

**ВЫСШЕЕ  
ОБРАЗОВАНИЕ**

И. О. Борзин,  
С. А. Андреев

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Учебник  
2-е издание



Курс с онлайн-поддержкой

**УМО ВО**  
РЕКОМЕНДУЕТ

**Юрайт**  
ПРЕСС

И. Ф. Бородин, С. А. Андреев

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

УЧЕБНИК ДЛЯ ВУЗОВ

2-е издание, исправленное и дополненное

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом высшего образования  
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся  
по инженерно-техническим и аграрным направлениям*



Курс с практическими заданиями и дополнительными материалами доступен на образовательной платформе «Юрайт», а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»

Москва ■ Юрайт ■ 2024



УДК 681.5(075.8)  
ББК 32.965я73  
Б83

**Авторы:**

**Бородин Иван Федорович** — доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего образования, академик Российской академии сельскохозяйственных наук, лауреат государственной и двух правительственных премий, заслуженный деятель науки и техники, лауреат золотой медали имени И. А. Будзко.

**Андреев Сергей Андреевич** — кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородина энергетического факультета Российского государственного аграрного университета — МСХА имени К. А. Тимирязева.

**Рецензент:**

**Моисейкина С. Б.** — заведующая отделениями «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», «Монтаж и эксплуатация оборудования и систем газоснабжения» Балашовского техникума механизации сельского хозяйства.

**Бородин, И. Ф.**

Б83 Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления : учебник для вузов / И. Ф. Бородин, С. А. Андреев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 377 с. — (Высшее образование). — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-534-19501-9

В учебнике рассматриваются вопросы автоматизации сельскохозяйственного производства: общие понятия, объекты автоматизации, схемы ее систем, выбор элементов, автоматизация технологических процессов в животноводстве, птицеводстве, полеводстве, в защитном грунте, установок электрического облучения и обогрева, ремонта сельскохозяйственной техники и др. Учебный материал четко систематизирован и раскрывает тематику дисциплины, имеется большое количество иллюстраций, способствующих лучшему изучению курса.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Учебник предназначен студентам высших учебных заведений, аспирантам и преподавателям, а также всем интересующимся.

УДК 681.5(075.8)  
ББК 32.965я73

Разыскиваем правообладателей и наследников Бородина И. Ф.: <https://www.urait.ru/inform@>  
Пожалуйста, обратитесь в Отдел договорной работы: +7 (495) 744-00-12; e-mail: [expert@urait.ru](mailto:expert@urait.ru)

*Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.*

© Андреев С. А., Бородин И. Ф., 2005

© Андреев С. А., Бородин И. Ф.,  
2024, с изменениями

© ООО «Издательство Юрайт», 2024

ISBN 978-5-534-19501-9

# Оглавление

Принятые сокращения и обозначения.....	9
Предисловие .....	10
Введение.....	11

## Раздел 1 ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

<b>Тема 1.1. Общие понятия об автоматизации производственных процессов .....</b>	<b>17</b>
Виды автоматизации.....	17
Частичная, комплексная и полная автоматизация технологических процессов .....	19
Классификация систем автоматического управления.....	20
Составляющие экономической эффективности автоматизации .....	22
Методика расчета основных показателей экономической эффективности автоматизации технологических процессов .....	22
<b>Тема 1.2. Объекты автоматизации .....</b>	<b>25</b>
Виды и характеристики объектов автоматизации .....	25
Структура и принципы управления технологическими процессами.....	28
Типовые технические решения при автоматизации технологических процессов .....	30
Математическое описание объектов автоматизации.....	31
<b>Тема 1.3. Схемы систем автоматизации.....</b>	<b>41</b>
Принципиальные, функциональные и структурные схемы .....	41
Схемы соединений щитов, пультов управления, внешних соединений и подключений .....	45
Мнемосхемы.....	50
Порядок анализа и синтеза автоматических систем .....	51
<b>Тема 1.4. Выбор элементов систем автоматизации .....</b>	<b>53</b>
Общие сведения о приборах и средствах автоматизации технологических процессов .....	53
Измерительные преобразователи и устройства .....	53
Автоматические регуляторы, исполнительные механизмы и регулирующие органы.....	58
Основные принципы выбора автоматических регуляторов.....	69

## Раздел 2 АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

<b>Тема 2.1. Автоматизация управления микроклиматом в животноводческих помещениях .....</b>	<b>75</b>
Основные параметры микроклимата в животноводческих помещениях.....	75
Технологические основы регулирования микроклимата .....	77
Автоматизация вентиляционных установок.....	79
Автоматизация нагревательных установок .....	81
<b>Тема 2.2. Автоматизация кормления и поения животных .....</b>	<b>86</b>
Технологические основы автоматизации кормления и поения животных .....	86
Автоматизация кормораздаточных поточных линий для крупного рогатого скота.....	88
Автоматизация раздачи жидких кормов .....	92
Автоматизация поения .....	94
<b>Тема 2.3. Автоматизация уборки навоза.....</b>	<b>96</b>
Основные технологии навозоуборки .....	96
Автоматизация навозоуборочных установок .....	97
<b>Тема 2.4. Автоматизация доильных установок и линии первичной обработки молока .....</b>	<b>99</b>
Технологические основы автоматизации доения животных и первичной обработки молока .....	99
Автоматизация доильных аппаратов .....	101
Автоматизация стационарных доильных установок .....	102
Автоматизация пастеризационных установок .....	105
Автоматизация водоохладительных установок .....	106
Автоматизация установки для охлаждения молока .....	108
<b>Тема 2.5. Техническое обслуживание средств автоматики в животноводстве .....</b>	<b>110</b>

## Раздел 3 АВТОМАТИЗАЦИЯ ПТИЦЕВОДСТВА

<b>Тема 3.1. Автоматизация кормления и поения птиц .....</b>	<b>117</b>
Технологические основы автоматизации кормления и поения птиц .....	117
Принципы автоматизации оборудования для кормления и поения птиц .....	118
<b>Тема 3.2. Автоматизация управления микроклиматом в птицеводческих помещениях .....</b>	<b>121</b>
Технологические основы регулирования микроклимата в птичниках.....	121
Автоматизация управления вентиляцией птичников .....	122
Автоматизация управления влажностью воздуха.....	125
Автоматизация инкубационного процесса .....	126
<b>Тема 3.3. Автоматизация управления освещением птичников и облучением птиц .....</b>	<b>131</b>
Роль светового режима в жизни птиц и методы его обеспечения.....	131

Автоматические устройства для управления режимами освещения и облучения птиц.....	132
<b>Тема 3.4. Автоматизация процесса уборки помета.....</b>	<b>135</b>
Технологические схемы установок для удаления помета.....	135
Методика расчета частоты включения линии уборки и длительности удаления помета .....	136
<b>Тема 3.5. Автоматизация сбора яиц и убоя птицы .....</b>	<b>137</b>
Технология сбора яиц .....	137
Автоматический учет и сортировка яиц .....	137
Автоматизированные технологические линии убоя птиц .....	140
<b>Тема 3.6. Особенности эксплуатации систем автоматизации для промышленного птицеводства.....</b>	<b>141</b>

## Раздел 4 АВТОМАТИЗАЦИЯ КОРМОПРОИЗВОДСТВА

<b>Тема 4.1. Автоматизация агрегатов для приготовления травяной муки .....</b>	<b>149</b>
Технологические основы автоматизации процесса приготовления травяной муки .....	149
Технологическая и электрическая схемы агрегата для приготовления травяной муки .....	149
<b>Тема 4.2. Автоматизация гранулирования и брикетирования кормов .....</b>	<b>153</b>
Технологические основы автоматизации гранулирования и брикетирования кормов.....	153
Управление электроприводами оборудования для прессования кормов.....	156
<b>Тема 4.3. Автоматизация дозирования и смешивания кормов.....</b>	<b>160</b>
Способы дозирования кормов .....	160
Функциональные схемы дозаторов для объемного и весового дозирования кормов.....	160
Технологии смешивания кормов.....	163
Автоматизация смесителей кормов .....	165
<b>Тема 4.4. Автоматизация кормоприготовления.....</b>	<b>168</b>
Технологические основы автоматизации приготовления концентрированных кормов .....	168
Автоматизация поточных линий переработки корне- и клубнеплодов .....	169
Автоматизация приготовления концентрированных кормов.....	170
<b>Тема 4.5. Автоматизация кормоцехов .....</b>	<b>173</b>
Технология поточных линий кормоцехов .....	173
Автоматическое управление оборудованием кормоцехов .....	174
<b>Тема 4.6. Особенности эксплуатации и технического обслуживания автоматизированного оборудования для кормопроизводства .....</b>	<b>177</b>



## Раздел 5

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛЕВОДСТВЕ

<b>Тема 5.1. Автоматизация зернопунктов.....</b>	<b>185</b>
Технологическая схема зерноочистительного сушильного комплекса.....	185
Автоматизация линии обработки зерна .....	189
<b>Тема 5.2. Автоматизация зерносушилок.....</b>	<b>191</b>
Технологические основы автоматизации сушки зерна .....	191
Автоматическое регулирование температуры сушильного агента, максимально допустимой температуры зерна и его влажности .....	192
<b>Тема 5.3. Автоматизация очистительных и сортировальных машин.....</b>	<b>199</b>
Современные технологии очистки и сортировки зерновой массы.....	199
Автоматизация очистительных и сортировальных машин.....	200
<b>Тема 5.4. Автоматизация процесса активного вентиляции зерна .....</b>	<b>202</b>
Технологические основы процесса активного вентилирования зерна.....	202
Автоматическое управление процессом активного вентилирования зерна.....	203
<b>Тема 5.5. Автоматизация мобильных машин в полеводстве.....</b>	<b>206</b>
Особенности автоматизации мобильных сельскохозяйственных машин .....	206
Системы автоматического вождения тракторов .....	208
Автоматическое управление глубиной вспашки .....	210
Автоматическое управление высотой среза зеленой массы.....	211
Автоматическое выравнивание остова зерноуборочного комбайна.....	212
<b>Тема 5.6. Подготовка и техническое обслуживание машин для послеуборочной обработки зерна.....</b>	<b>213</b>

## Раздел 6

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ

<b>Тема 6.1. Автоматизация обогрева парников и теплиц .....</b>	<b>221</b>
Виды сооружений защищенного грунта .....	221
Технологические основы обогрева парников и теплиц.....	222
Основные принципы автоматизации управления обогревом сооружений защищенного грунта .....	225
Автоматическое управление температурой в парнике с почвенно- воздушным обогревом.....	229
<b>Тема 6.2. Автоматизация микроклимата в ангарных теплицах.....</b>	<b>233</b>
Общие сведения .....	233
Автоматическое управление температурой воздуха в ангарных теплицах.....	234

<b>Тема 6.3. Автоматизация полива и подкормки растений.....</b>	<b>238</b>
Технологические основы автоматизации полива и подкормки растений .....	238
Автоматизация управления поливом, подкормкой и досвечиванием растений.....	240

## Раздел 7

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ХРАНИЛИЩ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

<b>Тема 7.1. Автоматизация овощехранилищ .....</b>	<b>249</b>
Технологические основы хранения сельскохозяйственной продукции.....	249
Овощехранилище как объект управления микроклиматом .....	250
Системы автоматизации микроклимата в картофелехранилище.....	254
<b>Тема 7.2. Автоматизация фруктохранилищ.....</b>	<b>260</b>
Технологические основы автоматизации фруктохранилищ .....	260
Система автоматического управления микроклиматом во фруктохранилищах .....	260
<b>Тема 7.3. Автоматизация учета, контроля и сортирования сельскохозяйственной продукции .....</b>	<b>264</b>
Средства автоматизации учета и контроля сельскохозяйственной продукции .....	264
Автоматизация сортирования сельскохозяйственной продукции.....	265
<b>Тема 7.4. Наладка и техническое обслуживание автоматизированного электрооборудования хранилищ сельскохозяйственной продукции .....</b>	<b>271</b>

## Раздел 8

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭНЕРГО- И ВОДОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

<b>Тема 8.1. Автоматизация теплогенераторов.....</b>	<b>277</b>
Технологические схемы автоматизации современных теплогенераторов.....	277
Схемы, приборы и средства автоматизации теплогенераторов.....	277
<b>Тема 8.2. Автоматизация установок для подогрева воды, воздуха и получения пара .....</b>	<b>280</b>
Основы автоматизации теплоснабжения.....	280
Автоматика системы безопасной эксплуатации котельных.....	289
Автоматизация электрических теплоустановок .....	291
<b>Тема 8.3. Автоматизация холодильных установок.....</b>	<b>299</b>
Типы холодильных установок. Основные принципы получения искусственного холода .....	299
Современные холодильные установки.....	304
Автоматическое управление водоохлаждающей установкой .....	307
<b>Тема 8.4. Автоматизация водоснабжения и орошения.....</b>	<b>310</b>

Технологические основы автоматизации безбашенной и башенной насосных установок.....	310
Автоматизация бесконтактных станций управления насосными агрегатами .....	315
Автоматическое регулирование влажности почвы .....	320
<b>Тема 8.5. Проверка и наладка средств автоматизации для энерго- и водоснабжения сельскохозяйственных предприятий .....</b>	<b>325</b>

## Раздел 9

### АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ И ОБОГРЕВА

<b>Тема 9.1. Автоматизация установок облучения растений.....</b>	<b>335</b>
Технологические основы облучения растений в парниках и теплицах.....	335
Агротехнические нормы облучения рассады растений.....	337
Автоматизация облучательных установок.....	342
<b>Тема 9.2. Автоматизация установок ультрафиолетового облучения.....</b>	<b>343</b>
Биологические основы ультрафиолетового облучения в животноводстве и птицеводстве .....	343
Автоматическое управление ультрафиолетовым облучением .....	345
<b>Тема 9.3. Автоматизация установок инфракрасного обогрева.....</b>	<b>348</b>
Технологические основы инфракрасного обогрева.....	348
Автоматическое управление инфракрасным обогревом.....	351
Особенности эксплуатации облучательных установок .....	353

## Раздел 10

### АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕМОНТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

<b>Глава 10.1. Автоматизация технологических процессов диагностики, мойки, разборки и сборки агрегатов.....</b>	<b>357</b>
Технологические основы диагностики сельскохозяйственной техники....	357
Автоматизация технологических процессов мойки, разборки и сборки агрегатов.....	361
Автоматическое управление тельфером .....	362
<b>Глава 10.2. Автоматизация процессов восстановления деталей .....</b>	<b>364</b>
Основы восстановления изношенных деталей .....	364
Автоматизация процессов восстановления деталей при ремонте .....	365
<b>Глава 10.3. Автоматизация обкатки автотракторных двигателей .....</b>	<b>369</b>
Режимы обкатки автотракторных двигателей.....	369
Автоматизация обкаточных стендов .....	369
<b>Перечень лабораторных работ .....</b>	<b>372</b>
<b>Литература .....</b>	<b>377</b>

## Принятые сокращения и обозначения

- САУ — система автоматического управления  
САР — система автоматического регулирования  
ОУ — объект управления  
ОА — объект автоматизации  
УУ — управляющее устройство  
ВЭ — воспринимающий элемент; ВО — воспринимающий орган  
ПЭ — преобразующий элемент  
РЭ — регулирующий элемент; РО — регулирующий орган  
ОС — обратная связь  
Р — регулятор  
ТП — технологический процесс  
АСУ ТП — автоматизированная система управления технологическим процессом  
АСУП — автоматизированная система управления производством  
П-, И-, Д-закон — соответственно пропорциональный, интегральный, дифференциальный закон управления (регулирования)  
 $y$  — управляемая (регулируемая, выходная) величина  
 $u$  — управляющее (регулирующее) воздействие  
 $g$  — задающее воздействие  
 $f$  — возмущающее воздействие  
 $x$  — ошибка управления (сигнал рассогласования; отклонение управляемой величины)  
АЧХ, ФЧХ и АФЧХ — амплитудно-частотная, фазочастотная и амплитудно-фазочастотная характеристика  
 $h(t)$  — переходный процесс управления  
 $w(t)$  — весовая функция  
 $W(p)$  — передаточная функция звена или системы в операторной форме  
 $(p)$  — передаточная функция по ошибке



## Предисловие

Автоматизация технологических процессов (АПК) базируется на основе комплексной механизации и электрификации отдельных технологических операций с целью полной или частичной замены оператора специальными техническими средствами контроля и управления.

В научных лабораториях мира непрерывно ведется кропотливая исследовательская работа по созданию приборов и систем для повышения производительности технологических процессов, повышения качества продукции, снижению отрицательного воздействия на окружающую среду и улучшению условий труда. При этом особый упор делается на разработку роботизированных устройств, реализующих гибкие законы управления с помощью микропроцессорных средств. Вместе с тем наряду с постепенным внедрением передовых технических достижений в практике отечественного сельскохозяйственного производства остаются востребованными релейно-контактные управляющие устройства. Такие устройства серийно выпускаются рядом промышленных предприятий и хорошо себя зарекомендовали благодаря высокой надежности, неприхотливости и простоте эксплуатации. Именно поэтому в настоящее издание в качестве примеров технических решений по автоматизации технологических процессов в АПК помимо сложных микропроцессорных систем включены широко распространенные, доступные для изучения релейно-контактные схемы.

В учебнике рассматриваются вопросы автоматизации сельскохозяйственного производства: общие понятия, объекты автоматизации, схемы ее систем, выбор элементов, автоматизация технологических процессов в животноводстве, птицеводстве, полеводстве, в защитном грунте, установок электрического облучения и обогрева, ремонта сельскохозяйственной техники и др.

## Введение

**Роль автоматизации в техническом прогрессе.** Автоматизация технологических процессов (АТП) — это высокий уровень комплексной автоматизации и электрификации сельскохозяйственного производства, при котором человек-оператор полностью или частично заменен специальными техническими средствами контроля и управления.

Механизация, электрификация и автоматизация технологических процессов способствуют повышению производительности труда в сельском хозяйстве при неуклонном сокращении его ручной доли.

Внедрение средств автоматизации стало возможным только после комплексной механизации и электрификации сельскохозяйственного производства. В мире непрерывно идет научно-исследовательская работа по созданию для сельского хозяйства систем автоматики и приборов специфического назначения, внедрение которых даст значительный экономический эффект. При этом большое значение имеют автоматические системы управления (АСУ) с управляющими микро-ЭВМ. Последние позволяют управлять технологическими процессами (ТП) и производством в целом в оптимальных режимах и значительно экономят затраты труда на единицу продукции.

С помощью средств автоматизации сельскохозяйственного производства можно повысить надежность и продлить срок службы технологического оборудования, облегчить и оздоровить условия труда, повысить его безопасность.

**Краткий очерк развития автоматизации.** Автоматизацию производства осуществляют с помощью специальных технических средств, которые состоят из большого числа отдельных элементов. Слово «автомат» произошло от древнегреческого «аутоматос», что означает самодействующий аппарат.

