тележки.

Грузоподъемность тельферов — от 0,2 до 5 т. Тельферы малой грузоподъемности имеют один электродвигатель для подъема деталей, а их тележку вручную перемещают вдоль балки.

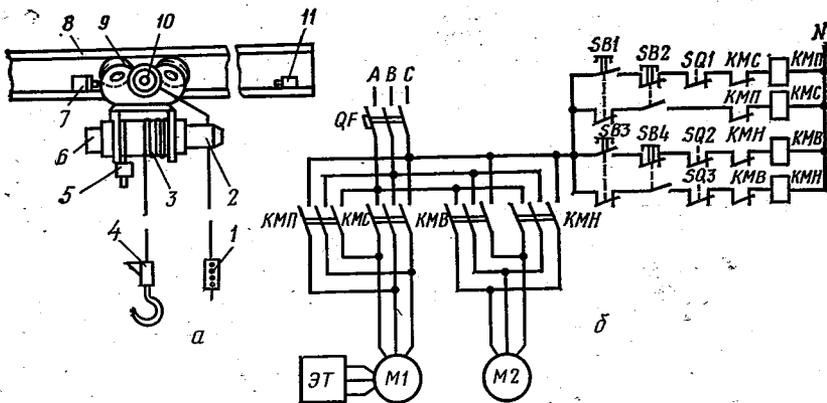


Рис. 16.2. Общий вид тельфера (а) и принципиальная электрическая схема управления (б).

Тельферы большой производительности имеют два электродвигателя для подъема  $M1$  и перемещения  $M2$  (рис. 16.2). Управляет тельфером персонал мастерской при помощи кнопочной станции 1. Подъемный барабан 3 приводится во вращение двигателем 2 ( $M1$ ). Перемещается тельфер и закрепленный на крюке 4 груз по двухтавровой балке 8 на ходовых колесах 9, которые приводятся во вращение электродвигателем 10 ( $M2$ ) через редуктор. Электрическая энергия к двигателям подводится по гибкому кабелю или жестким троллеям.

Каждый электродвигатель работает, пока нажаты пусковые кнопки подъема груза  $SB1$ , спуска  $SB2$ , перемещения вперед  $SB3$  и назад  $SB4$ . При отпуске кнопки разрываются соответствующие цепи магнитных пускателей  $KMP...KMH$ , и электродвигатели отключаются от сети. Такой метод управления назван толчковым.

Конечные выключатели 5, 7 и 11 ограничивают перемещение груза при его подъеме  $SQ1$  и горизонтальном передвижении  $SQ2$  и  $SQ3$ . При их размыкании двигатели останавливаются.

Электродвигатель подъема груза имеет электромагнитный тормоз 6 ( $ЭТ$ ), который при включенном двигателе освобождает барабан 3, а в отключенном положении стопорит его, исключая самопроизвольное спускание груза.

#### 16.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Технология восстановления изношенных деталей сельскохозяйственной техники гальваническим способом основана на осаждении металлов путем электролиза водных растворов солей металлов или кислот (хромирования).

На деталь (катод) подводят отрицательный потенциал источника питания. В качестве анода используют пластину из метал-

ла, который необходимо нанести на деталь, или пластины из нерастворимого металла, например свинца (при хромировании). К пластинам присоединяют положительный потенциал источника питания.

Масса металла, откладывающаяся на катоде, определяется по формуле Фарадея

$$G = cIt,$$

где  $c$  — электрохимический эквивалент, г/(А·ч);  $I$  — сила тока электролиза, А;  $t$  — продолжительность электролиза, ч.

Электрохимический эквивалент зависит от вида металла, расходуемого на покрытие, плотности тока, температуры электролита, формы кривой тока электролиза и других параметров.

Детали перед гальваническим наращиванием проходят специальную обработку. Их шлифуют, промывают, обезжиривают, протравливают (деканируют) в растворах серной, фосфорной или хромовой кислот, снова промывают, а затем подвешивают в электролитических ваннах и подсоединяют к отрицательному электроду источника питания. На места деталей, не подлежащие наращиванию металла, наносят электроизоляционные материалы.

Для получения качественного наращивания металлов используют различные методы изменения полярности и формы тока электролиза: а) автоматическое реверсирование тока, то есть периодическую смену полярности напряжения на детали с отрицательной на положительную, и наоборот. Длительность нахождения детали под отрицательным напряжением — на порядок более чем под положительным напряжением; б) использование асимметричного тока, то есть выпрямленного тока с различным коэффициентом выпрямления.

Универсальный источник тока для питания электролитических ванн (рис. 16.3) разработан в МИИСПе.

Источник позволяет вести процесс наращивания металла на однофазном асимметричном и на трехфазном выпрямленном токах с возможностью перехода с одного режима на другой без прерывания тока и с высокой точностью стабилизации и регулирования составляющих тока.

Источник выполнен в виде двух функциональных блоков: силового и управляющего. Силовой блок содержит понижающий трансформатор 10 кВ·А  $TV$ , тиристорный блок  $TB$ , шунты  $R1$  и  $R2$  в цепях измерения тока. Блок управления имеет катодный  $KU$  и анодный  $AU$  усилители, регуляторы катодного  $PKT$  и анодного  $PAT$  токов, блоки фазоимпульсного управления катодными тиристорами  $VD1...VD3$  (БФУК) и анодным тиристором  $VD4$  (БФУА), электродный коммутатор  $ЭК$ .