Первые дошедшие до нас сведения об автоматических устройствах относятся к началу нашей эры, однако практический интерес к автоматике появился в эпоху промышленного переворота в Европе (XVIII—XIX вв). В 1765 г. И. И. Ползунов изобрел автоматический регулятор питания парового котла, а в 1784 г. Уайтт разработал автоматический регулятор скорости паровой машины. Оба эти открытия в скором времени стали широко применять в технике.

Первыми автоматическими устройствами в электротехнике были регулятор напряжения Э. Х. Ленца и Б. С. Якоби, а также дифферен-

циальный регулятор для дуговых ламп В. Н. Чиколева, предложенные в середине XIX в.

Широкое внедрение автоматических устройств в производство началось после Первой мировой войны и продолжается до настоящего времени. Элементная база автоматики прошла несколько этапов своего развития.

На *первом этапе* (и до сих пор) в сельском хозяйстве широко использовали релейно-контактную аппаратуру: реле, магнитные пускатели, распределители, переключатели и т. д. В 1930-е гг. широкое распространение в промышленной автоматике получили электронные лампы и различные электровакуумные приборы. Эти приборы из-за ряда недостатков не были приспособлены для широкого использования в автоматике сельскохозяйственного производства. Ограниченный срок службы, низкая виброустойчивость, работа только при положительных температурах и относительной влажности не выше 80 %, отсутствие мгновенной готовности к действию из-за наличия цепей разогрева и другие недостатки сдерживали их внедрение в производственные процессы.

На *втором этапе*, который относится к 1950—1960-м гг., появились многочисленные полупроводниковые элементы: диоды, триоды, тиристоры, симисторы и т. д. Эти элементы стали широко использовать при автоматизации сельскохозяйственного производства, так как они имеют практически неограниченный срок службы, высокую виброустойчивость, мгновенную готовность к действию, широкий диапазон мощностей, легко komponуются с релейно-контактной аппаратурой и электрическими исполнительными механизмами.

Одновременно был создан широкий класс гидравлических и, что особенно важно, пневматических логических и функциональных элементов, обладающих некоторыми преимуществами перед электрическими. Эти элементы дешевле и проще по устройству, взрыво- и пожаробезопасны (так как они без электрических цепей), имеют большую коррозионную стойкость и высокую безотказность работы.

На *третьем этапе*, относящемся к 1970-м гг., появилось новое направление в создании узлов автоматики и вычислительной техники на принципиально новых элементах, которые были названы интегральными микросхемами. Эти элементы обусловили существенную миниатюризацию автоматических устройств.

На *четвертом* (сегодняшнем) *этапе* происходит широкое внедрение вычислительной и микропроцессорной техники. Как интегральные, так и функциональные элементы выполняют на так называемых твердых схемах, представляющих собой монолитные полупроводниковые блоки с неоднородной структурой, принцип действия которых основан на физических свойствах твердого тела.

Интегральные и функциональные микросхемы — основная фундаментальная база развития новой электронной аппаратуры, характеризующейся высокой надежностью работы (интенсивность отка-

зов  $10^{-9}$  1/ч) из-за отсутствия внутрисхемных соединений и хорошей защиты отдельных ее компонентов от внешних воздействий.

**Особенности автоматизации сельскохозяйственного производства.** При автоматизации сельского хозяйства учтен богатый опыт автоматизации промышленности. Вместе с тем к методам и средствам автоматизации, применяемым в животноводстве и растениеводстве, предъявляют специфические требования, обусловленные характерными особенностями этих отраслей сельскохозяйственного производства. В отличие от промышленности в сельском хозяйстве к объектам автоматизации помимо техники относятся почва и живые организмы, т. е. машинная технология тесно связана 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 сельскохозяйственных машин и установок, многие из которых далеко не всегда приспособлены для применения на них устройств автоматики.

В сельскохозяйственном производстве используют свыше 3000 наименований машин по типам, почти 60 % из которых предназначены для полеводства и около 30 % — для животноводства и птицеводства. Следует отметить также рассредоточенность сельскохозяйственной техники по большим площадям и удаленность ее от ремонтной базы, относительно малую мощность установок, низкие скорости движения, сезонность работы в году и непродолжительность использования в течение суток, а также невысокий уровень квалификации операторов. Даже в животноводстве, где операции совершаются и повторяются ежедневно по определенному циклу, общая продолжительность работы машин относительно мала. Следовательно, средства автоматики должны быть очень разнотипными, относительно дешевыми, простыми по устройству и надежными в эксплуатации.

Основная особенность сельскохозяйственного производства заключается в неразрывной связи техники с биологическими объектами (животными, растениями), для которых характерны непрерывность процессов образования продукции и цикличность ее получения, невозможность увеличения выпуска продукции за счет ускорения производства. В этих условиях автоматика должна работать достаточно надежно, так как такой процесс нельзя прервать и практически невозможно наверстать упущенное за счет интенсификации последующего периода.

Возмущающие воздействия имеют высокую степень неоднородности и случайности. У многих сельскохозяйственных объектов автоматики контролируемые и регулируемые параметры распределены как по технологическому процессу (или большому объему), так и во времени. Например, в нагревательных установках и сушилках, зернохранилищах и овощехранилищах, теплицах и животноводческих помещениях необходимо контролировать по всему объему температуру, влажность, газосодержание, освещенность и т. п. Для таких объектов системы автома-



тики должны иметь оптимальное число датчиков и исполнительных органов и в то же время обеспечивать управление параметрами во всех рассредоточенных зонах с заданной точностью и надежностью.

Большинство сельскохозяйственных установок работает на открытом воздухе, для которого характерны: изменение влажности и температуры в широком диапазоне, наличие примесей, пыли, мякины, песка в полеводстве или агрессивных газов (аммиака, сероводорода и диоксида углерода — углекислого газа) в животноводстве, а также значительные вибрации.

Условия работы средств автоматики в сельском хозяйстве остаются очень тяжелыми, а вероятность возникновения их неисправностей значительно выше, чем в других отраслях. Вследствие перечисленных особенностей методы и средства автоматизации сельскохозяйственного производства существенно отличаются от методов и средств автоматизации промышленности.

Для грамотного выбора, монтажа и эксплуатации технических средств автоматики нужны высококвалифицированные специалисты. Выпускникам техникумов и колледжей по специализации «Автоматизация сельскохозяйственного производства» предстоит решать проблемы научно-технического, организационно-технологического и социально-экономического характера. Они должны хорошо знать технологию производства, его организацию, экономику и планирование, разбираться в механических, электрических, гидравлических и пневматических устройствах автоматики, уметь читать принципиальные схемы и владеть навыками правильной эксплуатации автоматических систем.

# **Раздел 1**

# **ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ**

# **СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО**

# **ПРОИЗВОДСТВА**



# Тема 1.1

## ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

### Виды автоматизации

Исходя из функций, выполняемых специальными автоматическими устройствами, различают следующие основные виды автоматизации: автоматический контроль, автоматическая защита, дистанционное, автоматическое и 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, месте и характере нарушений технологического процесса (ТП). Сигнальными устройствами служат лампы, звонки, сирены, специальные мнемонические указатели и другие световые и звуковые устройства.

Автоматическое измерение предназначено для измерения и передачи на специальные указательные и регистрирующие приборы значений физических величин, характеризующих ТП или работу машин. Обслуживающий персонал по значениям приборов оценивает качество ТП и режимы работы машин и агрегатов.

Автоматическая сортировка имеет целью контроль и разделение продукции и сырья по размерам, массе, твердости, вязкости, цвету и другим показателям (например, сортировка зерна, яиц, картофеля, листьев табака и т. п.).

Автоматический сбор информации служит для получения информации о ходе ТП, 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 или аварийных режимов либо прекращают контролируемый производственный процесс (например, отключают определенные участки электроустановки при возникновении на них коротких замыканий), либо автоматически восстанавливают нормальный режим работы. Автоматическая

защита тесно связана с автоматическим управлением и сигнализацией. Она воздействует на органы управления и оповещает обслуживающий персонал об осуществленной операции.

Автоматическую защиту, выполненную на основе реле, называют релейной. Ее применяют на электрических станциях, подстанциях, в сетях и различных устройствах.

**Дистанционное управление** объединяет в себе методы и технические средства управления установками и различными объектами на расстоянии. Команды на управление подаются обслуживающим персоналом по линиям связи с помощью 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 останов оборудования, включение и отключение вспомогательных устройств, обеспечение безаварийной работы, соблюдение требуемых значений параметров в соответствии с оптимальным ходом ТП и т. д.

Сочетание комплекса технических устройств с объектом управления (ОУ) называют системой автоматического управления (САУ). Под входящим в состав САУ объектом управления понимают отдельную совокупность элементов, в которой технологические процессы подвергаются целенаправленным воздействиям. К такой совокупности можно отнести, например, теплицу, хранилище продукции, трактор, комбайн, животное и т. п.

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, называемым *автоматическим регулятором*.

**Телемеханика** — область науки и техники, охватывающая теорию и технические средства автоматической передачи на расстояние команд управления и информации о состоянии объекта. Телемеханические системы позволяют объединить в один ТП работу большого числа машин и установок, расположенных одна от другой на значительном расстоянии. В зависимости от назначения их принято разделять на системы телесигнализации, телеизмерения и телеуправления.

В зависимости от степени автоматизации различают *ручное, автоматизированное и автоматическое управление*. При ручном управлении все функции управления выполняет человек-оператор. При автоматизированном управлении часть функций выполняет человек, а другую часть — автоматические устройства. При автоматическом управлении все функции управления выполняют автоматические устройства.



В современной автоматике различают автоматизированные системы управления производством (АСУП) и технологическими процессами (АСУ ТП).

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

АСУ ТП — это тоже человеко-машинная система, которая предназначена для контроля за режимами работы, сбора и обработки информации о ходе ТП, а также для выдачи управляющих воздействий на ТП в соответствии с принятым критерием управления. Обычно АСУ ТП охватывает отдельные цеха, животноводческие и птицеводческие фермы, хранилища, хозяйства в целом. АСУ ТП помогает диспетчеру и руководителю предприятия оперативно принимать решение по оптимальному управлению производственным процессом, опираясь на показатели отдельных технологических операций.

### **Частичная, комплексная и полная автоматизация технологических процессов**

По степени автоматизации управления производственными ТП 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.

**Комплексная автоматизация** ТП означает автоматическое выполнение всего комплекса операций и установок по обработке материалов и их транспортированию по заранее заданным программам при помощи различных автоматических устройств, входящих в общую систему 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, управление кормоприготовительными агрегатами.

**Полная автоматизация** в отличие от комплексной возлагает выполнение функций выбора и согласования режимов работы отдельных машин и агрегатов 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 перенастройки всей системы на новые режимы работы.

Опыт автоматизации промышленности показывает, что при частичной автоматизации затраты на средства автоматики составляют 1...10 % капитальных вложений на установку в целом, при комплексной — 10...25 % и при полной — свыше 25 %. В сельском хозяйстве на средства автоматики и метрологические приборы расходуется менее 7 %, хотя относительная стоимость их в теплицах составляет 15...40 % общей стоимости технологического оборудования.

## **Классификация систем автоматического управления**

Основной задачей любого процесса управления является выработка и реализация решений, обеспечивающих наиболее эффективное достижение поставленной цели. Объектом управления может быть ТП целиком или отдельная его часть. Процесс управления — это совокупность операций над ОУ, необходимых для достижения цели управления.

Типовая САУ включает в себя два элемента — ОУ и устройство управления (УУ). На вход УУ подается сигнал, равный разности фактического значения управляемой величины  $y(t)$  и ее заданного значения  $g$ . Выходной сигнал УУ  $u(t)$  одновременно является управляющим воздействием  $f(t)$ , которое определяет непланируемое изменение  $y(t)$ .

В состав УУ входят измерительный преобразователь (ИП), измеряющий регулируемую величину и преобразующий ее в сигнал другой физической природы; задатчик (ЗД); собственно УУ, преобразующее отклонение регулируемой величины от заданного значения в соответствии с заложенным в него алгоритмом; исполнительный механизм (ИМ), выполняющий команду регулятора по изменению положения регулирующего органа (РО), управляющего расходом вещества или энергии в ОУ.

Современные САУ классифицируют по следующим признакам.

**По характеру использования информации** различают *разомкнутые* и *замкнутые* САУ. В разомкнутых САУ имеет место одностороннее воздействие УУ на ОУ. Разомкнутые САУ в свою очередь подразделяют на системы с *жесткой программой* и с *управлением по возмущению*. Примером системы с жесткой программой может служить САУ освещением в птичнике, когда в заданные моменты времени происходит ступенчатое включение или отключение групп ламп. В разомкнутых САУ, действующих по возмущению, управление осуществляется на основании информации о возмущающем воздействии. Например, можно управлять работой насоса, подающего воду в водонапорный бак, в зависимости от расхода воды в каждый конкретный момент времени.

Замкнутые системы используют информацию о текущих значениях выходной величины  $y(t)$ , определяют отклонение  $x(t)$  управляемой

величины от ее заданного значения  $g$  и принимают действие к уменьшению или полной ликвидации  $x(t)$ .

Системы, в которых сочетаются принципы управления по возмущению и по отклонению, называют *комбинированными*.

**По методу управления** САУ подразделяют на *приспосабливающиеся (адаптивные)* и *неприспосабливающиеся к изменяющимся условиям работы ОУ*. Неприспосабливающиеся САУ предназначены для стационарных объектов и имеют постоянную структуру и параметры настройки. Приспосабливающиеся, или адаптивные, САУ целенаправленно изменяют алгоритм управления или параметры управляющих воздействий для достижения наилучшего управления нестационарным объектом.

**По результатам работы системы в установившемся состоянии** САУ делят на *статические* и *астатические*. В статических системах по окончании переходного процесса остается разница между заданным и установившимся значениями управляемой величины. В астатических системах этой разницы нет.

**По характеру изменения управляющих воздействий во времени** САУ делят на *непрерывные* и *прерывистые*, или *дискретные*. В непрерывных системах управляемая величина  $y(t)$  и управляющее воздействие  $u(t)$  — непрерывные функции времени. Это проявляется в том, что в случае непрерывного изменения  $y(t)$  также непрерывно изменяется  $u(t)$ . В прерывистых системах управляющее воздействие, а иногда и управляемая величина меняются скачкообразно (дискретно) в определенные моменты времени или при достижении определенного значения переменных.

Прерывистые САУ, в свою очередь, подразделяют на *релейные*, *импульсные* и *цифровые*. В релейных (позиционных) системах один или несколько элементов имеют существенно нелинейную (релейную) характеристику. В соответствии с этой характеристикой управляющее воздействие изменяется скачкообразно при определенном значении управляемой величины. Импульсные системы имеют в своем составе звено, преобразующее непрерывную управляемую величину в дискретную импульсную, т. е. в последовательность импульсов с заданным периодом их появления. При этом управляемой величине пропорциональна амплитуда или длительность импульсов. В цифровых системах управляющие воздействия формируются цифровыми вычислительными устройствами, которые оперируют не с непрерывными сигналами, а с дисперсными числовыми последовательностями.

**По числу управляемых величин** различают *одно- и многомерные* САУ. Первые из них имеют одну управляемую величину, вторые — несколько. Кроме того, многомерные САУ могут быть разделены на системы *несвязанного* и *связанного управления*. В системах несвязанного управления УУ непосредственно между собой не связаны и воздействуют на общий для них ОУ отдельно. В системах связанного управления УУ связаны между собой внешними связями с целью уменьшения взаимного влияния управляемых величин.

## **Составляющие экономической эффективности автоматизации**

Один из главных критериев целесообразности автоматизации технологических процессов — экономическая эффективность. Экономическая эффективность автоматизации определяется уменьшением совокупных текущих и капитальных затрат на производство единицы продукции. При автоматизации сельскохозяйственных процессов капитальные затраты обычно несколько возрастают, а эксплуатационные расходы на единицу продукции существенно сокращаются. Иными словами, капитальные затраты возрастают в меньшей степени, чем уменьшаются текущие затраты. Таким образом, эффективность автоматизации характеризуется сокращением затрат на производство единицы продукции.

Экономическая эффективность автоматизации формируется из четырех составляющих: энергетической, трудовой, структурной и технологической.

**Энергетическая составляющая** определяется по сокращению расхода топлива или энергии, увеличению надежности и долговечности работы энергетического оборудования, экономичности работы систем энергообеспечения, повышению КПД силовых установок и т. п.

**Трудовая составляющая** связана с сокращением прямых затрат труда обслуживающего персонала на выполнение ТП. При автоматизации процесса затраты труда существенно сокращаются. В то же время происходит незначительное увеличение капитальных затрат на ее техническое обеспечение.

**Структурная составляющая** обусловлена сокращением регулирующих и запасных емкостей, уменьшением служебных помещений и инженерных коммуникаций, снижением металлоемкости и стоимости оборудования, увеличением количества продукции, получаемой с единицы площади, или объема производственных зданий, повышением концентрации построек на территории.

**Технологическая составляющая** обусловлена увеличением производства сельскохозяйственной продукции за счет автоматизации ТП. Например, в животноводстве, растениеводстве, защищенном грунте — это создание благоприятных климатических условий путем автоматического управления микроклиматом в зависимости от времени суток, сезона, возраста животных, а также связанное с автоматизацией сокращение расхода корма и повышение качества продукции.

## **Методика расчета основных показателей экономической эффективности автоматизации технологических процессов**

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



Капитальные затраты можно рассчитать по формуле

$$K = K_c + K_m + K_z + K_o - K_p, \quad (1.1)$$

где  $K_c$  — стоимость средств автоматики с учетом их доставки, монтажа и наладки, р.;  $K_m$  — затраты на модернизацию действующей техники и технологии, связанные с автоматизацией, р.;  $K_z$  — стоимость строительства и реконструкции зданий в связи с внедрением автоматизации, р.;  $K_o$  — стоимость основных средств, подлежащих ликвидации при внедрении устройств автоматики, р.;  $K_p$  — стоимость реализованной части ликвидируемых основных средств, р.

Годовые эксплуатационные издержки, как правило, вычисляют так:

$$И = И_o + И_T + И_z + И_э + И_c, \quad (1.2)$$

где  $И_o$  — амортизационные отчисления, р.;  $И_T$  — отчисления на текущий ремонт, р.;  $И_z$  — затраты на заработную плату, р.;  $И_э$  — стоимость электроэнергии, р.;  $И_c$  — стоимость топлива и смазочных материалов, р.

Прибыль, р/год:

$$П = И_n - И_a + Д, \quad (1.3)$$

где  $И_n$  — годовые эксплуатационные издержки при неавтоматизированном производстве, р./год;  $И_a$  — то же, при автоматизированном производстве, р/год;  $Д$  — дополнительный доход, полученный за счет улучшения качества продукции, снижения потерь и т. п., р/год.

Срок окупаемости капитальных затрат на автоматизацию при одинаковом годовом объеме производства

$$T = \frac{K_a - K_n}{И_n - И_a + Д}, \quad (1.4)$$

где  $K_n$ ,  $K_a$  — капитальные затраты соответственно при неавтоматизированном и автоматизированном производстве:  $K_n < K_a$ , р.

Производительность труда — важнейший показатель экономической эффективности. Она определяется качеством продукции, произведенной в единицу времени, или количеством рабочего времени, затраченного на производство единицы продукции. Повышение производительности труда, которое произошло в результате автоматизации, отражает уменьшение затрат труда (в процентах):

$$З_T = \frac{З_n - З_a}{З_n} \cdot 100\%, \quad (1.5)$$

где  $З_n$  — затраты труда на единицу продукции или вид работы при неавтоматизированном производстве, р.;  $З_a$  — то же, при автоматизированном производстве, р.

Рентабельность производства связана с денежным измерением затрат труда и характеризует уровень доходности производства:

$$P = \frac{C - C_0}{C_0} \cdot 100\%, \quad (1.6)$$

где  $C$  — оптовая цена продукции, р.;  $C_0$  — себестоимость продукции, р.

При автоматизации ТП следует вычислять показатель  $\Delta P$  дополнительной рентабельности (р.), не связанный с оптовой ценой продукции:

$$\Delta P = \frac{C_n - C_a}{C_n} \cdot 100\%, \quad (1.7)$$

где  $C_n$  — себестоимость продукции неавтоматизированного производства, р.;  $C_a$  — то же, автоматизированного производства, р.

Приведенные затраты  $Z_n$  позволяют оценить и выбрать (по минимальному значению) наиболее эффективный вариант автоматизации ТП. Эти затраты определяют по эксплуатационным издержкам за год и первоначальным капитальным вложениям  $K$  на автоматизацию, приведенным к одинаковой размерности через нормативный коэффициент эффективности  $E_n$

$$Z_n = I + E_n K, \quad (1.8)$$

где  $E_n = 0,2$ .

Годовой экономический эффект, р., от автоматизации при выпуске одной и той же продукции

$$\Delta = (Z_{n1} - Z_{n2})A, \quad (1.9)$$

где  $Z_{n1}$ ,  $Z_{n2}$  — приведенные затраты на единицу продукции соответственно до и после автоматизации, р.;  $A$  — годовой объем производства продукции после автоматизации.

Иногда целесообразно принимать во внимание социальные и экономические факторы, изменение которых вызвано использованием средств автоматизации. Поскольку количественно оценить социально-экологические факторы не всегда удается, то выбирают вариант автоматизации, который лучше удовлетворяет социальным стандартам и экологическим нормативам, например улучшению условий труда, его престижности, снижению уровня вредных веществ и т. д.

Экономическую эффективность автоматизации ТП можно анализировать в такой последовательности:

- собрать и обобщить исходные данные; выбрать базу сравнения;
- определить затраты, необходимые для приобретения и внедрения средств автоматики;
- подсчитать годовые эксплуатационные издержки на содержание средств автоматики;
- исследовать влияние автоматизации на технико-экономические и социально-экологические показатели производственного процесса;
- выявить ожидаемый экономический эффект от внедрения автоматизации.

## Тема 1.2

# ОБЪЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

### Виды и характеристики объектов автоматизации

В качестве объектов автоматизации (ОА) можно понимать либо материальные объекты (помещения, установки, машины, выполняющие технологические процессы), либо непосредственно сами технологические процессы. Единого мнения по определению ОА пока нет. С одной стороны, важна эффективность технологических процессов. И в этом смысле под ОА целесообразно понимать именно сам процесс. Например, процессы кормораздачи, горения пламени, формирования биомассы, обработки и накопления информации. С другой стороны, большинство технологических процессов происходит в материальных объектах: животноводческих фермах, калориферах, теплицах, процессорах и т. п. И человек воздействует на эти процессы, как правило, с помощью материальных органов. Поэтому в качестве ОА столь же обоснованно можно принимать материальные носители технологических процессов.

Технологический процесс как ОА характеризуется несколькими качественными и количественными показателями, на которые влияет ряд возмущающих и управляющих воздействий. Одни возмущения, влияющие на ход ТП, можно контролировать (прирост массы животных на откорме, наступление фазы цветения растений), а другие могут иметь случайный и неконтролируемый характер (поломки оборудования, заболевания животных и растений). Управляющие воздействия регламентируются расписанием дня, режимом работы технологического оборудования, производственными инструкциями и т. д.

Технологическая установка как ОА характеризуется некоторыми показателями качества — технологическими параметрами, являющимися выходными координатами, а также искусственно создаваемыми входными воздействиями, прямо или косвенно влияющими на состояние ОА.

Простейшие ОА 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. 1.1).

К простым можно отнести также технологические установки с несколькими входными и выходными координатами, если между этими координатами не существует функциональных взаимосвязей. Такой объект можно рассматривать как несколько простейших по соответствующим параметрам и каналам входных воздействий. Например, в свинарниках при смешивании комбикорма с водой и другими добавками процессы заполнения смесителя компонентами вполне допустимо рассматривать отдельно (рис. 1.2).

И наконец, сложные объекты с несколькими взаимосвязанными входными и выходными координатами требуют учета взаимного влияния смежных воздействий и параметров. Например, при регулировании микроклимата вентиляция влияет не только на концентрацию газов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  в помещении, но и на температуру и влажность. В свою очередь испарение повышает влажность и понижает температуру (рис. 1.3).



Рис. 1.1. Водонагреватель-термос как объект регулирования:

$\alpha$  — входная величина (электрическое напряжение  $U_c$ );  $y$  — выходная величина (температура воды  $\theta_v$ )

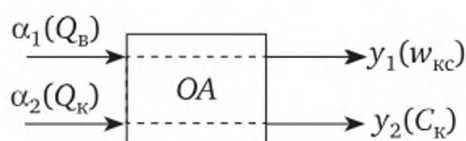


Рис. 1.2. Кормосмеситель как объект управления загрузкой:

$\alpha_1, \alpha_2$  — входные воздействия (подача воды  $Q_v$  и комбикорма  $Q_k$  в смеситель);  $y_1, y_2$  — выходные величины (влажность кормосмеси  $w_{кс}$  и концентрация в ней корма  $C_k$ )

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

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

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 ОА можно выделить объект управления ОУ (рис. 1.4) — технологический процесс, рассматриваемый изолированно, и регулирующий орган РО — устройство, обеспечивающее целенаправленное воздействие  $x_p$  на ОУ.

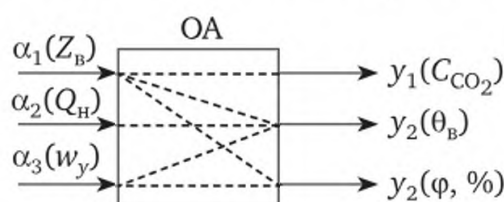


Рис. 1.3. Птичник как объект регулирования микроклимата:

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  — входные величины;  $y_1, y_2, y_3$  — выходные величины

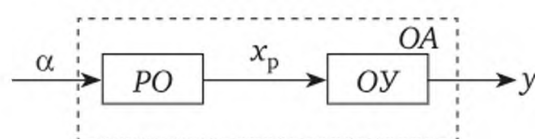


Рис. 1.4. Структура простейшего объекта автоматизации:

$x_p$  — целенаправленное воздействие

Взаимосвязь между обобщенными координатами объектов управления выражается статическими и динамическими характеристиками.

Статическая характеристика ОУ представляет собой зависимость между выходной координатой  $y$  (параметром процесса) и результирующим значением входной координаты  $x$  — воздействием в установившемся режиме, т. е. функцию  $y = f(x)$  (рис. 1.5). Как очевидно из графика, статическая характеристика может быть линейной (1) и нелинейной (2 или 3). Следует иметь в виду, что статическую характеристику может иметь только статический объект, т. е. такой, который при любом значении  $x$  имеет определенное положение и соответствующее ему значение  $y$ .

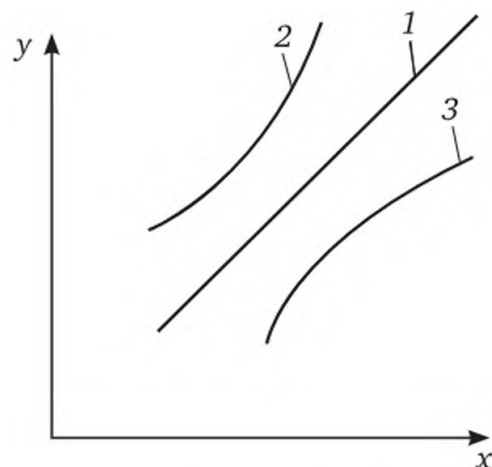


Рис. 1.5. Статические характеристики объектов управления

Если после подачи на вход ОУ воздействия  $x$  выходная координата принимает установившееся значение не мгновенно, то такой ОУ называется динамическим и для его описания требуются динамические характеристики. Одной из распространенных характеристик, отражающих динамические свойства ОУ, является кривая переходного процесса.

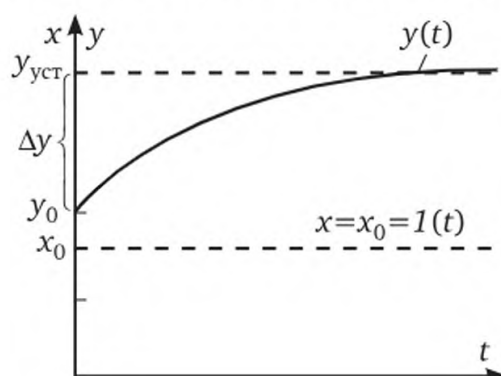


Рис. 1.6. Динамика переходного процесса

Эта кривая иллюстрирует зависимость выходной координаты  $y$  от времени  $t$  при воздействии на вход ОУ единичного ступенчатого сигнала  $x_0$  (рис. 1.6).

## Структура и принципы управления технологическими процессами

В общем виде структура управления ТП показана на рис. 1.7. Все многообразие задач, возникающих в ходе управления ТП, можно классифицировать по трем группам:

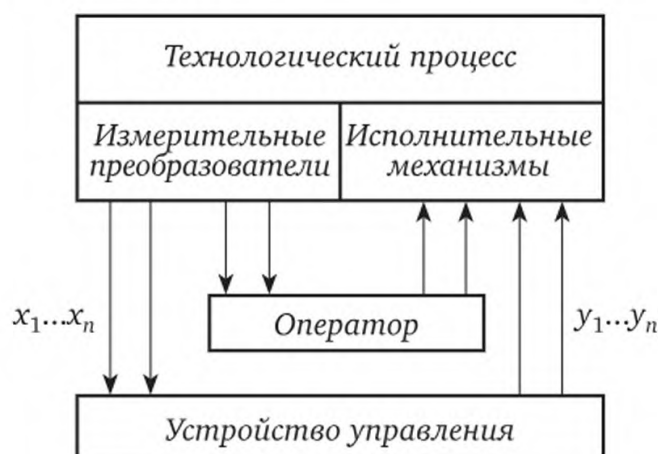


Рис. 1.7. Структурная схема управления ТП

автоматическое управление ТП — обеспечивает выработку управляющих воздействий и их реализацию на основании информации о всех контролируемых и управляющих величинах. Автоматическую стабилизацию регулируемых параметров обеспечивает система автоматического регулирования (см. гл. 1.1);

*автоматический контроль за ходом ТП* — представляет оператору информацию о ходе ТП, его количественных и качественных показателях. Виды автоматического контроля: непрерывный контроль и контроль предельных значений;

*автоматическая сигнализация* — оповещает оператора о ходе ТП, предельных или аварийных значениях контролируемых величин, месте и характере нарушения ТП.

При автоматизации сельскохозяйственных ТП используют следующие **принципы**:

*логического управления* — применяют для управления поточно-транспортными линиями приготовления и раздачи корма, уборки навоза и т. д. в тех случаях, когда необходимо последовательно пускать, переключать и останавливать механизмы, а также при наличии блокировок, обеспечивающих нормальное функционирование ТП и защиту оборудования в аварийных ситуациях. Для логического управления важно знать состояние ТП в предшествующий момент времени. Принцип логического управления использован, например, в схемах управления оборудованием в поточно-транспортных системах (АВМ-1,5; КОРК-15 и т. д.);

*программного управления* — реализуют в разомкнутых САУ. Управляемая величина изменяется по заранее заданной программе. Например, дозу жидкого корма, раздаваемого свиньям, устанавливают в зависимости от состояния животных и поедаемости корма один раз в 10 дней и далее не корректируют. В отличие от принципа логического управления знание состояния ТП в предшествующий момент времени необязательно;

*управления по отклонению* — используют в замкнутых САУ. Например, при регулировании уровня воды в баке водокачки неконтролируемые возмущения по нагрузке объекта (изменение расхода воды) или по каналу регулирующего воздействия (изменение подачи насоса) автоматически компенсируются в процессе стабилизации регулируемого параметра (уровня). Недостаток управления по отклонению — низкие эксплуатационные характеристики в случае значительной инерционности объекта;

*управления по возмущению* — используют в разомкнутых САУ. Управляющее воздействие принимают исходя из анализа действующих на систему возмущений. Например, решение о загрузке бункера принимают по результатам анализа расходования кормов в связи с тем, что непрерывный контроль уровня сыпучих материалов затруднителен. Недостатки управления по возмущению — накопление ошибки регулирования и неспособность управляющего устройства компенсировать непланируемые возмущения;

*комбинированного управления* — это комбинация принципов регулирования по отклонению и возмущению. Например, система управления обогревом свинарника включает в себя замкнутую САУ температурой электрообогреваемого пола и разомкнутую систему включения инфракрасного обогрева в зависимости от температуры воздуха.

Все пять рассмотренных принципов управления могут быть осуществлены в системах:

местного управления (оператор следит за ходом ТП и управляет им, находясь рядом с технологической линией);

дистанционного управления (оператор следит за ходом ТП по мнемосхеме; при этом улучшаются условия его работы, но контроль за ходом процесса ухудшается);

централизованного управления (оператор следит за ходом ТП с центрального пульта, имеющего развитую систему контрольно-измерительных приборов или ЭВМ).

## Типовые технические решения при автоматизации технологических процессов

Общая задача управления ТП — минимизация (максимизация) некоторого критерия (себестоимость, затраты энергии и т. д.) при выполнении ограничений на технологические параметры, налагаемые регламентом. Поскольку решение этой задачи для всего процесса в целом затруднительно, весь ТП следует разбить на отдельные участки, чтобы участок соответствовал законченной технологической операции (кормоприготовление, обработка молока и т. д.). Тогда для отдельной стадии ТП критерий оптимальности установить значительно проще.

Технологические процессы одного типа (например, процессы нагрева) могут различаться методами исполнения, физико-химическими свойствами участвующих в них потоков сырья и т. п. Однако все они подчиняются одним и тем же законам и общим закономерностям.

К числу технологических параметров, подлежащих контролю и регулированию, относят расход, уровень, давление, температуру и ряд показателей качества.

**Регулирование расхода.** Системы регулирования расхода характеризуются малой инерционностью и частой пульсацией параметра. Обычно системы управления расходом — это дросселирование потока вещества с помощью клапана или шиберов; изменение напора в трубопроводе за счет изменения частоты вращения лопастей насоса или степени байпасирования (отведения части потока через дополнительные каналы). Принципы действия регуляторов расхода  $G$  жидких и газообразных сред показаны на рис. 1.8.

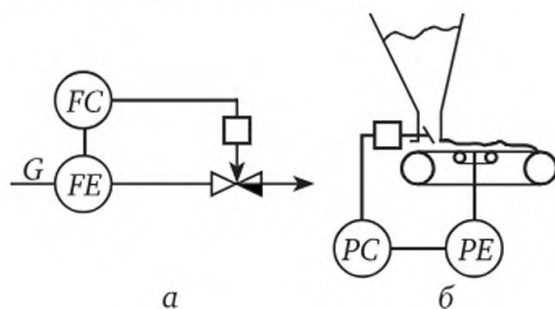


Рис. 1.8. Схема регулирования расхода:

а — жидких и газообразных сред; б — сыпучих материалов; FE, PE — датчики расхода соответственно жидких сред и сыпучих материалов; FC, PC — регуляторы расхода

**Регулирование уровня.** Системы регулирования уровня имеют те же особенности, что и системы регулирования расхода. Постоянство уровня свидетельствует о равенстве количеств подаваемой  $G_{\text{вх}}$  и расходуемой  $G_{\text{вых}}$  жидкости. Это условие может быть обеспечено воздействием на подачу или расход (рис. 1.9).

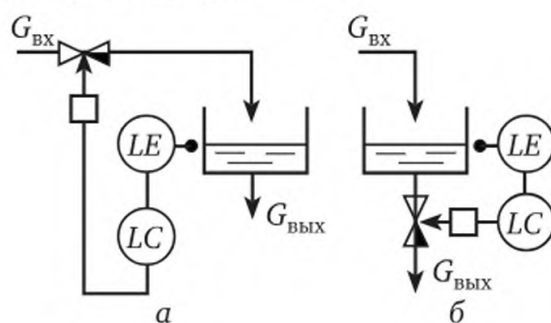


Рис. 1.9. Схемы регулирования уровня:

а — с воздействием на подачу; б — с воздействием на расход среды; LE — датчик уровня; LC — регулятор уровня

**Регулирование давления.** Постоянство давления, как и постоянство уровня, свидетельствует о материальном балансе объекта. Поэтому способы регулирования давления аналогичны способам регулирования уровня.

**Регулирование температуры.** Температура — показатель термодинамического состояния системы. Динамические характеристики САР температуры зависят от физико-химических параметров процесса и конструкции аппарата, поэтому общие рекомендации по синтезу САР температуры не могут быть сформулированы.

Особенность САР температуры — значительная инерционность объекта и нередко измерительного преобразователя. Принципы реализации регуляторов температуры аналогичны принципам реализации регуляторов уровня с учетом управления расходом энергии в объекте.

**Регулирование pH продукта.** Общая особенность объектов при регулировании pH — нелинейность их статических характеристик. Следствие этого — необходимость адаптации параметров настройки регулятора к нагрузке объекта.

## Математическое описание объектов автоматизации

**Классификация математических моделей.** Поскольку многие современные ТП очень сложные, для создания САУ необходимо располагать математическим описанием процессов, происходящих как в самой системе, так и в ее элементах.

Под математическим описанием (математической моделью) подразумевается совокупность уравнений и граничных условий, описывающих зависимость выходных величин от входных в установившемся и переходном режимах. В связи с этим различают математические модели двух классов:



установившегося режима (*статическая модель*);

переходного режима (*динамическая модель*).

Динамические модели имеют вид уравнений, описывающих изменение во времени выходных величин систем (элементов) в зависимости от изменения входных. Эти уравнения, как правило, записывают в дифференциальной форме. Их частный случай — дифференциальные уравнения нулевого порядка (алгебраические уравнения) — описывают установившийся режим.

Таким образом, в общем случае математической моделью системы (элемента) с  $m$  входными  $\{x_1, x_2, \dots, x_m = \bar{X}\}$  и  $n$  выходными координатами  $\{y_1, y_2, \dots, y_n = \bar{Y}\}$  называют совокупность уравнений  $\bar{Y} = F(\bar{X}; \bar{a})$ , однозначно описывающих поведение величины  $\bar{Y}$  при заданных векторах  $\bar{X}$  и  $\bar{a}$ , где  $\bar{a}$  — характеристика системы (элемента).