Переключателем  $SA1$  при помощи магнитных пускателей  $KM1...KM3$  можно получить три значения выходного напряжения на трансформаторе  $TV$ : 6, 12 и 24 В при максимально возможном токе 1200, 600 и 300 А. Амперметр  $PA1$  измеряет значение анод-

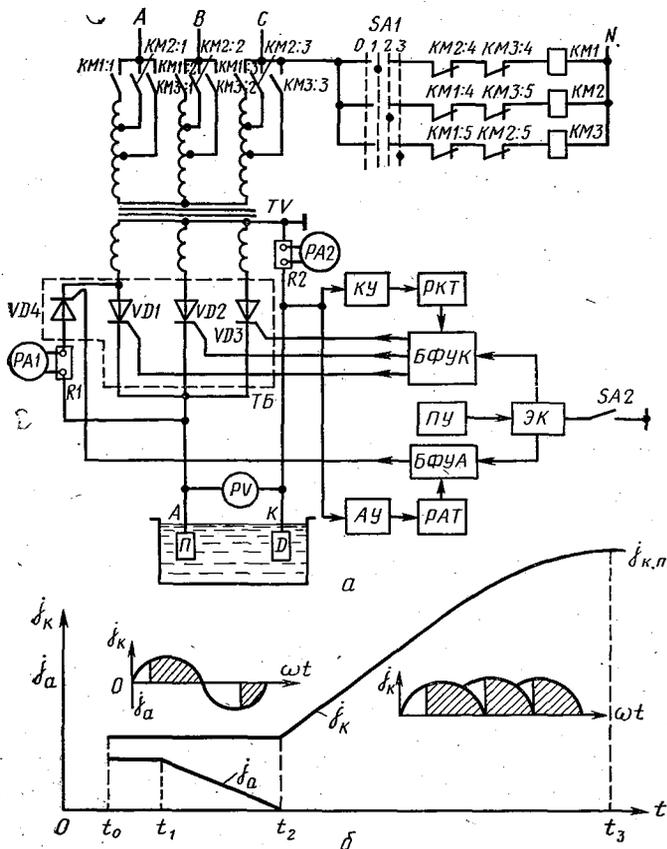


Рис. 16.3. Принципиальная электрическая схема электролитической установки (а) и диаграмма изменения плотности тока при железнении деталей (б).

ного тока, амперметр  $РА2$  — значение постоянной составляющей выпрямленного катодного тока.

В качестве первичного преобразователя силы тока используют сопротивление шунта  $R2$ , через который протекают катодные и анодные составляющие тока. Напряжение сигнала с шунта  $R2$  усиливается однополупериодными усилителями  $KУ$  и  $AУ$ , собранными на операционных микросхемах. Усилитель  $KУ$  одновременно инвертирует сигнал.

Блок  $БФУК$  поочередно управляет коммутацией тиристоров  $VD1...VD3$ , а  $БФУА$  — коммутацией тиристора  $VD4$ .

На блоки  $БФУК$  и  $БФУА$  подаются управляющие импульсы от электронного коммутатора  $ЭК$  с частотой 1 кГц. При отключенном переключателе  $SA2$  работают тиристоры  $VD4$  и  $VD1$ , которые обеспечивают асимметричную форму тока, показанную в левой части

рисунка 16.3, б. При включенном SA2 работают тиристоры VD1...VD3. Они дают пульсирующую форму выпрямленного тока, показанную в правой части рисунка 16.3, б.

Путем переключения первичной обмотки трансформатора устанавливают заданную плотность тока на восстанавливаемой детали (от 3 до 6 кА/м<sup>2</sup>). При помощи программного механизма ПУ автоматически изменяют в процессе гальванопокрытий угол открытия тиристоров VD1...VD4 в соответствии с временной диаграммой рисунка 16.3, б.

Процесс осаждения металла разбивается на несколько циклов. После погружения деталей в ванну и подключения электродов включается программное устройство ПУ (рис. 16.3), которое через определенную выдержку времени  $t_0$  устанавливает заданные для детали плотности тока прямой полуволны (катода  $j_k$ ) и обратной полуволны (анода  $j_a$ ). Через время  $t_1$ , равное около 1 мин, программное реле в течение  $t_2 = 3$  мин плавно снижает плотность тока  $j_a$  до нуля. После этого за время  $t_3$  происходит плавное увеличение плотности выпрямленного катодного тока до предельного значения  $j_{к.п.}$  Плотность тока  $j_k$  и время  $t_3$  выбирают и корректируют в зависимости от заданных параметров микротвердости, сцепляемости и толщины наращиваемых покрытий, а также от температуры, кислотности и концентрации электролитов.

Выдержка деталей без тока продолжительностью  $t_0 = 10...60$  с необходима для выравнивания температур электролита и деталей, что обеспечивает лучшую сцепляемость первого слоя покрытия с деталью.

Малая плотность тока ( $< 300$  А/м<sup>2</sup>) и наличие анодного тока в периоды  $t_1$  и  $t_2$  обеспечивают осаждение мягкого подслоя железа с небольшими внутренними напряжениями. Применение асимметричного тока повышает производительность процесса в 2...3,5 раза, улучшает сцепление покрытия с основой и позволяет получать покрытие с заданной микротвердостью.

При помощи программного устройства ПУ происходит автоматическое управление параметрами режимов обработки, а именно: стабилизацией температуры электролита, плотностью тока, кислотностью растворов и временем выдержки деталей в ванне, обеспечивающим заданную толщину покрытий. Программное устройство имеет соответствующие регуляторы.

Автоматическое регулирование температуры особенно важно при хромировании, химическом никелировании и железнении. В этих процессах колебания температуры электролита не должны превышать  $\pm 2^\circ$ . Для малых ванн применяют двухпозиционные регуляторы, для больших — регуляторы пропорционально-интегрального действия, которые управляют электрическим обогревателем раствора.

Автоматическое регулирование плотности тока осуществляют путем изменения угла открытия тиристоров VD1...VD4 (рис. 16.3).

Заданное значение плотности тока устанавливается программным устройством ПУ в зависимости от режима электролиза, а фак-

тическое — измеряется и определяется по значению падения напряжения на шунтах-резисторах  $R1$  и  $R2$ . Фактическое значение тока доводится до заданного при помощи выпрямителей  $KУ$  и  $AУ$ , регуляторов тока  $PKT$  и  $PAT$  и блоков управления  $BФУК$  и  $BФУА$  тиристорами.

Автоматическое регулирование кислотности обеспечивает получение качественных осадков металла на деталях. Измеряют кислотность рН-метрами, а корректируют ее путем добавления в электролит щелочи или кислоты.

Автоматическое регулирование заданной толщины покрытия осуществляется либо при помощи счетчика ампер-часов, либо при помощи программного реле времени.