Математическая модель может быть получена аналитическим или экспериментальным методом. В последнем случае она может быть детерминированной (выходная величина однозначно определяется входной) или статистической (входные воздействия носят случайный характер).

Дифференциальные уравнения простых объектов автоматизации можно составить, используя закономерность происходящих в них физических явлений. Такими закономерностями могут быть закон сохранения вещества (объект регулирования уровня, давления), закон сохранения энергии (объект регулирования температуры), законы электротехники и т. д. Уравнения статических и переходных режимов составляют на базе уравнений балансов вещества или энергии.

При составлении дифференциальных уравнений сложного объекта (системы) он (она) должен быть расчленен(-а) на ряд простейших элементов, соединенных последовательно. Для каждого из этих элементов составляют математическую модель статики или динамики, а затем получают дифференциальное уравнение объекта (системы), исключая промежуточные величины. В большинстве случаев уравнения элементов нелинейны, и поэтому дифференциальное уравнение системы, как правило, тоже нелинейно и подлежит линеаризации.

С целью упрощения задачи при аналитическом методе построения математической модели допускают определенные упрощения (пренебрегают распределенностью параметров, исключают некоторые возмущающие воздействия и т. д.).

В качестве примера рассмотрим процесс вентиляции животноводческого помещения объемом  $V$  с содержанием диоксида углерода  $C_0$  (%) при производительности  $a$  ( $\text{м}^3/\text{мин}$ ). Входная величина объекта — производительность вентиляторов, выходная — концентрация диоксида углерода в помещении. Обозначим содержание диоксида углерода в воздухе в момент времени  $t$  через  $x$  (%). Составим за промежуток времени  $dt$  (мин), прошедший от момента  $t$ , баланс диоксида углерода, содержащегося в помещении. За это время вентиляторы доставили в помещение количество воздуха, равное  $0,01C_0adt$ . Следовательно,

всего за период  $dt$  количество диоксида углерода ( $m^3$ ) в воздухе уменьшилось на  $dV = (0,01x - 0,01C_0)adt$ .

Обозначив через  $dx$  процентное уменьшение количества диоксида углерода в воздухе, это же количество можно подсчитать по другой формуле:

$$dV = V \cdot 0,01dx.$$

Приравнивая между собой оба выражения для  $dV$ , составляем дифференциальное уравнение:

$$(0,01x - 0,01C_0)adt = V \cdot 0,01dx.$$

Разделяя переменные, находим

$$\frac{adt}{V} = \frac{dx}{x - C_0}.$$

Чтобы получить такое простое уравнение, пришлось допустить, что концентрация диоксида углерода во всех частях помещения в каждый момент времени одинаковая, т. е. чистый воздух смешивается с загрязненным практически мгновенно.

**Методы идентификации объекта.** Известны два метода экспериментального определения (идентификации) характеристик объектов автоматизации — *активный* и *пассивный*. В первом методе испытательное воздействие стандартной формы задают искусственно, во втором — объект исследуют, сопоставляя выходные и входные величины в условиях его нормальной эксплуатации.

Выбор метода идентификации объекта автоматизации определяется характером поставленной задачи, условиями опытов, характером эксплуатационных возмущений и допустимыми по технологическим требованиям отклонениями исследуемых величин.

*Метод активного эксперимента* по исследованию статических характеристик проводят в следующем порядке.

1. Изучают ТП, оборудование и устанавливают взаимные связи между входными  $x$  и выходными  $y$  координатами.

2. Каждую входную величину изменяют ступенчато в пределах рабочего диапазона и спустя  $(2...3)T_y$  (здесь  $T_y$  — длительность переходного процесса) фиксируют значение выходной величины  $y$ . Например, для определения статических характеристик зимней теплицы с водяным обогревом следует установить ряд соотношений между расходом воды через регулирующий клапан и температурой воздуха в средней точке теплицы. При этом температуру следует измерять после стабилизации температурного режима сооружения. Опыт повторяют по каждому из каналов исследования многократно (обычно 6...10 раз).

3. Поскольку полученные зависимости  $y = f(x_1, x_2...)$  могут быть искажены помехой, их следует сгладить, используя один из известных методов. Например, метод скользящего среднего или метод наимень-

ших квадратов. При подборе аппроксимирующей функции необходимо учитывать два требования:

функция должна с максимальной точностью воспроизводить реальную зависимость;

функция должна быть простой и удобной для использования в качестве расчетной формулы.

При выборе вида аппроксимирующей функции целесообразно обратить внимание на известную информацию об изучаемом процессе. Вполне вероятно, что идентифицируемое явление ранее уже исследовалось и на сегодняшний день известны физические закономерности, определяющие взаимосвязь входных и выходных величин. В этих случаях для математического описания процесса могут быть использованы такие распространенные зависимости, как экспоненциальные, тригонометрические, а также двухпараметрические функции вида

$$y = a + b/x; y = 1/a + bx; y = 1/a = b \ln x; y = ae^{b/x} \text{ и т. д.}$$

Если физических предпосылок к выбору той или иной функции нет, то в качестве аппроксимирующего выражения можно использовать полином из ряда Тейлора:

$$y = a^0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n.$$

Для таких выражений процедура нахождения значений параметров  $a_i$  хорошо разработана, а соответствующие программы написаны практически на всех алгоритмических языках и введены в большинство общематематических прикладных пакетов.

Метод пассивного эксперимента по исследованию статических характеристик реализуют в такой последовательности.

1. Диапазон изменения входной величины  $x$  разбивают на равные интервалы  $(6...12)\Delta x$  и все  $n_i$  точки, попавшие в данный интервал, относят к середине интервала (рис. 1.10). Для каждого интервала находят среднее арифметическое значение ординат  $n_i$ , точек, соединив которые, получают эмпирическую линию регрессии  $ABCDE$ .

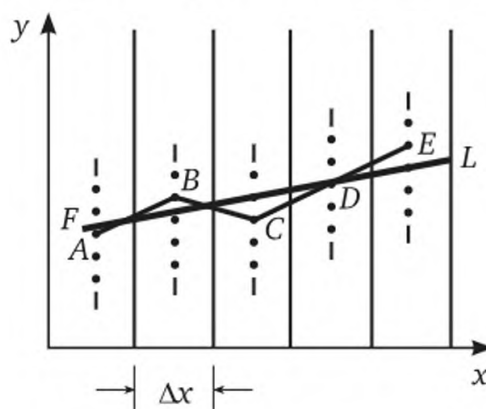


Рис. 1.10. Эмпирическая линия регрессии при обработке результатов эксперимента



Период квантования  $T$  (время между отдельными замерами входных и выходных величин) принимают не менее чем время корреляции  $\tau_{\text{кор}}$ . Время корреляции входной и выходной координат оказывается обычно неодинаковым, и период квантования выбирают по большему из них:  $T \geq \tau_{\text{кор. max}}$ . При выборе момента измерений координат возможны два способа:

синхронный —  $x(t)$  и  $y(t)$  измеряют одновременно в моменты времени  $t = 0; 2T; \dots; jT$ . Недостаток этого способа — зависимость точности измерений от инерционности объекта;

асинхронный — величину  $x(t)$  измеряют на  $\tau$  раньше, чем  $y(t)$ , в этот момент  $y(jt)$  в наибольшей степени коррелирует с  $x(jt - \tau)$ . Время  $\tau$  определяют по максимуму взаимно корреляционной функции.

Длительность эксперимента зависит от периода квантования  $T$  и числа дискрет  $d$ . Если входная и выходная координаты подчиняются нормальному закону распределения и уравнение регрессии линейно, то  $d \geq (20 \dots 30)k$ , где  $k$  — число неизвестных коэффициентов уравнения регрессии. Тогда длительность эксперимента  $T_s \geq Td$ .

2. Определяют параметры уравнения регрессии, описывающего теоретическую прямую. Теоретическая прямая — это линия ( $FL$  на рис. 1.10), к которой стремится эмпирическая линия регрессии при  $t \rightarrow \infty$ . Как и при обработке результатов активного эксперимента, параметры уравнения регрессии лучше всего определять методом наименьших квадратов.

3. Оценивают меру тесноты связи исследуемых параметров. В случае линейной зависимости  $y = f(x)$  используют коэффициент корреляции  $R_{xy}$ , а в случае нелинейной — корреляционное отношение  $\eta_{xy}$ . Оба названных показателя по модулю изменяются от 0 до 1. Если  $R_{xy}$  или  $\eta_{xy}$  равны нулю, то связи между  $y$  и  $x$  нет. Если же эти показатели равны какому-то числу между 0 и 1, то связь есть, но на выходную величину  $y$  помимо  $x$  влияют и другие факторы. И наконец, если  $R_{xy}$  или  $\eta_{xy}$  равны единице, то связь между  $y$  и  $x$  есть, причем она носит не вероятностный, а функциональный характер.

Метод активного эксперимента по определению динамических характеристик объекта может быть осуществлен при использовании апериодических или периодических входных воздействий. В первом случае в результате эксперимента получают временные характеристики (кривые разгона и т. д.), во втором — частотные характеристики. Апериодические входные воздействия типа ступенчатого возмущения (рис. 1.11, а) или прямоугольного импульса (рис. 1.11, б) реализуют, перемещая регулирующий орган на 5...15 % его полного хода. Эксперимент желательно проводить при нагрузке объекта, соответствующей середине рабочего диапазона  $x_p$ . Начало и конец эксперимента должны соответствовать установившемуся значению выходной величины, т. е.

$$y'(0) = y'(T_y) = y''(0) = y''(T_y) = 0,$$

где  $T_y$  — время окончания переходного процесса: ориентировочно  $T_y = (2 \dots 3)T_{об}$ ;  $T_{об}$  — постоянная времени объекта.

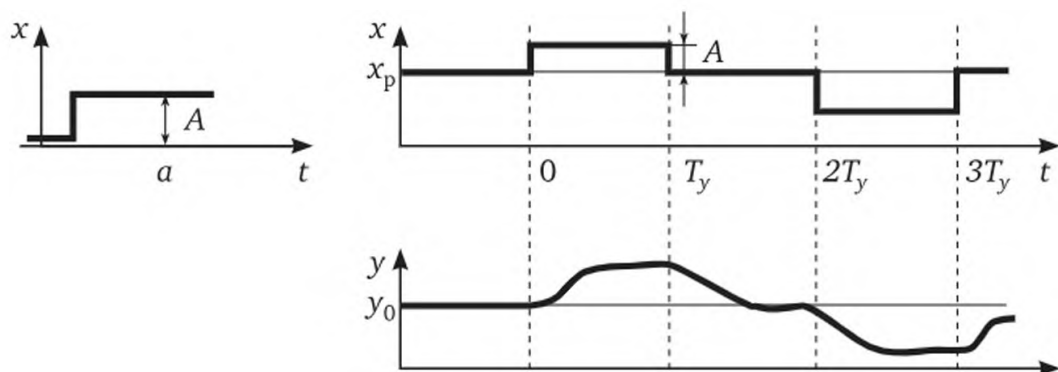


Рис. 1.11. Активный эксперимент по определению динамических характеристик:

$a$  — ступенчатое возмущение;  $b$  — прямоугольный импульс

По результатам эксперимента находят единичные переходные характеристики  $y^*(t) = q(t) / A$ . Если они отличаются одна от другой при любом  $0 < t < T_y$  не более чем на 15 %, то объект обладает линейной характеристикой. Для дальнейшей обработки принимают единичную усредненную переходную характеристику

$$y_0(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y^*(t).$$

Полученные в результате эксперимента временные характеристики подлежат аппроксимации дифференциальными уравнениями или передаточными функциями.

Рассмотрим наиболее простые методы аппроксимации инерционных объектов автоматизации.

1. С помощью одного апериодического звена первого порядка с запаздыванием

$$W_{об}(p) = \frac{k_{об}}{T_{об}p + 1} e^{-\tau p}, \quad (1.10)$$

где  $W_{об}(p)$  — передаточная функция объекта;  $k_{об}$  — коэффициент передачи объекта;  $\tau$  — запаздывание.

Коэффициент  $k_{об}$  рассчитывают как отношение установившегося значения выходной величины  $y_{(\infty)}$  к величине входного воздействия  $A$ . Размерность коэффициента передачи зависит от размерностей величин  $y$  и  $A$ . Значения постоянной времени  $T_{об}$  и запаздывания  $\tau$  определяют графически по кривой разгона (переходной характеристике) объекта, как показано на рис. 1.12. Дополнительно проведенная прямая линия касается кривой в точке ее перегиба  $E$  (в этой точке угол между касательной и осью абсцисс максимальный).

2. С помощью  $n$  апериодических звеньев первого порядка с запаздыванием

$$W_{об}(p) = \frac{k_{об} e^{-\tau p}}{(T_{об}p + 1)^n} e^{-\tau p}. \quad (1.11)$$

Методику определения параметров передаточной функции поясняет рис. 1.13. Запоздывание  $\tau$  в этом случае определяется моментом «отрыва» кривой от оси абсцисс. Постоянную времени определяют по формуле

$$T_{об} = \frac{S}{ny_{(\infty)}},$$

где  $S$  — площадь заштрихованной фигуры, образованной в результате проведения касательной к кривой разгона в точке перегиба.

Способ определения  $k_{об}$  не отличается от рассмотренного ранее.

Для астатического объекта автоматизации с кривой разгона, изображенной на рис. 1.14, простейшая аппроксимирующая передаточная функция имеет вид

$$W_{об}(p) = \frac{k_{об}}{p} e^{-\tau p}. \quad (1.12)$$

Параметры передаточной функции определяются положением касательной к кривой разгона в той ее части, где скорость изменения выходной величины  $y$  постоянная и максимальная. Запоздывание  $\tau$  определяется точкой пересечения касательной с осью абсцисс, а коэффициент передачи  $k_{об}$  — тангенсом угла  $\alpha$  наклона касательной к этой же оси. Таким образом, коэффициент передачи астатического объекта равен отношению скорости изменения выходной величины  $y(t)$  к величине входного воздействия  $A$ .

Входные воздействия типа прямоугольного импульса (рис. 1.15) используют в том случае, если условия ТП не допускают длительного входного воздействия. Полученную в результате опыта кривую разгона легко перестроить к стандартному виду и аппроксимировать.

Периодические входные воздействия используют в том случае, если динамические характеристики объекта автоматизации должны быть представлены в виде комплексной частотной характеристики (КЧХ), называемой также амплитудно-фазочастотной характеристикой (АФЧХ).

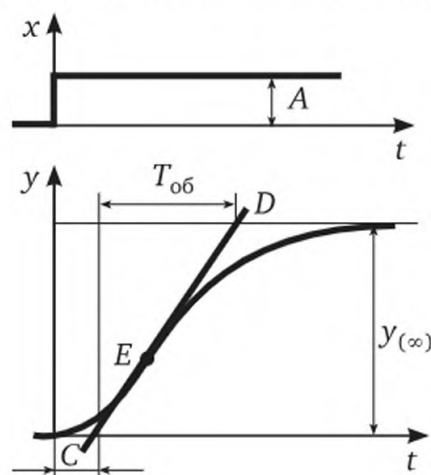


Рис. 1.12. Определение динамических характеристик по кривой переходного процесса

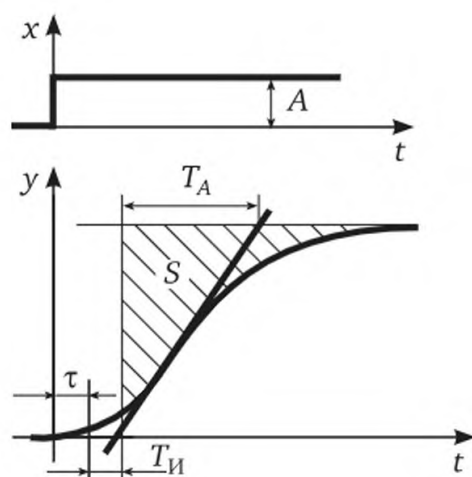


Рис. 1.13. Графики переходных процессов

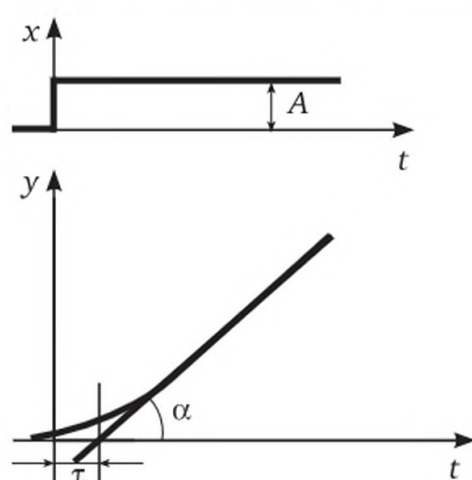


Рис. 1.14. Определение динамических характеристик астатического ОУ по кривой разгона

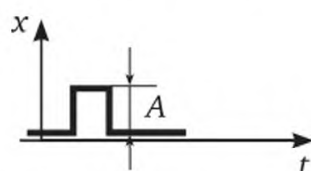


Рис. 1.15. Прямоугольный входной импульс

Сущность эксперимента заключается в подаче на вход объекта периодического воздействия  $x(t)$  определенной амплитуды  $A_{\text{вх}}$  и частоты  $\omega = 2\pi / T$  (здесь  $T$  — период воздействия) и фиксировании колебаний выходной величины  $y(t)$  с целью определения зависимости амплитуды выходных колебаний  $A_{\text{вых}}(\omega)$  и сдвига фаз  $\varphi(\omega)$  между входными и выходными колебаниями от частоты  $\omega$ . Проведение такого эксперимента технически затруднено, поскольку продолжительность опыта на одной и той же частоте  $\omega$  зависит от стабилизации параметров выходных колебаний, которая длится от  $5T$  до  $15T$ . Кроме того, требуется максимально исключить влияние других возмущений и контролировать смещение оси выходных колебаний. При этом частоту



и амплитуду входного воздействия задают специальным генератором синусоидальных колебаний.

Периодические входные воздействия (рис. 1.16) находятся в инфранизкой области диапазона частот  $0 \dots 0,2 \text{ с}^{-1}$ . Начальная частота колебаний  $\omega_H \approx 1/T_{об}$ , а конечная  $\omega_K$  равна частоте среза, т. е. той частоте,

начиная с которой  $\frac{A_{вых}(\omega_K)}{A_{вых}(\omega_H)} < 0,1$ .

АФЧХ объекта строят по точкам, соответствующим установленной частоте входных колебаний  $\omega$ , координаты которых рассчитывают по формулам

$$A(\omega) = A_{вых}(\omega) / A_{вх}(\omega);$$

$$\varphi(\omega) = \frac{\varphi_{вых}(\omega)}{\varphi_{вх}(\omega)},$$

где  $A(\omega)$  — амплитудно-частотная характеристика (АЧХ);  $\varphi(\omega)$  — фазо-частотная характеристика (ФЧХ).

Тогда передаточная функция в частотной форме примет вид

$$W_{об}(\omega) = A(\omega)e^{-j\varphi(\omega)}. \quad (1.13)$$

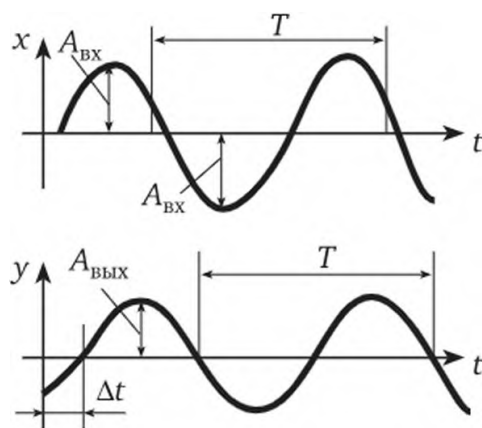
Если по каким-либо причинам невозможно создать гармонические входные колебания, то целесообразно создавать вручную колебания типа «прямоугольная волна» (рис. 1.17). После двух-трех колебаний на выходе измеряют их амплитуду  $A_{вых}$  и сдвиг по фазе  $\varphi$  относительно входных колебаний. Эксперимент повторяют несколько раз при неизменной амплитуде входных колебаний  $A_{вх}$  и изменяющемся их периоде  $T$ . Входной и выходной сигналы должны быть разложены в ряд Фурье, т. е. представлены в виде суммы гармоничных составляющих разных частот:

$$x(t) = \frac{4A_{вх}}{H} \left( \sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \dots \right); \quad (1.14)$$

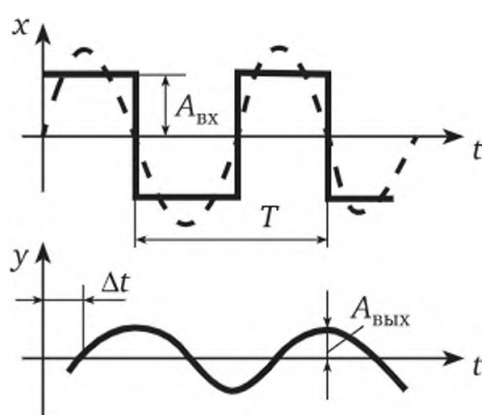
$$y(t) = \frac{4A_{вх}}{H} \left\{ A_{вых}(\omega) \sin[\omega t + \varphi(\omega)] + \frac{1}{3} A_{вых}(3\omega) \sin[3\omega t + \varphi(3\omega)] + \dots \right\}. \quad (1.15)$$

С достаточной для практических целей точностью можно ограничиться использованием только первых гармоник разложения и по их параметрам найти частотные характеристики исследуемого объекта.

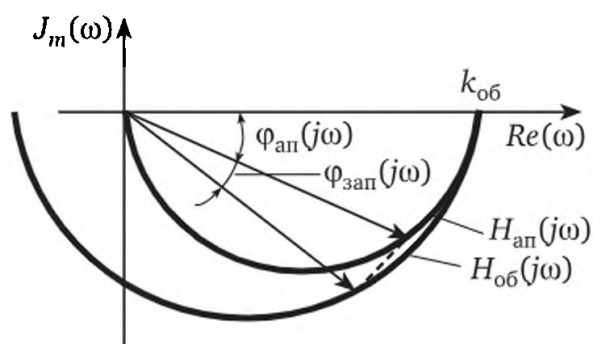
Полученную в результате эксперимента АФЧХ можно использовать для определения параметров объекта  $k_{об}$ ,  $T_{об}$  и  $\tau$ , соответствующих его аппроксимации в виде аperiodического звена первого порядка с запаздыванием. Методика этого преобразования пояснена на рис. 1.18: постоянная времени  $T_{об} = \text{tg } \varphi_{ап}(\omega) / \omega_i$ ; запаздывание  $\tau = \varphi_{зап}(\omega) / \omega_i$ . Аналогичным образом возможна и обратная операция преобразования  $W_{об}(P)$  в АФЧХ.



**Рис. 1.16. Результаты регистрации входных и выходных колебаний при гармонических входных воздействиях**



**Рис. 1.17. Результаты регистрации входных и выходных колебаний при входных воздействиях типа «прямоугольная волна»**



**Рис. 1.18. Использование АФЧХ для определения параметров объекта**

## **Тема 1.3**

# **СХЕМЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Схема является основным документом, поясняющим принцип действия и взаимодействия различных элементов, устройств или в целом систем автоматического управления. Наиболее часто используют принципиальные, функциональные структурные (функциональные) и алгоритмические структурные (структурные) типы схем. Кроме них при проектировании, монтаже, наладке и эксплуатации САУ применяют схемы соединения и подключения (монтажные).

### **Принципиальные, функциональные и структурные схемы**

На принципиальной схеме все элементы системы изображают в соответствии с условными обозначениями во взаимосвязи между ними. Из принципиальной схемы должны быть ясны принцип ее действия и физическая природа происходящих в ней процессов. Принципиальные схемы могут быть электрическими, гидравлическими, пневматическими, кинематическими и комбинированными. На рис. 1.19 в качестве примера представлены фрагменты принципиальной электрической и принципиальной гидравлической схем.

Элементы автоматики на принципиальных схемах следует обозначать в соответствии со стандартом. Изображение элементов должно соответствовать выключенному состоянию (обесточенному, при отсутствии избыточного давления и т. д.) всех цепей схемы и отсутствию внешних воздействий. Схема должна быть логически последовательной и читаться слева направо или сверху вниз. Каждому элементу принципиальной схемы присваивают буквенно-цифровое позиционное обозначение. Буквенное обозначение обычно представляет собой сокращенное наименование элемента, а цифровое в порядке возрастания и в определенной последовательности условно показывает нумерацию элемента, считая слева направо или сверху вниз. Для сложных схем, как правило, расшифровывают сокращенные буквенные и цифровые обозначения.

Функциональные структурные схемы отражают взаимодействие устройств, блоков, узлов и элементов автоматики в процессе их работы. Графически отдельные устройства автоматики изображают прямоугольниками, соответствующими направлению прохождения сигнала.

Внутреннее содержание каждого блока не конкретизируют. Функциональное назначение блоков обозначают буквенными символами. На рис. 1.20 в качестве примера представлена функциональная схема САУ температурой воздуха в парнике, где ОУ — объект управления (парник), ВЭ — воспринимающий элемент (датчик температуры), ПЭ — преобразующий элемент (усилитель с реле на выходе), РО — регулирующий орган (электронагреватель),  $y$  — управляемая величина (температура),  $g$  — задающее воздействие (требуемая температура),  $f$  — возмущающее воздействие (влияние внешних факторов на температуру воздуха в парнике).

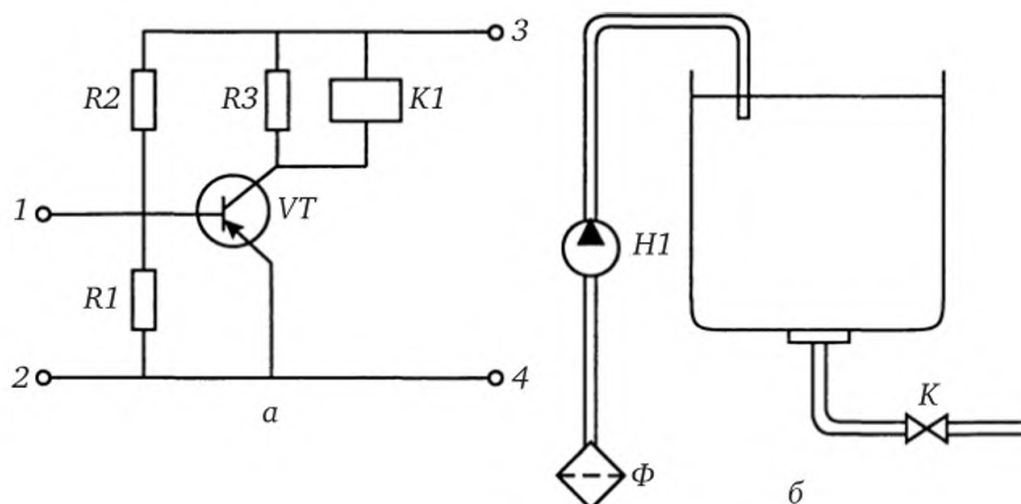


Рис. 1.19. Фрагменты принципиальных схем:  
а — электрической; б — гидравлической

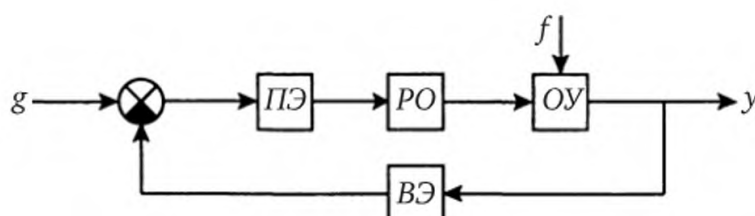


Рис. 1.20. Функциональная схема САУ температурой воздуха в парнике

Алгоритмические структурные схемы показывают взаимосвязь составных частей автоматической системы и характеризуют их динамические свойства. Эти схемы разрабатывают на основе функциональных или принципиальных схем автоматики. Алгоритмическая структурная схема — наиболее удобная графическая форма представления САУ в процессе исследования ее динамических свойств. В этой схеме не учитывают физическую природу воздействий и особенности конкретной аппаратуры, но отображают лишь математическую модель процесса управления.

На структурной схеме, как и на функциональной, элементы УУ и ОУ изображают в виде прямоугольников. При этом какое-либо



устройство может быть представлено несколькими звеньями (прямоугольниками) и, наоборот, несколько однотипных устройств могут быть изображены как одно звено.

Разделение САУ на элементарные звенья направленного действия выполняют в зависимости от вида математического уравнения, связывающего выходную величину с входной для каждого звена. Внутри звена (прямоугольника) указывают математическую зависимость между входной и выходной величинами. Эта зависимость может быть представлена либо формулой, либо графиком, либо таблицей. Аналогично функциональной схеме связи между звеньями изображают в виде стрелок, указывающих направление и точки приложения воздействующих величин.

Структурная схема САУ температурой воздуха в парнике представлена на рис. 1.21. Общий вид этой схемы совпадает с функциональной схемой (см. рис. 1.20), однако внутри прямоугольников содержатся функции или графики, связывающие выходные величины каждого элемента с входными.

В качестве примера рассмотрим принцип действия принципиальной электрической схемы САУ температурой теплоносителя в шахтной зерносушилке (рис. 1.22) и составим для нее функциональную схему. Требуемая температура теплоносителя в зерносушилке поддерживается при помощи заслонки 1, которая, поворачиваясь, изменяет соотношение притоков горячего воздуха  $Q_{\text{г}}$ , поступающего из топки, и холодного  $Q_{\text{х}}$ , забираемого из атмосферы. Температуру внутри зерносушилки измеряет термодатчик  $R_t$  включенный в одно из плеч измерительного моста. Заданное значение управляемой величины  $g$  (температуры) устанавливают, перемещая движок резистора — задатчика  $R1$ . Поскольку сигнал выхода с измерительного моста малой мощности, то для управления реверсивным электродвигателем 2 (ИМ) используют усилитель 3.

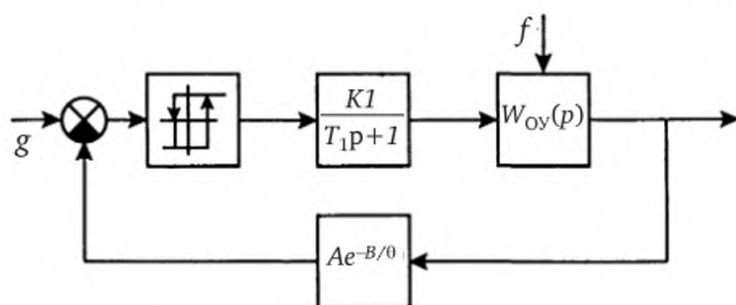


Рис. 1.21. Структурная схема САУ температурой воздуха в парнике

Когда температура теплоносителя внутри зерносушилки отклоняется от заданной, на выходе моста появляется сигнал разбаланса, который через усилитель 3 и реле  $K1$  или  $K2$  поступает в электродвигатель 2, включая его. От двигателя приводится в действие заслонка 7, перемещающаяся в ту или иную сторону в зависимости от знака сигнала.

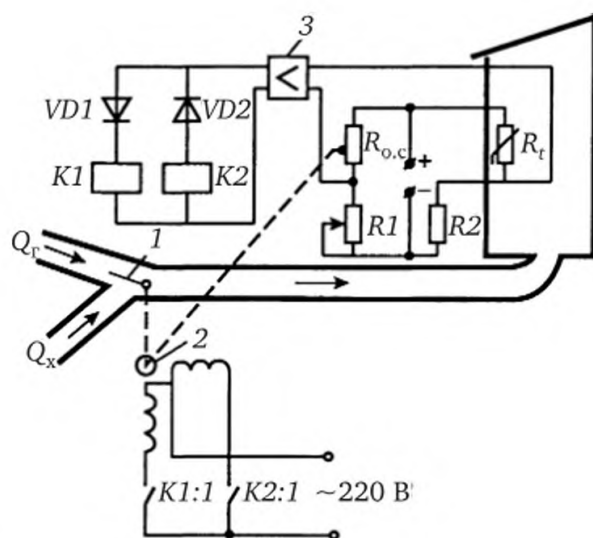


Рис. 1.22. Принципиальная электрическая схема САУ температурой теплоносителя в шахтной зерносушилке:  
1 — заслонка; 2 — ИМ; 3 — усилитель

Вследствие инерционности термодатчика  $R_t$  и его удаленности от заслонки 1 процесс управления может продолжаться бесконечно, т. е. новый равновесный режим в системе не установится. Действительно, когда заслонка займет новое равновесное положение, температура термодатчика еще некоторое время остается прежней, вследствие чего исполнительный механизм продолжит перемещать заслонку. Далее температура в месте установки термодатчика сначала сравняется с заданной, а затем отклонится от нее в противоположную сторону, т. е. примет значение с обратным знаком. Иными словами, в системе возникнут периодические колебания, называемые автоколебаниями. Автоколебания управляемой величины (температуры) в данной системе возникают вследствие того, что двигатель останавливается не в момент достижения заслонкой требуемого положения, а с некоторым запаздыванием.

Для устранения автоколебаний или уменьшения их амплитуды применяют обратную связь (ОС), которая позволяет остановить двигатель до того, как температура теплоносителя достигнет заданного значения, поскольку после прекращения перемещения заслонки температура объекта и термодатчика приближается к заданному значению.

Обратная связь осуществляется с помощью переменного резистора  $R_{o.c.}$ , ползунок которого механически связан с ротором электродвигателя 2 и перемещается одновременно с ним. Очевидно, что равновесие в системе наступит в тот момент, когда приращение сопротивления  $R_{o.c.}$ , возникающее вследствие передвижения ползунка, и приращение сопротивления  $R_t$ , вызванное изменением температуры теплоносителя, станут равны между собой ( $\Delta R_{o.c.} = \Delta R_t$ ). Таким образом, электродвигатель 2 в данной системе останавливается и переходный процесс полностью прекращается в тот момент, когда отклонение температуры станет меньше зоны нечувствительности регулятора.

На функциональной схеме (рис. 1.23) зерносушилка представляет собой объект управления (ОУ), термодатчик — воспринимающий орган (ВО), измерительный мост — сравнивающий элемент (СЭ), усилитель — усилительный элемент (УЭ), электродвигатель — исполнительный механизм (ИМ), заслонка — регулирующий орган (РО), между валом ИМ и ползунком потенциометра — обратная связь (ОС). Здесь же  $f$  — возмущающее воздействие (температура наружного воздуха, влажность и начальная температура зерна),  $g$  — задающее воздействие (требуемая температура сушки),  $y$  — управляемая величина (фактическая температура теплоносителя),  $u$  — управляющее воздействие (теплота, поступающая в зерносушилку с теплоносителем).

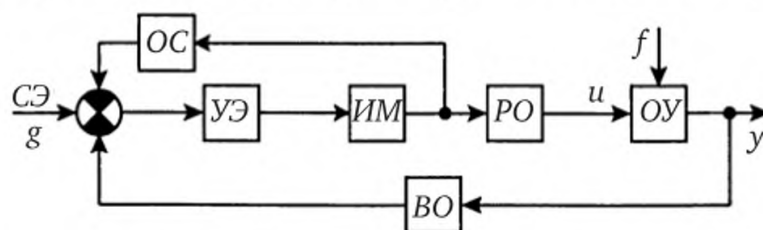


Рис. 1.23. Функциональная схема САУ температурой теплоносителя в шахтной зерносушилке

## Схемы соединений щитов, пультов управления, внешних соединений и подключений

Схемы соединений — это схемы, на которых изображают соединения составных частей устройства или внешние соединения между отдельными устройствами. Схемы для приборов, устанавливаемых в щитах или пультах управления, разрабатывают на основе функциональных схем, принципиальных электрических схем, схем питания, а также общих видов щитов и пультов.

Общие правила выполнения схем соединений следующие:

схемы соединений разрабатывают на один щит, пульт, станцию управления;

все типы аппаратов, приборов и арматуры, предусмотренные принципиальной электрической схемой, должны быть полностью отражены на схеме соединений;

позиционное обозначение приборов и средств автоматизации и маркировку участков цепей, принятые на принципиальной электрической схеме, необходимо сохранять в схеме соединений.

Применяют три способа составления схем соединений: графический, адресный и табличный. Для адресного и табличного способов, кроме перечисленных правил, следует соблюдать еще несколько:

приборы и аппараты на схемах соединений изображают упрощенно без соблюдения масштаба в виде прямоугольников, над которыми помещают окружность, разделенную горизонтальной чертой. Цифры над чертой указывают порядковый номер устройства (рис. 1.24, цифра 8);

номера присваивают попанельно слева направо и сверху вниз, а под чертой — позиционное обозначение этого изделия (например, КТЗ);

при необходимости показывают внутреннюю схему аппаратов (рис. 1.24);

для нескольких реле, расположенных в одном ряду, внутреннюю схему показывают только один раз, если она у них одинаковая;

выводные зажимы приборов условно изображают окружностями, внутри которых указывают их заводскую маркировку (например, 1...8 на рис. 1.24). Если у выводных зажимов аппаратов заводской маркировки нет, то их маркируют условно арабскими цифрами и указывают это в поясняющей записи;

платам, на которых размещены диоды, триоды, резисторы и т. п., присваивают только порядковый номер (его проставляют в окружности под чертой);

позиционное обозначение элементов помещают в непосредственной близости от их условного графического изображения (рис. 1.25);

если приборы и средства автоматизации располагаются на нескольких элементах конструкции щита или пульта (крышке, задней панели, дверце), то необходимо выполнить развертку этих конструкций в одну плоскость, соблюдая взаимное размещение приборов и средств автоматизации.