Гальванические цеха оборудуют поточными линиями, в которых обрабатываемые детали транспортируют по определенной программе. Программой предусматривается необходимая последовательность перемещения и время выдержки в ваннах деталей при обезжиривании, промывке, декапировании, гальванопокрытии, сушке и других операциях. С этой целью гальванические поточные линии образуются манипуляторами и автооператорами, которые перемещают детали из ванны в ванну в соответствии с заданным технологическим процессом.

Автоматизация гальванических процессов повышает качество покрытий и снижает стоимость обработки, снижает трудоемкость работ и расход химикатов, улучшает условия труда и ускоряет процесс ремонта.

#### 16.5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБКАТКИ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Обкатка — завершающая операция при ремонте двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Она обеспечивает приработку взаимно трущихся поверхностей деталей. В процессе обкатки выявляются и устраняются дефекты, снижающие надежность ДВС в эксплуатации.

На мотороремонтных предприятиях применяют комбинированную тройную обкатку: холодную, горячую холостую и горячую под нагрузкой.

При холодной обкатке неработающий ДВС прокручивают от электродвигателя на малых оборотах: начиная примерно с 500 и заканчивая при 1000...1400 мин<sup>-1</sup>. При горячей холостой обкатке ДВС работает на холостом ходу. Холостая обкатка начинается с окончания холодной, когда ДВС надежно запускается, и заканчивается при 1400...1800 мин<sup>-1</sup>. Электродвигатель в этом режиме отключен.

При горячей обкатке под нагрузкой ДВС работает как первичный двигатель, вращающий тормоз или тот же электродвигатель. Электродвигатель переводят в режим генератора. Вырабатываемая им электроэнергия поступает в общую электросеть. Нагружают

ДВС постепенно, начиная с 1600...1800 мин<sup>-1</sup> и заканчивая при 1700...2200 мин<sup>-1</sup>.

Нагрузка изменяется ступенями от 10...20 до 85...100% номинальной мощности обкатываемого ДВС. Поле обкатки на этом же стенде ДВС подвергают испытанию для выявления надежности его работы и определения основных технико-экономических показателей.

Для обкатки ДВС используют стенды ГОСНИТИ с асинхронными электродвигателями мощностью от 4,5 до 160 кВт частотой вращения от 750 до 1500 мин<sup>-1</sup>. Электродвигатели используют с контактными кольцами в цепи ротора, к которым присоединяют жидкостные реостаты. Изменяя глубину погружения электродов реостата в жидкость, регулируют частоту вращения в диапазоне 1...2,5.

Неширокий диапазон регулирования частоты вращения и самопроизвольное ее отклонение из-за изменения сопротивления реостата при электроразогреве жидкости — существенные недостатки этих стендов.

Некоторые ремонтные мастерские и предприятия используют автоматические обкаточно-испытательные стенды с асинхронно-вентильным каскадом (АВК) (рис. 16.4) мощностью выше 60 кВт. Стенд содержит кинематически соединенный с валом обкатываемого ДВС 3 асинхронный электродвигатель 1 с фазным ротором. Токи обмоток ротора выпрямляются выпрямителями 22, 23 и 24, инвертируются трехфазным инвертором тока ИТ и через согласующий трансформатор 15 направляются в сеть. Благодаря наличию АВК в сеть возвращается (рекуперирована) до 80% забираемой стендом энергии.

Для автоматического управления режимами обкатки стенд оборудован соответствующими приборами: датчиками 2 крутящего момента, датчиком 4 скорости изменения температуры, датчиками температуры масла в системе смазки, датчиком частоты вращения — тахометром 14, усилителями-преобразователями 5, 6, 8 и 11, сравнивающими органами 10 и 7, задатчиками программы обкатки 9 и крутящего момента 13 и блоком 12 для фазоимпульсного управления группами вентилей 19, 20 и 21 инвертора тока ИТ. Трансформатор инвертора тока имеет трехфазную вторичную обмотку 15 и три секционированные первичные трехфазные обмотки 16, 17 и 18.

Вторичные обмотки 16 и 18 соединены по схеме «зигзаг», а обмотки 17 — по схеме «звезда» с дополнительной обмоткой, соединенной в «открытый треугольник». Это улучшает форму кривой напряжения на обмотке 15 и улучшает согласование параллельной работы инвертора ИТ с сетью.

Задатчиками 9 и 13 задаются временные программы нарастания частоты вращения и тормозного момента при обкатке двигателя с учетом температуры нагрева масла. В органах сравнения 10 и 7 происходит сравнение фактических величин частоты и момента вращения с заданными значениями. При помощи усилите-

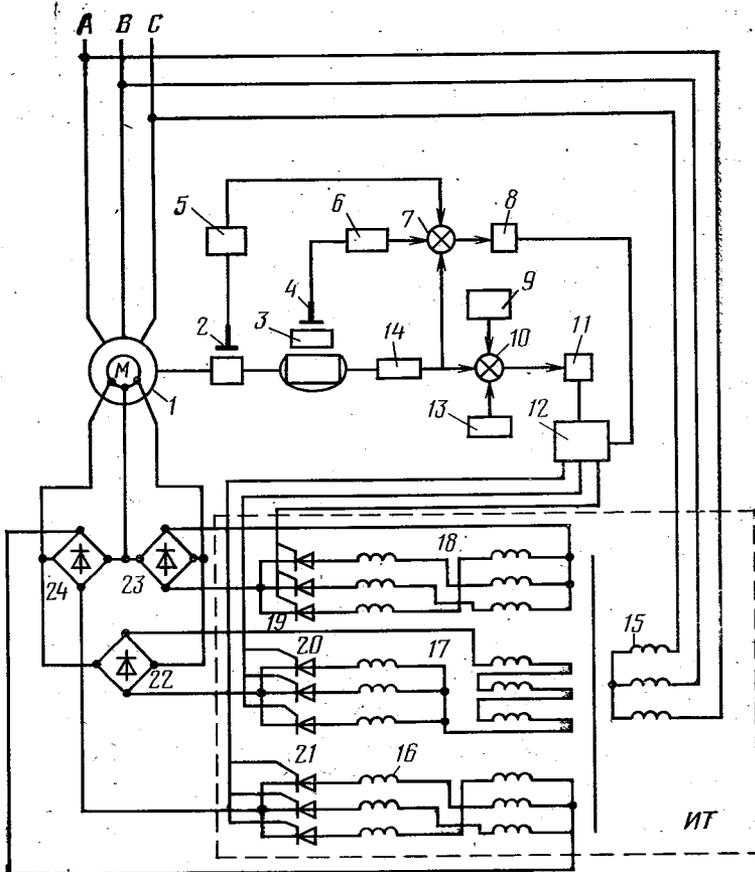


Рис. 16.4. Принципиальная электрическая схема обкаточно-испытательного стенда с АВК.

лей 8, 11, блока управления 12 и инвертора тока ИТ происходит отработка заданной программы обкатки.

Переход с одного режима на следующий происходит автоматически от датчика 4 скорости изменения температуры масла. Как только температура масла в системе смазки прекращает свой рост, то при холодной обкатке увеличивается на ступень частота вращения, а при горячей — тормозной крутящий момент. При новой стабилизации температуры вырабатывается сигнал для перехода на последующую ступень обкатки.

На крупных моторостроительных предприятиях обкаточно-испытательные стенды имеют программное управление по 3...5 независимым параметрам, а также контроль и обработку на микро-ЭВМ технико-эксплуатационных параметров ДВС при обкатке с выводом результатов на цифрпечать и выдачей данных на ЭВМ предприятия.

Повышение производительности труда составляет одну из коренных задач, ибо без этого окончательный переход к коммунизму невозможен\*.

В. И. Ленин

## Глава 17. СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО КОНТРОЛЯ И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ

### 17.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Под централизованным контролем понимается автоматический контроль параметров процесса с представлением результатов контроля в специальном (центральном) устройстве, обычно установленном у диспетчера.

Централизованный контроль предназначен для:

обнаружения отклонений контролируемых параметров от заданных значений со световой и звуковой сигнализацией и цифровой регистрацией этих отклонений;

измерения контролируемого параметра по запросу оператора и представления результатов измерения на указателе (стрелочном или цифровом);

вычисления технико-экономических показателей, характеризующих производственный процесс, с регистрацией результатов вычисления в накопителях информации или выдачей их в управляющую машину.

По результатам централизованного контроля человек-оператор принимает решение о целенаправленной корректировке хода производственного процесса.

Решения исполняются или обслуживающим персоналом или оператором при помощи устройств централизованного управления или автоматически с использованием управляющих машин.

Поскольку технологические процессы сельскохозяйственного производства сложны и многообразны, алгоритмы управления еще не сформулированы, а сами процессы протекают медленно и рассредоточены по большим территориям, то связь между системами централизованного контроля и устройствами централизованного управления в основном осуществляется через оператора-диспетчера.

По мере развития технологии и техники управления на централизованный контроль будут все шире передаваться функции формирования сигналов для управляющей машины, то есть централизованный контроль будет перерастать в автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП).

В комплекс технических средств АСУ ТП входят информационно-вычислительные устройства, предназначенные для сбора, обработки и выдачи хозяйственно-экономических информации, а также каналы связи с системой вычислительных центров.

\* В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 38, с. 97.

Системы централизованного контроля (СЦК) и АСУ ТП в первую очередь находят применение в промышленном животноводстве и птицеводстве.

На фермах промышленного типа наблюдается переход от автоматизации отдельных установок к комплексной автоматизации поточных линий и цехов. Комплексная автоматизация совместно с АСУ ТП позволяет оптимизировать работу животноводческих ферм и повышать эффективность и продуктивность производства. Это достигается благодаря более точному нормированию и раздаче корма животным, своевременному удалению навоза и созданию оптимального микроклимата, учету продукции и оперативной информации.

Оперативная информация о технологических процессах позволяет принимать необходимые решения по множеству вопросов и задач, а также оперативно управлять производством продукции.

Под оперативным управлением понимается ежедневный контроль за деятельностью производства и обеспечение взаимосогласованности и ритмичности, непрерывности и оптимальности работы всех звеньев прогрессивной технологии производства продукции.

## 17.2. СИСТЕМА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО КОНТРОЛЯ

Общая характерная особенность построения системы централизованного контроля (СЦК) — многократное использование одних и тех же узлов для обработки однородных контролируемых сигналов.

В типовой функциональной схеме системы оперативного централизованного контроля и сигнализации, параметры технологического процесса измеряются первичными преобразователями и в форме электрических сигналов подаются через переключатель в узел нормирования. В этом узле сигналы преобразуются в определенную форму, удобную для их сравнения с заданным значением в блоке обнаружения отклонения и для выдачи на цифровой преобразователь. С цифрового преобразователя информация передается на обработку в вычислительное устройство, а главные итоговые результаты изображаются на цифровом индикаторе. Вычислительное устройство одновременно является оперативной памятью и выдает информацию по требованию программного устройства.

Поскольку все параметры, характеризующие производственный процесс, трудно отобразить на многочисленных индикаторах, то все контролируемые параметры разделяют на четыре группы: 1) постоянно отображающие у оператора; 2) отображающие через определенные интервалы времени; 3) отображающие по вызову оператора; 4) отображающие при возникновении предельных отклонений параметров от заданных.

Все основные средства отображения информации располагают на приборных щитах и пультах в виде мнемосхем, показывающих и регистрирующих приборов, световых и звуковых сигнализаторов.

Их располагают в порядке, удобном оператору для восприятия информации.

Таким образом, СЦК выполняют следующие функции: регистрируют главные параметры технологического процесса, сигнализируют об аварийных изменениях (отклонениях) параметров, непрерывно или с заданной периодичностью измеряют ряд параметров и проверяют их соответствие заданным значениям, измеряют восторостепенные параметры по вызову оператора.

Современные СЦК обеспечивают также оперативную связь между центральным пунктом управления и технологическими установками, позволяют оператору-диспетчеру дистанционно изменять задания локальным системам управления.