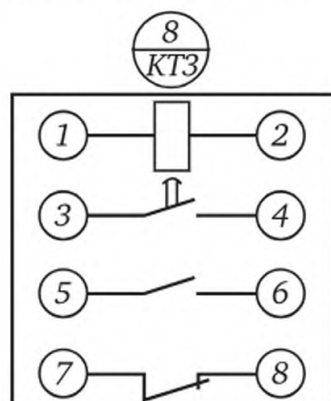


Рис. 1.24. Схема соединений с изображением внутренней схемы аппаратов

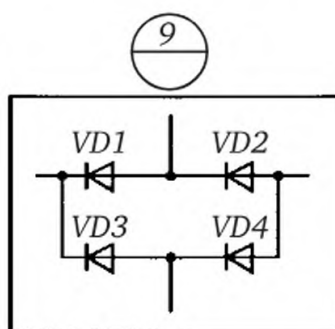


Рис. 1.25. Схема соединений с размещением позиционных обозначений элементов в непосредственной близости от их условного графического изображения

Графический способ заключается в том, что на чертеже условными линиями показывают все соединения между элементами аппаратов



(рис. 1.26). Этот способ применяют только для щитов и пультов, относительно мало насыщенных аппаратурой. Схемы трубных проводок выполняют только графическим способом. Если на одном щите или пульте прокладывают трубы из разного материала (стальные, медные, пластмассовые), то и условные обозначения используют различные: сплошные линии, штриховые, штриховые-пунктирные с двумя точками и т. д.

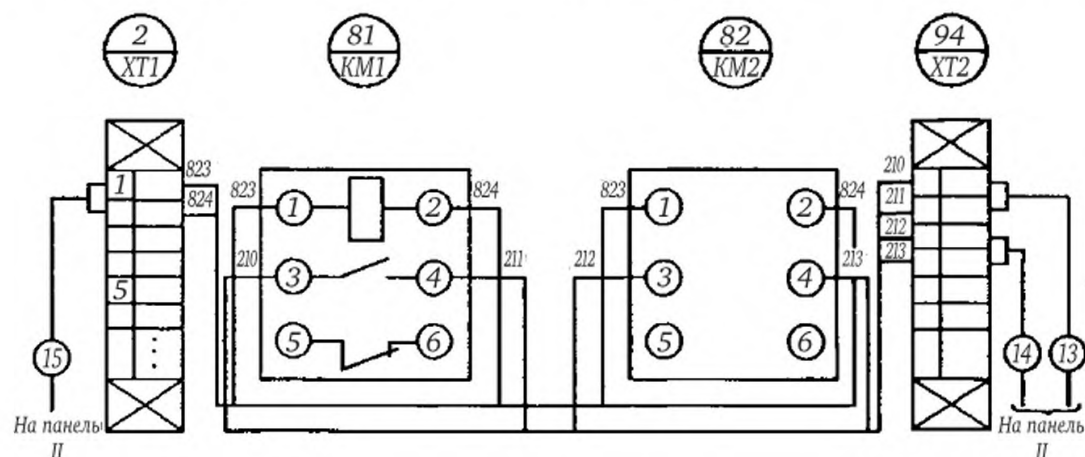


Рис. 1.26. Схема соединений, выполненная графическим способом

Адресный («встречный») способ состоит в том, что линии связи между отдельными элементами аппаратов, установленных на щите или пульте, не изображают. Вместо этого у места присоединения провода на каждом аппарате или элементе проставляют цифровой или буквенно-цифровой адрес того аппарата или элемента, с которым он должен быть электрически связан (позиционное обозначение соответствует принципиальной электрической схеме или порядковому номеру изделия). При таком изображении схемы чертеж не загромождается линиями связи и легко читается (рис. 1.27). Адресный способ выполнения схем соединений — основной и наиболее распространенный.

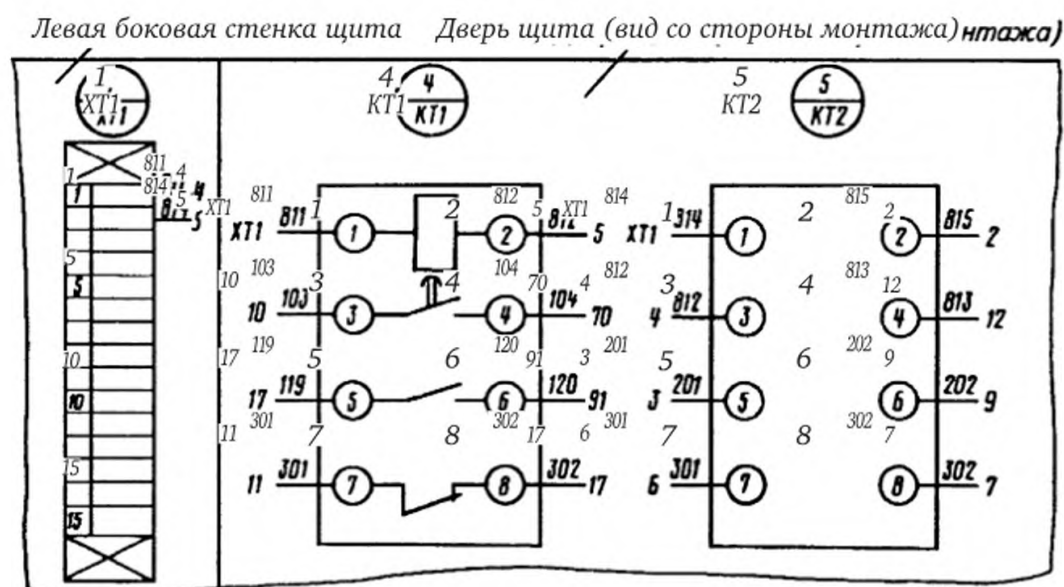


Рис. 1.27. Схема соединений, выполненная адресным способом

Табличный способ применяют в двух вариантах. Для первого составляют монтажную таблицу, где указывают номера каждой электрической цепи. В свою очередь, для каждой цепи последовательно перечисляют условные буквенно-цифровые обозначения всех приборов, аппаратов и их контактов, посредством которых эти цепи соединены (табл. 1.1). Так, для цепи 7 запись обозначает, что зажим 6 прибора *KM1* соединяется с зажимом 4 прибора *KM2*, который, в свою очередь, должен быть соединен с зажимом 3 устройства *KT4*.

### 1.1. Пример таблицы соединений

Номер цепи	Соединение
7	$\frac{KM1}{6} - \frac{KM2}{4} - \frac{KT4}{3}$
8	$\frac{KM4}{2} - \frac{XT1}{293}$
9	$\frac{XT1}{328} - \frac{HL1}{1} - \frac{KH2}{12} - \frac{XT2}{307}$

Второй вариант заполнения таблицы соединений отличается от первого тем, что в таблицу вписывают проводники по возрастанию номеров маркировки цепей принудительных электрических схем (табл. 1.2). Направление прокладки проводов, как и для первого варианта, записывают в виде дроби. Для более четкого распознавания проводников принято использовать дополнительные обозначения. Например, перемычку, выполняемую в аппарате, обозначают буквой «п».

### 1.2. Пример таблицы соединения проводов

Провод	Направление проводки		Марка
	откуда	куда	
1	$\frac{XT3}{1}$	$\frac{SA1}{1}$	ПВ1 × 0,75
2	$\frac{SA1}{1}$	$\frac{SA1}{3}$	ПВ1 × 0,75
3	$\frac{SB1}{12}$	$\frac{SB1}{13}$	ПВ1 × 0,75
4	$\frac{SB1}{13}$	$\frac{XT3}{7}$	ПВ1 × 0,75

Схемы подключений служат рабочими чертежами, по которым выполняют монтаж аппаратуры автоматики, поэтому их еще называют монтажными. Схемы, показывающие внешнее подключение аппаратов, установок, щитов, пультов и т. п., выполняют на основе функциональных и принципиальных схем питания, спецификации приборов и оборудования, а также чертежей производственных помещений с расположением технологического оборудования и трубопроводов.

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

На практике применяют два способа составления схем подключений: графический и табличный. Наиболее распространен графический.

На схемах подключений при помощи условных графических обозначений показывают: отборные устройства и первичные преобразователи; щиты, пульта и местные пункты управления, контроля, сигнализации и измерения; внештатные приборы и средства автоматизации; соединительные, протяжные и свободные коробки; электропровода и кабели, проложенные вне щитов; узлы присоединения электропроводов к приборам, аппаратам, коробкам; запорную аппаратуру и элементы для соединений и ответвлений; коммутационные зажимы, расположенные вне щитов, защитное заземление. Шкафы, пульта, отдельные приборы и аппараты условно изображают в виде прямоугольников или кружков, внутри которых помещают соответствующие подписи.

Связи одного назначения на схемах подключений показывают сплошной линией и лишь в местах присоединения к приборам, исполнительным механизмам и другим аппаратам провода разделяют с целью маркировки. На линиях связи, обозначающих провода или кабели, указывают номер провода (подключение), марку, сечение и длину проводов и кабелей (если проводка выполнена в трубе, то необходимо также привести характеристику трубы). Провода подключений и кабели изображают линиями толщиной 0,4...1 мм.

Схемы подключений выполняют без соблюдения масштаба в виде, удобном для пользователя. Иногда схемы подключений представляют в виде таблиц, которые выполняют отдельно на каждую секцию (или панель) щита управления (табл. 1.3).

**1.3. Пример таблицы подключений**

Кабель, провод		Направление проводки								
номер	марка	откуда				номер жилы	куда			
		позиция	тип прибора	сборка зажимов	номер зажима		номер зажима	сборка зажимов	позиция	тип прибора
4	КВРГ4 × × 1,5	M2	4A	ХТ1	1	138	1	ХТ2	A2	СК-32
					2	140	2			
					3	142	3			

## Мнемосхемы

Мнемоническая схема (мнемосхема) представляет собой комплекс символов, изображающих элементы установки и их взаимные связи и размещенных на панелях контрольного щита или пульта управления. Состояние производственного процесса или отдельных его частей (работа, простой, авария, ремонт) отражается соответствующими индикаторами. Мнемосхемы располагают на панелях рядом с сигнальными, а иногда и измерительными приборами.

Различают мнемосхемы трех типов: несветящиеся, световые и полусветовые. На несветящейся мнемосхеме производственное оборудование и соединительные связи отображают обычно сложными цветными накладными плитками, укрепленными на лицевой стороне панели пульта управления в порядке, отражающим принципиальную электрическую, технологическую, транспортную и другие схемы устройства. Например, на несветящейся мнемосхеме электроподстанции шины изображают горизонтальными полосами, а подходящие и отходящие провода — вертикальными полосами, трансформаторы — кружочками, выключатели — квадратами. Все эти элементы окрашивают по схеме различными цветами в зависимости от напряжения. Рядом с выключателями изображают сигнальные лампы двух цветов: красный цвет соответствует их включенному состоянию, зеленый — выключенному. Мигающий свет обычно сигнализирует о несоответствии положения выключателя новому состоянию объекта. Иногда несветящиеся мнемосхемы выполняют только красками.

На световой мнемосхеме все действующие элементы контролируемого объекта и связи между ними отображают световыми символами различных цветов. Известно несколько исполнений световых мнемосхем.

1. Стекланные матовые панели, закрасненные с внутренней стороны темной непрозрачной краской с незакрашенным рисунком мнемосхемы. Панели освещаются разноцветными лампами с рефлекторами, направляющими рассеянный свет на просветы.

2. Мнемосхемы, набранные из «светопроводниковых» элементов. Светящийся символ образуется фронтальными концами одного или нескольких светопроводов, покрытых непрозрачной оболочкой и направляющих свет от цветных ламп к символу. Возможно изготовление световой мнемосхемы из специального световолокна, собранного в жгуты и отполированного с торцов. Один из торцов подсвечивается цветными лампами, а другой сформирован в символ соответствующей формы и выведен на лицевую часть панели. В качестве светопроводов используют также стеклянные трубки, заполняемые жидкостями разных цветов.

3. Электролюминесцентные мнемосхемы обычно представляют собой токопроводящие стекла с рисунком мнемосхемы, выполненным электролюминоформным составом, покрытым токопрово-



дящей краской. При подведении напряжения 100...200 В с частотой 400...5000 Гц между токопроводящим стеклом и проводящей краской рисунок светится зеленым, голубым или оранжевым светом (в зависимости от вида люминофора).

В световых мнемосхемах фактическое состояние агрегатов («Включено»; «Выключено», «Авария» и т. п.) сигнализируется зажиганием, гашением или миганием соответствующего элемента мнемосхемы. Отклонение контролируемых величин сигнализируется зажиганием сигнальных лампочек или специальных знаков с указанием допустимых (верхнего, нижнего) пределов. В полутеневых мнемосхемах светятся только узловые точки, остальные части изображены краской или накладными полосками. Разработаны конструкции этих мнемосхем из стандартных элементов (точка, тавро, колено, крест и др.). Мнемосхемы дают наглядное представление о состоянии контролируемого объекта, что облегчает восприятие этой информации.

## **Порядок анализа и синтеза автоматических систем**

Порядок анализа и синтеза автоматических систем зависит от условий поставленной задачи и состояния САУ на момент исследования.

Если САУ уже спроектирована и исследователю необходимо теоретически проверить ее работоспособность с заданными показателями, то весь расчет будет носить проверочный (аналитический) характер. Аналогично обстоит дело, если в спроектированной САУ в процессе монтажа или эксплуатации некоторые параметры или даже структура были изменены. Например, в системе автоматизации водоснабжения поселка был заменен насос, в системе автоматического управления микроклиматом в теплице использован другой регулятор и т. д.

Последовательность аналитического расчета может быть такой:

- изучение объекта автоматизации и определение требуемых показателей его функционирования исходя из особенностей ТП;

- исследование динамических свойств характеристик отдельных звеньев и всей САУ в целом;

- исследование САУ на устойчивость и качество работы при детерминированных и случайных входных воздействиях;

- сравнение полученных результатов с требуемыми показателями и при необходимости коррекция САУ.

Если перед исследователем ставится задача создания новой САУ (задача автоматизации данного объекта), то вычисления носят проектный (синтетический) характер. В этом случае последовательность расчета будет иной:

- изучение объекта автоматизации и определение требуемых показателей качества работы САУ исходя из условий ТП, выбора критерия оптимизации;

математическое описание всех элементов функциональной схемы, кроме регулятора, процессора или ЭВМ, определяющих закон управления САУ;

определение алгоритма функционирования оптимального управляющего устройства;

определение структуры и параметров настройки оптимального регулятора.

Наличие общих методов исследований позволяет упростить задачу получения оптимальной САУ многими ТП, несмотря на их значительное разнообразие в современном сельскохозяйственном производстве.

## **Тема 1.4**

# **ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

### **Общие сведения о приборах и средствах автоматизации технологических процессов**

Все выпускаемые промышленные приборы и средства автоматизации подразделяют на четыре группы:

- приборы для получения информации о состоянии ТП;
- приборы для приема, преобразования и передачи информации по каналам связи;
- приборы для преобразования, хранения и обработки информации и формирования команд управления;
- приборы для использования командной информации в целях воздействия на ОУ.

Наиболее распространены электрические приборы, которые делят на пять групп:

I — технические средства непосредственного взаимодействия с объектом автоматизации, преобразующие параметры в унифицированный электрический сигнал (средства контроля и сигнализации) или унифицированный сигнал в управляющее воздействие на процесс (исполнительные органы);

II — вторичные приборы и регуляторы со встроенным датчиком для простых локальных систем автоматизации;

III — средства централизованного контроля, регулирования и управления для сложных систем автоматизации;

IV — средства контроля, регулирования и управления для централизованных АСУ ТП на базе управляющей вычислительной техники и телемеханики;

V — средства вычислительной техники для решения задач автоматизации процессов организационно-экономического управления производством и предприятиями.

### **Измерительные преобразователи и устройства**

Для успешного синтеза САУ необходимо не только определить оптимальный закон управления, но и правильно выбрать измерительное устройство, исполнительный механизм и регулирующий орган.

Следует учитывать, что в рабочем диапазоне изменения регулируемой величины статическая характеристика измерительного устройства должна быть по возможности линейной. Динамическая характеристика измерительного устройства должна иметь минимальное запаздывание, а постоянная времени — минимальное значение по сравнению с постоянной времени ОУ. Мощность, развиваемая измерительным устройством, должна быть больше мощности, необходимой для перемещения регулирующего органа регулятором прямого действия, или достаточной для нормальной работы регулятора непрямого действия.

Тип измерительного устройства определяется видом регулируемого параметра (давление, температура, скорость и т. п.), физической природой преобразованного сигнала (электрический импульс, механическое воздействие и т. д.), требуемой точностью и зависимостью показаний от условий измерения (запыленность среды, вибрация и т. д.).

Рассмотрим принципы действия, особенности конструкции и характеристики устройств для измерения некоторых параметров, наиболее часто встречающихся в практике автоматизации сельскохозяйственного производства.

**Давление и разрежение** измеряют в основном с помощью механических устройств (пружин, мембран, сильфонов), деформируемых или перемещаемых на величину, пропорциональную значению измеряемого параметра.

Статическая характеристика устройств этого типа определяется отношением

$$S = Fp / K_{\text{ж}}, \quad (1.16)$$

где  $F$  — эквивалентная площадь упругого элемента;  $p$  — измеряемое давление;  $K_{\text{ж}}$  — жесткость упругого элемента.

Динамические характеристики измерителей давления описываются передаточными функциями инерционных или колебательных звеньев.

Разность давлений измеряют дифференциальными манометрами, выходная величина  $S$  которых пропорциональна разности контролируемых давлений. Механические измерители используют для давления в диапазоне от  $10^{-2}$  до 100 МПа.

Помимо механических, применяют электрические измерители давления на базе тензодатчиков, пьезорезисторов, магнитоупругих элементов и т. п. В динамическом отношении эти измерители соответствуют безынерционным звеньям, коэффициент преобразования которых определяется конструктивными особенностями измерителя.

Температуру измеряют с учетом зависимости от нее некоторых физических параметров. Работа преобразователей этой группы основана на тепловом расширении твердых тел, жидкостей или газов (биметаллические, dilatометрические, манометрические измерители), измене-

нии сопротивления проводников и полупроводников (терморезисторы) или изменении термо-ЭДС, возникающей в двух проводниках разной физической природы при наличии разности температур в точках их соединения (термопара).

Принцип действия dilatометрических и биметаллических измерительных преобразователей основан на различии коэффициентов теплового расширения твердых тел, из которых выполнены чувствительные элементы. Dilatометрический преобразователь представляет собой трубку со стержнем, по перемещению свободного конца которого оценивают температуру измеряемой среды. Свободный конец биметаллического преобразователя изгибается в сторону с меньшим коэффициентом линейного расширения.

В манометрическом преобразователе изменение температуры вызывает изменение давления в замкнутом объеме, заполненном жидкостной или газовой средой. О температуре судят по величине перемещения конца манометрической пружины.

Основные характеристики наиболее распространенных измерителей температуры представлены в табл. 1.4.