Перед созданием СЦК и САУ ТП в первую очередь должна быть выявлена технико-экономическая целесообразность их использования.

Для наблюдения за поведением животных и птицы на фермах промышленного типа и птицефабриках целесообразно использовать телевидение. Для этой цели могут быть использованы серийные установки промышленного телевидения. Это позволит сократить посещение ферм обслуживающим персоналом, исключить посещение ферм посторонними лицами, что уменьшит возможность переноса инфекционных заболеваний и возникновения стрессовых ситуаций.

### 17.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

АСУ ТП отличаются от СЦК значительно более широким набором функций управления. Кроме централизованного контроля, АСУ ТП дополнительно выполняет следующие функции: рассчитывает и регистрирует текущие и итоговые технологические и экономические показатели, определяет оптимальные параметры технологического режима, формирует и реализует сигналы управления, обеспечивающие ведение оптимального режима; корректирует алгоритмы функционирования при изменениях условий в технологическом процессе.

Перечисленные функции могут быть выполнены только при наличии ЭВМ. Следовательно, использование ЭВМ для управления технологическим процессом — одна из основных особенностей АСУ ТП.

ЭВМ может работать в четырех режимах, а именно: 1) сбора и обработки данных; 2) советчика оператора; 3) супервизорного управления; 4) непосредственного управления.

В режиме сбора и обработки информационные параметры технологического процесса преобразуются в цифровую форму и вводятся в ЭВМ. После обработки в ЭВМ информация поступает на устройства отображения технологических параметров. Статистическая информация и ряд технологических показателей фиксируются в памяти ЭВМ и выводятся на печать для оформления документального отчета о технологическом процессе.

Работа ЭВМ в режиме сбора и обработки информации используется в тех случаях, когда из-за сложности технологического процесса функции по определению и формированию управляющих воздействий должен выполнять оператор.

В режиме советчика ЭВМ, кроме сбора и обработки информации, выполняет следующие функции: рассчитывает оптимальные параметры технологического процесса, определяет значение уставок локальных систем автоматического управления и формирует закон управляющих воздействий.

Данные с ЭВМ поступают через средства отображения информации в форме рекомендаций оператору. Оператор на основе этих данных и собственного опыта управления принимает соответствующие решения о корректировке хода технологического процесса.

ЭВМ в режиме советчика используют в технологических процессах в которых необходим осторожный подход к решениям, выработанным формальными математическими методами. К таким процессам можно отнести сложные биологические режимы в животноводстве и полеводстве.

В режиме супервизорного управления АСУ ТП с ЭВМ представляет собой двухуровневую иерархическую систему. Нижний уровень, непосредственно связанный с технологическим процессом, образуют локальные подсистемы управления с отдельными технологическими параметрами.

На верхнем (втором) уровне управления используется ЭВМ, основной функцией которой является определение оптимального технологического режима и вычисление на его основе настроек локальных подсистем.

Супервизорный режим позволяет осуществлять автоматическое управление технологическим процессом. За оператором остаются функции наблюдателя за процессом и в случае необходимости корректировка цели управления.

В режиме непосредственного управления ЭВМ рассчитывают управляющие воздействия и передают их непосредственно на исполнительные органы. В таких АСУ ТП локальные САУ подсистемы не требуются. За оператором остаются те же функции, что и при супервизорном управлении.

При управлении сложными технологическими объектами, например крупными птицеводческими фабриками, рекомендуется использовать многоуровневые АСУ ТП.

Они состоят из отдельных подсистем, между которыми установлены отношения соподчинения. Каждая подсистема имеет ЭВМ, работающую в одном из описанных выше режимов. Для таких АСУ ТП характерно, что по мере продвижения от нижних уровней к верхним информация о состоянии технологического объекта обобщается, а управляющие воздействия формируются для более крупных частей технологического процесса.

## 17.4. ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Применение централизованного принципа контроля и управления с центрального пункта позволяет существенно повысить эффективность сельскохозяйственного производства: сократить объемы обслуживания многочисленных разобщенных установок за счет ускорения поиска мест повреждения и принятия необходимых мер по их устранению, повысить надежность работы оборудования, вести более точный учет расхода кормов, трудовых затрат и полученной продукции, обеспечить ускоренное выполнение вычислительных операций и непосредственную связь с вышестоящим административно-управленческим аппаратом и системой сбора и обработки информации.

Одной из форм систем централизованного контроля является диспетчерская служба, которая по штату обязательна во всех колхозах, совхозах и на комплексах.

Диспетчерская служба — это централизованная форма оперативного управления в организации взаимодействия всего персонала хозяйства с целью своевременного и экономичного обеспечения производства продукции.

Диспетчерская служба выполняет следующие основные функции: согласует при помощи средств связи взаимодействия между персоналом, находящимся в различных местах; осуществляет постоянный контроль при помощи средств сигнализации за ходом выполнения технологических процессов; выполняет с пульта диспетчера дистанционное управления технологическими процессами; получает сведения о неполадках и перерывах в работе установок, о предельно допустимых отклонениях и возникновении аварийных ситуаций, а также принимает решения по устранению перечисленных нарушений.

Для получения и переработки информации диспетчерский пункт и объекты управления оборудуют системами сигнализации, телефонными станциями, громкоговорящей связью, радиостанциями, телевизионными установками, устройствами оргтехники и средствами отображения информации.

Благодаря введению в хозяйствах диспетчерской службы вынужденные простои сельскохозяйственных машин и установок сократились на 25 %, потери продукции — на 7...15 %.

Централизованное управление совместно с диспетчерскими средствами связи, вычислительной техникой и устройствами отображения информации образует автоматизированную систему управления производством (АСУП).

При наличии технических средств связи, информационно-вычислительных центров для обработки информации и каналов оперативного управления на высшей (четвертой) ступени образуется так называемая отраслевая автоматизированная система управления производством (ОАСУП).

Внедрение АСУП, а затем ОАСУП поднимает управление про-

производственно-хозяйственной деятельностью на новую, более высокую качественную ступень. По определению и назначению АСУП является человеко-машинной системой, предназначенной для решения организационно-экономических задач с целью получения максимума продукции при минимуме материально-технических и трудовых затрат.

АСУП, являясь новым шагом в теории и практике управления, требует использования и разработки новых принципов и методов управления, моделирования, математического обеспечения и технического оснащения.

Основное отличие АСУП от АСУ ТП и САУ — необходимость учета присутствия человеческого фактора в системе. При использовании АСУП необходимо решать вопросы общения человека с ЭВМ, разработки методов оперативного управления производством в диалоговом режиме ЭВМ, готовность управленческого аппарата к использованию новой технической базы обработки данных и выработанных машиной решений.

АСУП и ОАСУП сельскохозяйственного назначения находятся в стадии разработки и опытного внедрения в производство.

## УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы XXVII съезда КПСС.—М.: Политиздат, 1986.
2. Автоматизация технологических процессов пищевых производств/Под ред. Е. Б. Карпина.—М.: Пищевая промышленность, 1977.—432 с.
3. Автоматика на сельскохозяйственных предприятиях. Справочник.—М.: Россельхозиздат, 1978.—272 с.
4. Велик В. Ф., Советкина В. Е., Дерюжкин В. П. Овощеводство.—М.: Колос, 1981.—383 с.
5. Бельских В. И. Диагностирование и обслуживание сельскохозяйственной техники.—М.: Колос, 1980.—575 с.
6. Бородин И. Ф., Кирилин Н. И. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов.—М.: Колос, 1977.—328 с.
7. Бородин И. Ф. Технические средства автоматики.—М.: Колос, 1982.—303 с.
8. Будзко И. А., Гессен В. Ю. Электроснабжение сельского хозяйства.—М.: Колос, 1979.—479 с.
9. Ганкин М. З. Автоматизация и телемеханизация производственных процессов.—М.: Колос, 1977.—335 с.
10. Герасимович Л. С. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок.—М.: Энергия, 1980.—391 с.
11. Изаков Ф. Я., Быков Н. М., Леонтьев П. И. Механизация и электрификация птицеводства.—М.: Колос, 1982.—398 с.
12. Каминский В. М. Монтаж систем автоматизации котельных.—М.: Энергия, 1980.—256 с.
13. Ключев А. С. и др. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие.—М.: Колос, 1980.—512 с.
14. Кудрявцев И. Ф. и др. Автоматизация производственных процессов на фермах.—М.: Колос, 1977.—288 с.
15. Майзель М. М. Автоматика, телемеханика и системы управления производственными процессами.—М.: Высшая школа, 1972.—463 с.
16. Мартыненко И. И. Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматики.—М.: Колос, 1981.—304 с.
17. Мельников С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм.—Л.: Колос, 1978.—560 с.
18. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений ЦНИИПИ.—М.: Госкомизобретений СМ СССР, 1978.—32 с.
19. Мурусидзе Д. Н. и др. Установки для создания микроклимата на животноводческих фермах.—М.: Колос, 1979.—327 с.
20. Основы автоматизации управления производством./Под ред. И. М. Макарова.—М.: Высшая школа, 1983.—504 с.
21. Прищеп Л. Г. Эффективная электрификация защищенного грунта.—М.: Колос, 1980.—208 с.
22. Пястолов А. А., Мешков А. А., Вахрамеев А. Л. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования.—М.: Колос, 1981.—335 с.
23. Рысс А. А. Автоматизация технологических процессов в защищенном грунте.—М.: Россельхозиздат, 1983.—80 с.
24. Шеповалов В. Д. Автоматизация уборочных процессов.—М.: Колос, 1978.—384 с.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Автовождение 134  
Автоматизация 3  
— водоснабжения 316  
— зерноочистки 112  
— зерносушилок 24, 118  
— комплексная 9  
— кормопроизводства 219  
— котлов 288, 297  
— мобильных процессов 131  
— насосных станций 330  
— овощехранилищ 185  
— орошения 326  
— полная 10  
— полеводства 108  
— ремонта техники 341, 347, 349, 353  
— теплиц 141, 150, 157, 172  
— теплогенераторов 297  
— фруктохранилищ 208  
— холодильных установок 300  
— шампильонниц 182  
— частичная 9  
— электроснабжения 286  
Автоматизированные линии 338, 340, 341  
— системы управления 9  
— установки в животноводстве 237, 241, 257, 260, 272, 279, 283, 324, 325, 340  
— — — птицеводстве 272, 273, 282, 283, 338, 340  
Автоматическая защита 6  
— сигнализация 6  
— сортировка 6, 212  
Автоматический контроль 7, 212  
— учет 212  
Автоматическое регулирование 8  
— управление 8  
Алгоритм 7  
— функционирования 35, 48  
Астатизм 59  
  
Воздействия регулирующие 32  
Возмущения 47  
Время дифференцирования 100  
— изодрома 100  
— интегрирования 99  
— перерегулирования 34  
— разгона объекта 34  
— регулирования 34  
  
Гидропоника 147  
Грунт утепленный 142  
  
Диаграмма Лернера 104  
Диагностирование 345  
  
Емкость объекта управления 33, 38, 39  
  
Задачи автоматизации 18  
Законы управления 96, 97, 98, 99, 100, 102  
Запаздывание 73, 95  
Затраты приведенные 13  
Зона неоднозначности 102  
— нечувствительности 102  
  
Издержки эксплуатационные 12  
Информация 17  
  
Кибернетика 8  
Классификация объектов, процессов 19  
Коэффициент экономической эффективности нормативный 12  
— передачи 57, 80  
— статизма 56, 68  
Контроль централизованный 364  
  
Манипулятор 19  
Механизм исполнительный 105  
Модель математическая 37, 78, 128  
Муфта 91  
  
Обогрев теплиц 147, 148, 149  
Объект автоматизации 30, 54  
— безынерционный 61  
— технологический 25  
— управления 31  
— многоемкостный 41  
— нейтральный 59  
— нестационарный 39  
— неустойчивый 60  
Операция 21  
— технологическая 26  
— транспортная 26  
Орган регулирующий 31, 83  
  