**1.4. Характеристики измерителей температуры**

Тип измерителя температуры	Диапазон измеряемых температур, °C	Статическая характеристика
Терморезисторы: пластиковые	-220...+500	Нелинейная
– медные	-50...+180	То же
– металлические	-100...+600	Линейная
– полупроводниковые	-90...+180	Нелинейная
Термопары: хромель-алюминиевые	-50...+100	Линейная
хромель-копелевые	-50...+600	То же
Манометрические преобразователи	-160...+600	Нелинейная

**Уровень жидкости** чаще всего измеряют с помощью поплавка, плотность которого меньше плотности жидкости, или погруженного поплавка, плотность которого больше. В первом случае следят за поплавком, находящимся на поверхности жидкости, во втором — измеряют выталкивающую силу, действующую на поплавок.

Кроме поплавковых, применяют также измерители, фиксирующие массу сосуда с жидкостью, гидростатическое давление или электрическое сопротивление (активное и емкостное) в зависимости от уровня контролируемой жидкости.

Динамическая характеристика большинства измерителей уровня описывается передаточной функцией безынерционного звена с коэффициентом передачи  $K$ , определяемым конструкцией устройства.



**Расход** измеряют в массовых ( $m$ , кг/с) или объемных ( $V$ , м<sup>3</sup>/с) единицах. Связь между ними определяется соотношением  $m = V\rho$  (здесь  $\rho$  — плотность измеряемой среды, кг/м<sup>3</sup>).

Расход жидкости или газа при  $\rho = \text{const}$  можно измерить с помощью специально устанавливаемого в трубопроводе сужающегося устройства, период давления  $\Delta p$  на котором пропорционален расходу среды. Этот препарат измеряют дифференциальным манометром. Расходомер такого типа называют дроссельным. В динамическом отношении он эквивалентен безынерционному звену с коэффициентом передачи

$$k = c\sqrt{\Delta p}, \quad (1.17)$$

где  $c$  — коэффициент, зависящий от геометрической формы и размеров сужающегося устройства, диаметра трубопровода и плотности измеряемой среды.

Статическая характеристика этого измерительного устройства нелинейная.

Для измерения количества вещества (кг) используют скоростные или объемные счетчики, рабочий орган которых — крыльчатка, вращаемая потоком жидкости. Количество жидкости, перетекшей через трубопровод, пропорционально частоте вращения крыльчатки, измеряемой интегрирующим прибором.

Объемный расход жидкости или газа можно определить по скорости их движения с помощью пневмометрической трубки. Последнюю располагают по оси трубопровода навстречу потоку. Она воспринимает динамический напор  $\Delta p$ , равный разности между полным и статическим напором.

Динамический напор измеряют дифференциальным манометром, используя показания которого можно вычислить скорость в измеряемой точке сечения:

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}. \quad (1.18)$$

**Перемещение** измеряют с помощью датчиков потенциометрического типа, разного рода электромашинными устройствами или индуктивными преобразователями.

Преобразователи потенциометрического типа включают в мостовую схему, питаемую постоянным или переменным током.

К электромашинным преобразователям, осуществляющим синхронную передачу информации, в первую очередь относятся сельсины. Сельсины (или сельсинные пары) в простейшем случае состоят из трех элементов: датчика, приемника и связывающей их цепи. Устройство датчика и приемника одинаково и напоминает асинхронный двигатель с трехфазной обмоткой на статоре и однофазной на роторе. Однофазная обмотка включается в сеть переменного тока, а трехфазные обмотки соединяются между собой.

Однофазный пульсирующий поток, создаваемый первичными обмотками, наводит на вторичных обмотках ЭДС, совпадающие по фазе, но различающиеся по амплитуде в зависимости от положения каждой из трех вторичных обмоток относительно оси первичной обмотки. При одинаковом положении роторов датчика и приемника вторичные ЭДС обеих машин уравнивают друг друга, и во вторичной цепи ток отсутствует. При повороте ротора сельсина-датчика нарушается равновесие между вторичными ЭДС сельсина-датчика и сельсина-приемника. Вследствие этого возникает уравнивающий ток, вызывающий появление крутящего момента, стремящегося повернуть роторы на одинаковый угол. Поскольку ротор сельсина-датчика обычно связан с задающим механизмом и не может свободно поворачиваться, то происходит поворот ротора сельсина-приемника.

Для возможности самосинхронизации сельсины всегда выполняют двухполюсными. Точность работы синхронной передачи в значительной мере определяется крутизной зависимости синхронизирующего момента от угла рассогласования роторов обеих машин. Для увеличения крутизны этой характеристики, особенно в начальной части, первичную обмотку располагают на явно выраженных полюсах, а при неявнополюсном роторе применяют поперечную короткозамкнутую обмотку.

Дифференциально-трансформаторный плунжерный датчик предназначен для измерения значительных перемещений (до десятков миллиметров). Принцип действия датчика основан на зависимости индуктивности катушек от перемещения якоря. Основная особенность датчика — отсутствие электрической связи между цепью питания и измерительной цепью, причем при нагрузке можно получить требуемое значение выходного сигнала за счет изменения коэффициента трансформации.

Дифференциально-трансформаторный плунжерный датчик имеет две первичные обмотки, включенные последовательно и согласованно, а также две вторичные обмотки, включенные последовательно, но встречно. При работе датчика выходное напряжение определяется разностью напряжений вторичных обмоток. Если плунжер не введен в датчик, то напряжения на обеих вторичных обмотках равны между собой. При вводе плунжера на некоторую глубину индуктивность одной вторичной обмотки уменьшается, а другой остается неизменной. Соответственно, и напряжение на первой вторичной обмотке станет больше, чем на второй. Если плунжер введен на всю глубину датчика, то индуктивности вторичных обмоток и напряжения на них вновь выравниваются:

$$K = U_{\text{п}} \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{н}} + 0,5R}, \quad (1.19)$$

где  $U_{\text{п}}$  — напряжение питания схемы, В;  $R_{\text{н}}$  — сопротивление нагрузки, Ом;  $R$  — полное сопротивление преобразователя, Ом.

Для сельсинной пары

$$K = U_{\max} / 57,3; \quad (1.20)$$

для дифференциально-трансформаторного преобразователя

$$K = \frac{2w_2}{w_1} \frac{U}{S_{\text{вх}}}, \quad (1.21)$$

где  $U$  — максимальное значение выходного напряжения, В;  $w_1$ ,  $w_2$  — число витков первичной и вторичной обмоток преобразователя;  $S_{\text{вх}}$  — значение входной величины.

**Частоту вращения** измеряют с помощью механических, гидравлических, частотных и электрических устройств.

К механическим измерителям частоты вращения относят центробежные тахометры. При вращении вала тахометра на грузы действует центробежная сила, под действием которой они расходятся, деформируя пружину и перемещая муфту.

В динамическом измерителе частота вращения преобразуется в давление жидкости, создаваемое насосом. Вал насоса соединяется с валом, частота вращения которого измеряется.

В индукционных измерителях входной вал соединен с постоянным магнитом. При вращении магнита в металлическом диске индуцируется ЭДС, которая создает вихревые токи. От их взаимодействия с полем постоянного магнита возникает момент вращения, значение которого пропорционально частоте вращения входного вала.

Действие электромагнитных измерителей частоты вращения основано на зависимости развиваемой генератором постоянного тока ЭДС от частоты вращения ротора. В динамическом отношении электрический тахометр подобен безынерционному звену.

## **Автоматические регуляторы, исполнительные механизмы и регулирующие органы**

**Автоматический регулятор** — это устройство, которое воспринимает разность между текущим и заданным значениями регулируемой величины и преобразует ее в перемещение регулирующего органа (РО) согласно заложенному в него закону регулирования. Типовой регулятор включает в себя измерительный преобразователь, задатчик и собственно регулирующее устройство, которое вырабатывает сигнал рассогласования текущего и заданного значений регулируемой величины, усиливает его и корректирует в соответствии с законом регулирования, вырабатывая сигнал регулирующего воздействия.

Автоматические регуляторы классифицируют по роду действия (непрерывного и прерывистого), способу действия (прямого и косвенного) и по характеристике.

*Регуляторы прямого действия* создают достаточное усилие для перемещения регулирующего органа при изменении регулируемого параметра без помощи постороннего источника энергии. В этих регуляторах отсутствуют усилительный элемент и источник энергии.

*Регуляторы непрерывного действия* не могут самостоятельно перемещать регулируемый орган, так как для этого требуется большое усилие. Поэтому они содержат усилительный элемент, источник энергии и серводвигатель, управляющий работой регулирующего органа.

*Регуляторы прерывистого действия* (дискретные) по характеристике подразделяют на двух-, трех- и многопозиционные.

Статическая характеристика наиболее распространенного двухпозиционного регулятора показана на рис. 1.28, а.

Величина  $2a$  определяет зону неоднозначности регулятора. При изменении входной величины  $x$  относительно задающего сигнала  $g$  на величину  $a$  выходная величина  $u$  скачком достигает своего максимального значения  $b_1$ . При уменьшении  $x$  на ту же величину  $a$  выходная величина также скачком достигает значения  $b_2$ . Причем в общем случае  $b_1 = b_2$ . Таким образом, двухпозиционные регуляторы имеют два параметра настройки: зону неоднозначности  $2a$  и управляющее воздействие  $b$ . Характерная особенность САУ с двухпозиционным регулятором — автоколебательный характер изменения управляемой величины  $u$ . Параметры автоколебаний — амплитуда  $A_k$  и период  $T_k$  зависят от свойств объекта управления и настройки регулятора.

Трехпозиционные регуляторы (рис. 1.28, б) в отличие от двухпозиционных кроме двух устойчивых положений — «Больше  $b_1$ » и «Меньше  $b_2$ » обеспечивают еще и третье — «Норма». Органы настройки трехпозиционного регулятора позволяют устанавливать зону нечувствительности  $2\Delta$  и величину регулирующего воздействия  $b$ . Преимущества трехпозиционного регулирования перед двухпозиционным заключаются в отсутствии автоколебаний при  $-\Delta < u < \Delta$  и меньших значениях амплитуды колебаний управляемой величины.

Позиционные регуляторы могут работать также с исполнительными механизмами, обеспечивающими постоянную скорость перемещения регулирующего органа. Статическая характеристика такого регулятора показана на рис. 1.28, в.

Кривая переходного процесса  $y(t)$ , а также кривая изменения управляющего воздействия  $u(t)$  для САУ с регулятором, реализующим статическую характеристику рис. 1.28, а, и объектом управления, описываемым апериодическим звеном первого порядка, представлена на рис. 1.29.

Регуляторы непрерывного действия подразделяют по характеристикам на пропорциональные (статические, или П-регуляторы), астатические (интегральные, или И-регуляторы), изодромные (дифференциальные, или Д-регуляторы), пропорциональные с первой производной (пропорционально-интегрально-дифференциальные, или ПИД-регуляторы).



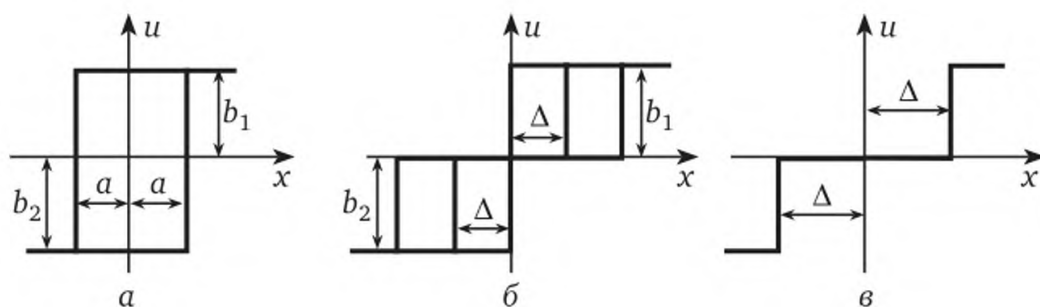


Рис. 1.28. Статические характеристики позиционных регуляторов:  
а — двухпозиционного; б — трехпозиционного; в — то же, с ИМ

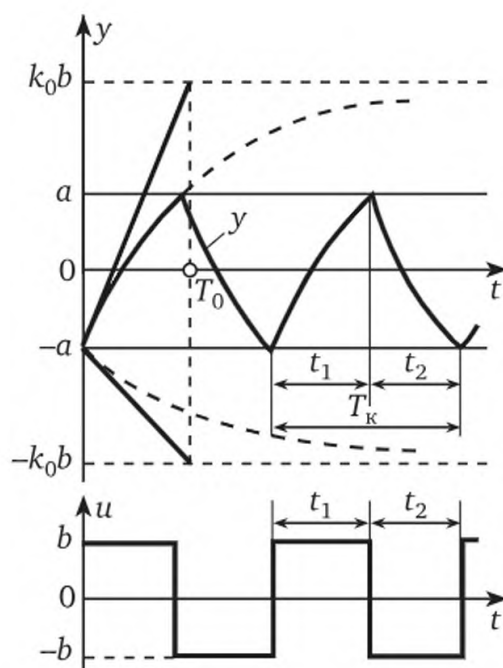


Рис. 1.29. График переходного процесса при позиционном регулировании САУ с объектом управления, описываемым передаточной функцией  $W_{i.д}(p) = \frac{K_i}{T_i p + 1}$

Пропорциональный регулятор — это такой регулятор, у которого между значением регулируемого параметра и положением регулирующего органа существует однозначная зависимость, т. е. в равновесном состоянии каждому положению регулирующего органа соответствует определенное значение регулируемого параметра. Поэтому статические регуляторы не могут обеспечить строгого постоянства регулируемого параметра. У них всегда наблюдается некоторое расхождение между действительным и требуемым значениями регулируемой величины — так называемая статическая ошибка (рис. 1.30). Например, если для регулирования скорости теплового двигателя применен П-регулятор центробежного типа и в какой-то момент увеличилась нагрузка этого двигателя (кривая 1), то регулируемый параметр (частота вращения) начнет уменьшаться (кривая 3).



Отклонение параметра приведет в действие регулятор, который начнет перемещать регулирующий орган (рейку топливного насоса) двигателя (кривая 2). После нескольких затухающих колебаний устанавливается новое значение частоты вращения, причем между текущим и заданным значениями остается некоторое расхождение  $\Delta x$ . Начальная амплитуда отклонения регулируемого параметра достаточно велика и превышает статическую ошибку примерно в 4 раза.

При использовании П-регуляторов для регулирования объектов с большим коэффициентом емкости и малым запаздыванием можно уменьшить неравномерность переходного процесса. Если же объект имеет малый коэффициент емкости или значительное запаздывание, то неравномерность П-регуляторов необходимо увеличить. При этом в неблагоприятных условиях возможно раскачивание системы, т. е. неустойчивое регулирование.

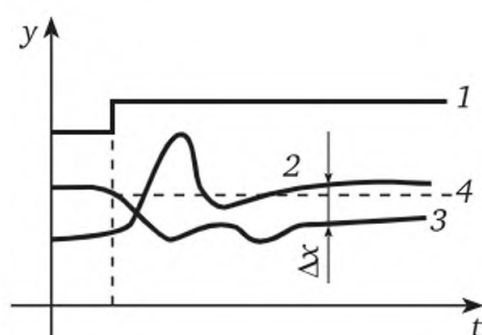


Рис. 1.30. График работы статического (позиционного) регулятора:

1 — изменение нагрузки на объект регулирования; 2 — изменение положения регулирующего органа; 3 — изменение регулируемого параметра; 4 — заданное значение регулируемого параметра

**Интегральный регулятор** — это регулятор, у которого регулирующий орган перемещается до тех пор, пока регулируемый параметр не примет установленное значение.

Равновесное состояние И-регуляторов наступает лишь при одном определенном значении регулируемого параметра, а именно при установленном значении независимо от положения регулирующего органа. Это достигается тем, что воздействие, возникающее в результате рассогласования, компенсируется некоторой постоянной силой, не зависящей от положения регулирующего органа, в то время как у П-регуляторов возникающее при рассогласовании воздействие компенсируется силой, зависящей от положения регулирующего органа.

Для пояснения рассмотрим две схемы регулирования напряжения генератора постоянного тока параллельного возбуждения. Как известно, напряжение на зажимах генератора зависит от нагрузки, уменьшаясь при ее увеличении и увеличиваясь при уменьшении.

На рис. 1.31, а изображена схема регулирования напряжения с помощью П-регулятора, а на рис. 1.31, б — с помощью И-регулятора.

При уменьшении нагрузки генератора напряжение  $U$  на его зажимах увеличивается, и чтобы вернуть его к установленному значению, нужно несколько уменьшить ток возбуждения  $I_B$ . В обоих регуляторах рост напряжения вызывает увеличение тока  $I_3$ , проходящего по обмотке электромагнита:  $I_3 = U / R_3$  (здесь  $R_3$  — неизменное сопротивление цепи электромагнита). Чем больше ток  $I_3$ , тем больше сила  $F_3$ , с которой электромагнит втягивает сердечник 5. Вместе с сердечником перемещается вверх и движок 4 реостата 3, включенного последовательно с обмоткой возбуждения 2 генератора. При этом сопротивление реостата  $R_p$  увеличивается. Следовательно, уменьшается сила тока возбуждения:  $I_B = U / (R_B + R_p)$  (здесь  $R_B$  — неизменное сопротивление обмотки возбуждения) и начинает снижаться напряжение  $U$  генератора.

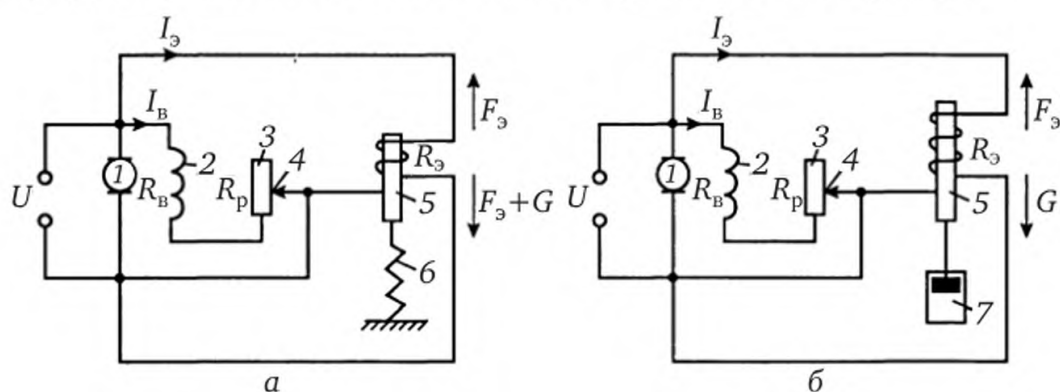


Рис. 1.31. Схема включения регулятора напряжения генератора:

а — статического; б — астатического; 1 — генератор; 2 — обмотка возбуждения; 3 — регулирующий реостат; 4 — движок реостата; 5 — сердечник электромагнита; 6 — пружина; 7 — успокоитель

У П-регулятора движок перемещается до тех пор, пока втягивающая сила электромагнита не уравнивается силой  $F_{\text{п}}$  пружины 6 и весом  $G$  сердечника. При движении сердечника вверх пружина растягивается, и сила  $F_{\text{п}}$  пропорционально возрастает. Чтобы наступило равновесие, сила втягивания электромагнита  $F_3$  должна быть несколько больше действительно необходимой, а это возможно только в том случае, если напряжение на зажимах генератора будет несколько больше установленного. Это превышение напряжения представляет собой *статическую ошибку* регулятора.