Парники 143  
Передаточная функция 57, 69, 74

Перерегулирование 34  
Переходная характеристика 58  
Показатели качества функционирования 33, 38  
Помехи в объектах 47  
Постоянная времени объекта 56  
Процесс производственный 19  
— технологический 20, 26  
— стационарный случайный 52

Рассредоточенность параметров 40  
Регулятор 8, 86, 87, 93, 105  
Режим водный 146  
— воздушно-газовый 146  
— непосредственного управления питания 146  
— сбора и обработки данных 358  
— световой 145  
— советчика оператора 359  
— суши 127  
— супервизорного управления 359  
— тепловой 144  
— функционирования 21  
Релейная защита 7  
Рентабельность 13  
Робот 19

Саморегулирующий котел 305  
Система автоматического регулирования 8  
— — управления 7  
— — — высотой среза 137  
— — — глубиной пахоты 137  
— — — загрузкой комбайна 139  
Система «Кристалл» 290  
— «Курс-101» 294

— мелиоративная 326  
— централизованного контроля 362  
Сортировка продукции 212  
Срок окупаемости 12  
Структура 106, 107

Телемеханика 8

Теплицы 143

Управление 7  
— автоматизированное 9  
— автоматическое 9  
— по отклонению 97  
— программное 96  
Уравнение А. Стодолы 56  
Устройство автоблокировки 7  
— комплектное «Каскад» 322

Функции передаточные зерносушилки 130  
— — теплицы 152

Характеристика статическая 32  
— динамическая 33

Цепочки технологические 27

Эффект структурный 11  
— технологический 11  
— трудовой 11  
— энергетический 11  
— годовой 13  
Эффективность экономическая 10  
Экономия труда 13

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
<b>РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ</b>	
<b>НАУЧНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА</b>	
<i>Глава 1. Общие понятия и технико-экономическая эффективность автоматизации технологических процессов (И. Ф. Бородин)</i>	6
1.1. Основные понятия о системах автоматизации . . . . .	6
1.2. Основные источники и показатели технико-экономической эффективности автоматизации технологических процессов	10
1.3. Особенности автоматизации сельскохозяйственного производства . . . . .	15
<i>Глава 2. Характеристика современного сельскохозяйственного производства как объекта автоматизации (И. Ф. Бородин)</i>	17
2.1. Техническая база для автоматизации сельскохозяйственного производства . . . . .	17
2.2. Основные задачи автоматизации технологических процессов	18
2.3. Классификация процессов и объектов автоматизации сельскохозяйственного производства . . . . .	19
<i>Глава 3. Технологические процессы как объекты автоматизации</i>	25
3.1. Общие сведения о сельскохозяйственных технологических процессах (Н. М. Недилько) . . . . .	25
3.2. Технологические требования при разработке систем автоматического управления (И. Ф. Бородин)	26
3.3. Технологические установки как объекты автоматизации (Н. М. Недилько) . . . . .	30
3.4. Исходная информация о технологических процессах как объектах управления (Н. М. Недилько)	33
3.5. Общий порядок анализа и синтеза автоматических систем (Н. М. Недилько) . . . . .	35
<i>Глава 4. Статика и динамика технологических объектов управления (Н. М. Недилько)</i>	36
4.1. Физические процессы как объекты управления . . . . .	36
4.2. Химические процессы как объекты управления . . . . .	41
4.3. Биологические процессы как объекты управления . . . . .	45
4.4. Анализ возмущений . . . . .	47
4.5. Простейшие одномерные процессы . . . . .	54
4.6. Сложные технологические процессы . . . . .	65
4.7. Экспериментальное исследование динамических свойств и характеристик объектов . . . . .	75
<i>Глава 5. Регулирующие воздействия и органы (Н. М. Недилько)</i>	83
5.1. Общие сведения о регулирующих органах . . . . .	83
5.2. Регулирующие органы для изменения потоков твердых веществ . . . . .	84

5.3. Регулирующие органы для изменения потоков жидких и газообразных веществ . . . . .	86
5.4. Регулирование энергетических потоков . . . . .	91
5.5. Динамические характеристики регулирующих органов . . . . .	94
<b>Глава 6. Системы автоматизации технологических установок (Н. М. Недилько) . . . . .</b>	<b>96</b>
6.1. Законы (алгоритмы) управления . . . . .	96
6.2. Определение принципа и закона регулирования . . . . .	102
6.3. Устройства автоматического управления . . . . .	104
6.4. Функциональная и алгоритмическая структура САУ . . . . .	106

## РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

<b>Глава 7. Автоматизация технологических процессов в полеводстве (И. Ф. Бородин) . . . . .</b>	<b>108</b>
7.1. Общие сведения . . . . .	108
7.2. Автоматизация зернопунктов колхозов и совхозов . . . . .	110
7.3. Оптимизация автоматического управления очистительными и сортировальными машинами . . . . .	116
7.4. Автоматизация зерносушилок . . . . .	118
7.5. Автоматизация процесса активного вентилирования зерна . . . . .	124
7.6. Характеристика зерносушилок как объектов автоматизации . . . . .	127
7.7. Автоматизация мобильных процессов сельскохозяйственного производства . . . . .	131
<b>Глава 8. Автоматизация технологических процессов в защищенном грунте (И. Ф. Бородин) . . . . .</b>	<b>141</b>
8.1. Общие сведения . . . . .	141
8.2. Виды сооружений защищенного грунта . . . . .	142
8.3. Характеристики сооружений защищенного грунта . . . . .	144
8.4. Способы обогрева защищенного грунта . . . . .	147
8.5. Объем механизации и автоматизации технологических процессов в теплицах . . . . .	150
8.6. Математическое моделирование теплицы как объекта управления температурой . . . . .	152
8.7. Автоматизация обогрева парников . . . . .	157
8.8. Автоматическое управление микроклиматом в ангарных теплицах . . . . .	160
8.9. Автоматическое управление поливом . . . . .	165
8.10. Автоматическое управление концентрацией растворов минеральных удобрений . . . . .	168
8.11. Автоматическое управление подкормкой углекислым газом и досвечиванием растений . . . . .	170
8.12. Автоматизация технологических процессов в блочных теплицах . . . . .	172
8.13. Автоматическое управление процессами при помощи локальной системы «Тельтов» . . . . .	176
8.14. Автоматизация гидропонных теплиц и шампиньонниц . . . . .	181
<b>Глава 9. Автоматизация хранения сельскохозяйственной продукции (И. Ф. Бородин) . . . . .</b>	<b>185</b>
9.1. Общие сведения . . . . .	185
9.2. Характеристика овощехранилища как объекта управления микроклиматом . . . . .	186
9.3. Системы автоматического управления микроклиматом в овощехранилищах . . . . .	190
9.4. Система типа «Среда-1» автоматического управления микроклиматом . . . . .	193

9.5. Блоки системы «Среда-1» . . . . .	197
9.6. Работа системы «Среда-1» . . . . .	205
9.7. Автоматизация фруктохранилищ . . . . .	208
9.8. Автоматизация учета, контроля и сортирования сельскохозяйственной продукции в хранилищах . . . . .	212
<b>Глава 10. Автоматизация кормопроизводства (И. Ф. Бородин)</b> . . . . .	219
10.1. Общие сведения . . . . .	219
— 10.2. Автоматизация агрегатов для приготовления гравяной муки . . . . .	219
10.3. Автоматизация процесса гранулирования и брикетирования кормов . . . . .	223
10.4. Автоматизация комбикормовых агрегатов . . . . .	228
<b>Глава 11. Автоматизация животноводства (Н. М. Недилько)</b> . . . . .	232
11.1. Общие сведения . . . . .	232
11.2. Автоматизация кормления животных . . . . .	232
11.3. Автоматизация установок микроклимата животноводческих помещений . . . . .	242
11.4. Автоматизация уборки навоза . . . . .	257
11.5. Автоматизация доильных установок . . . . .	260
<b>Глава 12. Автоматизация птицеводства (Н. М. Недилько)</b> . . . . .	268
12.1. Общие сведения . . . . .	268
12.2. Автоматизация кормления птицы . . . . .	268
12.3. Автоматизация поения птицы . . . . .	272
12.4. Автоматизация микроклимата в птицеводстве . . . . .	273
12.5. Автоматизация управления освещением птичников . . . . .	279
12.6. Автоматизация процесса уборки помета . . . . .	282
12.7. Автоматизация сбора яиц . . . . .	283
<b>Глава 13. Автоматизация энергоснабжения (И. Ф. Бородин)</b> . . . . .	286
13.1. Автоматизация электроснабжения сельских потребителей . . . . .	286
13.2. Автоматизация котлоагрегатов . . . . .	288
13.3. Автоматизация котлов на тепличных комбинатах . . . . .	294
13.4. Автоматизация теплогенераторов . . . . .	297
13.5. Автоматизация электрических установок для подогрева воды и воздуха и получения пара . . . . .	300
13.6. Автоматизация холодильных установок . . . . .	307
13.7. Автоматизация газоснабжения сельских потребителей . . . . .	311
<b>Глава 14. Автоматизация водоснабжения и орошения (И. Ф. Бородин)</b> . . . . .	316
14.1. Общие сведения . . . . .	316
14.2. Автоматизация водонасосных установок для ферм и населенных пунктов . . . . .	317
14.3. Бесконтактные станции управления насосными агрегатами . . . . .	320
14.4. Автоматизация перекачки сточных вод . . . . .	325
14.5. Автоматизация технологических процессов гидромелиорации . . . . .	326
14.6. Автоматизация насосных станций для мелиорации . . . . .	330
<b>Глава 15. Автоматизация переработки сельскохозяйственной продукции и утилизации отходов (Н. М. Недилько)</b> . . . . .	334
15.1. Автоматизация процессов первичной обработки молока . . . . .	334
15.2. Автоматизация обработки яиц . . . . .	338
15.3. Автоматизированные технологические линии убоя птицы . . . . .	338
15.4. Автоматизация переработки боенских отходов . . . . .	340
15.5. Автоматизация утилизации навоза и помета . . . . .	340
<b>Глава 16. Автоматизация ремонта сельскохозяйственной техники (И. Ф. Бородин)</b> . . . . .	342
16.1. Общие сведения . . . . .	342
16.2. Диагностирование сельскохозяйственной техники . . . . .	343

16.3. Автоматизация технологических процессов мойки, разборки и сборки агрегатов . . . . .	347
16.4. Автоматизация гальванических процессов восстановления деталей . . . . .	349
16.5. Автоматизация обкатки автотракторных двигателей . . . . .	353
<b>Глава 17. Системы централизованного контроля и автоматизированного управления (И. Ф. Бородин) . . . . .</b>	<b>356</b>
17.1. Общие сведения . . . . .	356
17.2. Системы централизованного контроля . . . . .	357
17.3. Автоматизированные системы управления технологическими процессами . . . . .	358
17.4. Централизованный контроль и управление в сельскохозяйственном производстве . . . . .	360
<b>Указатель литературы . . . . .</b>	<b>362</b>
<b>Предметный указатель . . . . .</b>	<b>363</b>

**Иван Федорович Бородин,  
Николай Моисеевич Недилько**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Заведующий редакцией Н. М. Облезов  
 Редактор В. М. Никитина  
 Художественный редактор Е. Г. Прибегина  
 Технический редактор Г. Г. Хадкевич  
 Корректор Н. В. Панкратова

**ИБ № 3742**

Спано в набор 14.04.86. Подписано к печати 15.08.86. Т-13715. Формат 60×90<sup>1/16</sup>.  
 Бумага кн.-журн. имп. Гарнитура обыкновенная. Печать высокая. Усл. печ. л. 23<sup>+</sup>  
 +0,25 форзац. Усл. кр.-отг. 23,5. Уч.-изд. л. 24,14+0,20 форзац. Изд. № 186.  
 Тираж 10 000 экз. Заказ № 310. Цена 1 р. 10 к.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО «Агропромиздат», 407807, ГСП,  
 Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18

Московская типография № 11 Союзполиграфпрома при Государственном комитете  
 СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 113105,  
 Нагатинская, 1.