У И-регулятора втягивающая сила электромагнита уравнивается только постоянным весом сердечника. Поэтому у И-регулятора равновесие возможно при любом положении сердечника. Следовательно, И-регулятор будет передвигать движок 4 реостата до тех пор, пока напряжение  $U$  на зажимах генератора, определяющее втягивающую силу электромагнита, не достигнет точно установленного значения.

При равновесии сердечник с движком висит неподвижно. При увеличении напряжения увеличивается  $F_3$  и сердечник втягивается в катушку электромагнита до отказа рывком, а при уменьшении напряжения также рывком выходит из электромагнита до другого крайнего положения. Чтобы избежать этих рывков, в схему введен успокоитель 7.

Движение регулирующего органа у И-регуляторов происходит медленно. Поэтому их можно применять для регулирования таких объектов, у которых нагрузка изменяется медленно. Если же нагрузка на объект регулирования изменяется быстро и для поддержания регулируемого параметра требуются быстрые перемещения регулирующего органа, то применить И-регуляторы нельзя.

На рис. 1.32 представлен график работы И-регулятора. Амплитуда начального отклонения регулируемого параметра примерно такая же, как и у П-регулятора, но колебания затухают медленнее, т. е. переходный режим более длительный, чем у П-регулятора. Остаточное отклонение регулируемого параметра от установленного значения равно нулю.

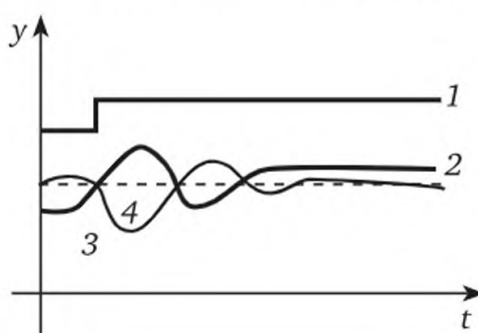


Рис. 1.32. График работы астатического регулятора напряжения генератора:

1 — изменение нагрузки на объекте регулирования; 2 — изменение положения регулирующего органа; 3 — изменение регулируемого параметра; 4 — заданное значение регулируемого параметра

Пропорционально-интегральный регулятор — это регулятор, в котором сочетаются свойства П- и И-регуляторов. ПИ-регуляторы в начальный период после возникновения рассогласования действуют как П-регуляторы, а в конце переходного периода — как И-регуляторы.

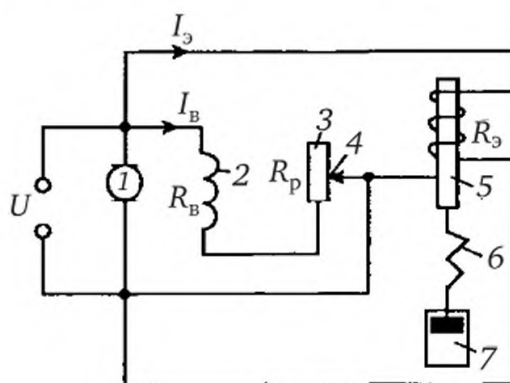


Рис. 1.33. Схема включения изодромного регулятора напряжения генератора:

1 — генератор; 2 — обмотка возбуждения; 3 — реостат; 4 — движок реостата; 5 — сердечник электромагнита; 6 — пружина; 7 — успокоитель

Таким образом, ПИ-регуляторы не дают остаточного отклонения регулируемого параметра от установленного значения. На рис. 1.33 изображена схема регулирования напряжения генератора постоянного тока с помощью ПИ-регулятора. В этом случае сердечник 5 электромаг-

нита связан с успокоителем 7 через пружину 6. Сопротивление успокоителя вызывается перетеканием масла при перемещениях поршня из верхней полости цилиндра в нижнюю, и наоборот. Чем выше скорость перемещения поршня, тем больше сопротивление успокоителя. Таким образом, успокоитель реагирует на первую производную изменения параметра, в данном случае напряжения  $U$  генератора, так как перемещение  $l$  пропорционально  $U$ , а скорость движения  $v$  является производной перемещения по времени:

$$v = \frac{dl}{dt} \approx \frac{dv}{dt}. \quad (1.22)$$

В начальный момент возникновения возмущения скорость отклонения регулирующего параметра от установленного значения велика. Поэтому сопротивление успокоителя перемещению поршня значительно и поршень практически остается на месте. Сердечник 5 электромагнита, перемещаясь, растягивает пружину 6, и регулятор действует в это время как пропорциональный. Затем скорость перемещения сердечника снижается, сопротивление успокоителя перемещению поршня становится меньше, масло начинает перетекать из одной полости в другую, и сердечник, медленно перемещаясь, достигает такого положения, когда напряжение генератора в точности возвращается к установленному значению. В это время ПИ-регулятор действует как И-регулятор.

ИМ классифицируют по виду потребляемой энергии на гидравлические, пневматические, электродвигательные и электромагнитные (табл. 1.5).

График работы ПИ-регулятора представлен на рис. 1.34.

ПИ-регулятор имеет наиболее короткое время переходного процесса и дает наименьшую амплитуду отклонения регулируемого параметра, т. е. имеет достаточно серьезные преимущества по сравнению с регуляторами других типов.

**Исполнительный механизм (ИМ)** представляет собой устройство, преобразующее управляющий сигнал регулятора в перемещение регулирующего органа. Обычно ИМ состоит из двигателя, редуктора, устройств защиты, контроля и сигнализации положения выходного элемента, блокировки и отключения.

*Гидравлические ИМ* состоят из двух элементов — управляющего и исполнительного. Обычно в качестве первого элемента применяют золотник, который реализует поступательное или вращательное движение выходного вала. В этих ИМ входная величина — перемещение управляющего устройства или давление  $p$  жидкости на поршень, выходная — перемещение (поворот) выходного вала  $S$ . Гидравлические ИМ обладают очень большим быстродействием и входной мощностью, поэтому их применяют в системах автоматизации мобильных сельскохозяйственных машин и агрегатов.



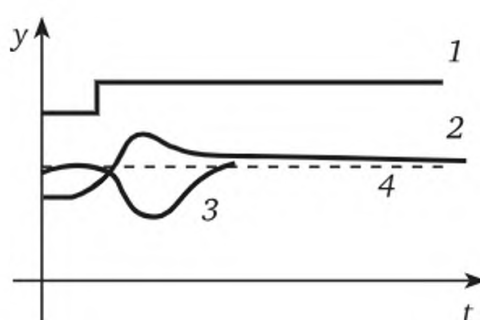
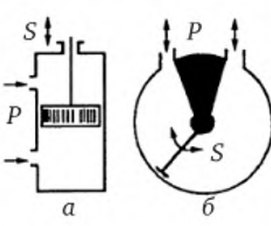
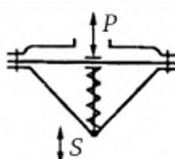

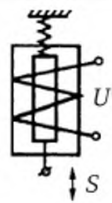


Рис. 1.34. График работы изодромного регулятора напряжения генератора:

1 — изменение нагрузки на объекте регулирования; 2 — изменение положения регулирующего органа; 3 — изменение регулируемого параметра; 4 — заданное значение регулируемого параметра

### 1.5. Основные параметры исполнительных механизмов

Схема	Наименование	Входная величина	Выходная величина	Развиваемая мощность, Вт
	Поршневые двигатели с поступательным (а) и вращательным (б) движением поршня	Давление	Перемещение	$10^{-2} \dots 5 \cdot 10^4$
	Пневматический мембранный двигатель	Давление	То же	До 200
	Электродвигательный исполнительный механизм	Напряжение	Угол поворота	До $4 \cdot 10^4$
	Электромагнит	Напряжение	Перемещение	До $1,4 \cdot 10^3$

Пневматические ИМ по устройству аналогичны гидравлическим. Они обладают высокой надежностью, простотой конструкции и обеспечивают получение достаточно больших усилий. При малых изменениях выходного параметра  $S$  динамику ИМ можно представить характеристиками безынерционного звена, коэффициент передачи которого несколько убывает по мере увеличения  $S$ .

Общие недостатки пневматических и гидравлических ИМ: сложность операций по их наладке и, главное, необходимость в специальных компрессорных (насосных) установках для их питания.



*Электродвигательные ИМ* включают в себя электродвигатели постоянного и переменного тока, в том числе асинхронные двухфазные с полым ротором и конденсаторами в цепи обмотки управления, а также асинхронные трехфазные двигатели. ИМ постоянного тока имеют независимое возбуждение или возбуждение от постоянных магнитов. Управляют этими двигателями, изменяя напряжение на якоре или обмотке возбуждения.

В большинстве конструкций ИМ переменного тока применяют двух- и трехфазные асинхронные двигатели. Двухфазные асинхронные двигатели имеют по две обмотки — обмотку возбуждения и обмотку управления. Обмотку возбуждения подключают к сети переменного тока, а на обмотку управления подают входной сигнал и подключают ее к сети через конденсатор, обеспечивающий сдвиг по фазе на угол  $90^\circ$ .

Асинхронный двухфазный двигатель приближенно можно рассматривать как инерционное звено, если выходная величина — угловая скорость ротора, или как два последовательно соединенных звена — интегрирующее и инерционное (апериодическое звено первого порядка), если выходная величина — угол поворота ротора.

Коэффициент передачи зависит от способа управления двигателем, а постоянная времени — от сигнала управления, возрастая с уменьшением пускового момента двигателя от 0,1 до 0,2 с. Передаточная функция асинхронного трехфазного двигателя описывается апериодическим звеном первого порядка.

*Электромагнитные ИМ* представляют собой соленоиды и электромагнитные муфты. Соленоидный ИМ — это катушка, втягивающее усилие которой при подаче управляющего сигнала  $U$  перемещает якорь на величину  $S$ , преодолевая сопротивление пружины. Статическая характеристика электромагнитных ИМ, как правило, нелинейная. Их используют в системах позиционного регулирования.

Электромагнитные муфты могут быть функциональными, порошковыми и асинхронными. Функциональная муфта состоит из двух полумуфт, насаженных на ведущий и ведомый валы. В одной из полумуфт расположена обмотка возбуждения. При подаче на нее напряжения полумуфты сдвигаются и возникающая сила трения приводит муфту в движение. Такие муфты также применяют в системах позиционного регулирования и защиты оборудования при аварийных нарушениях его работы.

Принцип действия порошковой муфты основан на изменении вязкости ферромагнитной массы, заполняющей муфту. При подаче на катушку напряжения вязкость ферромагнитной массы возрастает и увеличивается передаваемый момент.

В муфтах скольжения передача крутящего момента происходит посредством магнитного поля, создаваемого обмоткой, расположенной на ведущей полумуфте. При ее вращении в ведомой полумуфте, как в роторе асинхронного двигателя, индуцируется ток, от взаимодей-

ствия которого с магнитным полем возникает крутящий момент, увлекающий ведомую полумуфту за ведущей.

Порошковые и асинхронные электромагнитные муфты могут быть использованы и в системах непрерывного регулирования. В этом случае их характеризует передаточная функция апериодического звена первого порядка с постоянной времени, равной 0,03...0,25 с для порошковых и 0,11...0,45 с для асинхронных муфт.

**Регулирующий орган (РО)** — это устройство, позволяющее изменять направление или расход потока вещества или энергии в соответствии с требованиями ТП. Эффективность РО определяется его аналитическими характеристиками — диапазоном регулирования и рабочей расходной характеристикой.

Диапазоном регулирования  $D$  называют отношение максимального расхода среды  $G_{\max}$  к минимальному ее расходу  $G_{\min}$ , соответствующему перемещению РО из одного крайнего положения  $h_{\min}$  в другое  $h_{\max}$  (для РО дроссельного или объемного типа) или изменению частоты вращения от минимума до максимума (для РО скоростного типа):

$$D = G_{\max} / G_{\min}. \quad (1.23)$$

Рабочей расходной характеристикой называют зависимость расхода жидкостной (газовой) среды от положения РО  $h_{\text{РО}}$ :

$$G = f(h_{\text{РО}}). \quad (1.24)$$

В сельскохозяйственном производстве применяют РО трех типов: объемного, скоростного, дроссельного.

*РО объемного типа* (рис. 1.35, а) изменяют расход среды за счет изменения ее объема (например, ленточные питатели-дозаторы компонентов кормовых смесей). Материал на ленту поступает непосредственно из бункера через воронку. На фронтальной грани воронки в вертикальных направляющих перемещается заслонка, посредством которой регулируют производительность питателя.

*РО скоростного типа* изменяют свою производительность за счет изменения частоты вращения. К РО этого типа относят устройства для регулирования частоты вращения вытяжных вентиляторов систем вентиляции животноводческих помещений, шнековых питателей-дозаторов и т. д.

В связи с большим разнообразием физико-химических свойств дозируемых компонентов кормов и других сыпучих материалов, а также условий, в которых работают эти РО, известно множество конструкций их рабочих органов. Эти органы, как правило, состоят из активных элементов, обеспечивающих перемещение дозируемого материала, ограничивающих элементов, формирующих поток, и вспомогательных элементов.

Рациональный выбор РО и его конструктивное оформление в значительной степени обеспечивают надежность устройства и точность дозирования.

*РО дроссельного типа* изменяют расход вещества за счет изменения скорости и площади сечения потока жидкости или газа при прохожде-

нии его через дросселирующее устройство, гидравлическое сопротивление которого — переменная величина. Массовый расход вещества, кг/с, дроссельный РО

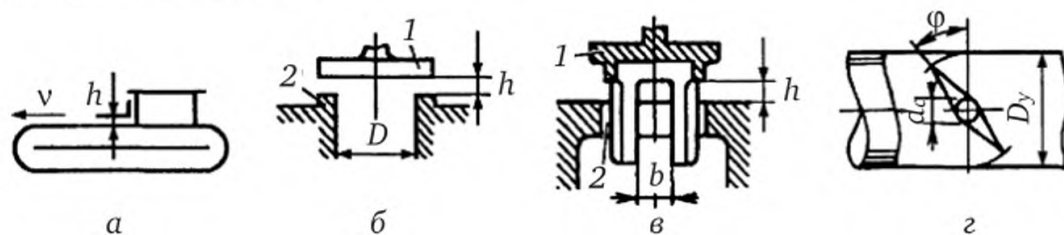


Рис. 1.35. Регулирующие органы:

*a* — объемный ленточный питатель; *б* — тарельчатый клапан; *в* — золотниковый клапан; 1 — плунжер; 2 — седло; *г* — поворотная заслонка

$$G = \mu F \sqrt{2\Delta p \rho}; \quad (1.25)$$

объемный расход, м<sup>3</sup>/с,

$$Q = \mu F \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, \quad (1.26)$$

где  $\mu$  — коэффициент расхода, равный отношению действительного расхода вещества к расчетному;  $F$  — площадь открытия РО, м<sup>2</sup>;  $\Delta p$  — гидравлическое сопротивление РО, Па;  $\rho$  — плотность вещества, кг/м<sup>3</sup>.

Регулирующие клапаны (рис. 1.35, б, в) различаются формами плунжера 1 и седла 2. Каждая конструкция характеризуется прежде всего зависимостью площади проходного сечения  $F_{\Pi}$  клапана от положения плунжера. Для тарельчатого клапана (см. рис. 1.35, б) при  $h_{\max} = 0,250$  эту характеристику, называемую конструктивной, рассчитывают по формуле

$$F_{\Pi} = \pi D h, \quad (1.27)$$

где  $D$  — диаметр окна, м;  $h$  — высота поднятия клапана, м.

Для золотникового клапана (см. рис. 1.35, в) с прямоугольным сечением окна

$$F_{\Pi} = n b h, \quad (1.28)$$

где  $n$  — число окон;  $b$  — ширина окна, м.

Поворотные заслонки (рис. 1.35, г) круглой или прямоугольной формы служат в основном для регулирования расхода газообразных сред при малых перепадах давления на РО. Конструктивные характеристики круглых заслонок определяются значениями диаметра условного прохода. Зависимость площади проходного сечения от угла поворота заслонки имеет вид

$$F_{\Pi} = 0,78 D_y^2 (1 - \cos \varphi), \quad (1.29)$$

где  $D_y$  — диаметр условного прохода круглой или равной ей по площади прямоугольной заслонки, численно равный внутреннему диаме-

тру круглой заслонки, м;  $\varphi$  — угол поворота заслонки, изменяющийся в пределах от 0 до  $\varphi_{\max}$ .

Максимальный угол поворота заслонки

$$\varphi_{\max} = \arccos a / D_y, \quad (1.30)$$

где  $a$  — толщина заслонки, м.

Максимальный расход газа через заслонку

$$G_{\max} = 0,044 \mu F_{\text{п max}} k \sqrt{\Delta p \rho}, \quad (1.31)$$

где  $F_{\text{п max}}$  — максимальное открытие, соответствующее углу поворота  $\varphi = \varphi_{\text{п max}}$ ;  $k$  — поправка на расширение потока.

Минимальный расход рассчитывают по той же формуле, но для величины  $F_{\text{п}}$ , равной площади кольцевого зазора между заслонкой и внутренней стенкой трубопровода, обычно кольцевой зазор принимают равным  $(0,002 \dots 0,005) D_y$ .

## Основные принципы выбора автоматических регуляторов

Характер и закон управления выбирают в зависимости от свойств ОУ и требований к ТП. Свойства объекта в первом приближении могут быть оценены по отношению времени запаздывания  $\tau$  к постоянной времени  $T_0$ :  $\tau/T_0$ . Чем больше это отношение, тем сложнее объект автоматизации. Поэтому при  $\tau/T_0 < 0,2$  рекомендуется применять позиционный регулятор; при  $0,2 \leq \tau/T_0 \leq 1$  — регулятор непрерывного действия; при  $\tau/T_0 > 1$  — импульсный или цифровой регулятор.

Приведенные рекомендации, однако, не являются исчерпывающими. Например, позиционные системы регулирования характеризуются автоколебаниями управляемой величины, и если технология автоматизируемого процесса не допускает автоколебательного режима, то возможно применение регулятора непрерывного действия.

При выборе оптимального закона управления необходимо иметь в виду, что проектируемая САУ должна быть устойчивой и обладать определенными показателями качества.

Рассмотрим принцип синтеза оптимальных алгоритмов управления на примере одноконтурной аналоговой системы.

Одноконтурные аналоговые САУ широко применяют не только в сельском хозяйстве, но и в промышленности для регулирования температуры, влажности, уровня, скорости, давления, тока, напряжения, освещенности и других параметров в теплицах, хранилищах, холодильниках, инкубаторах, животноводческих помещениях, котельных и т. п. Их структуры достаточно просты. Они являются фундаментальной составной частью многомерных систем со взаимосвязанными параметрами.



Структурная схема одноконтурной аналоговой системы представлена на рис. 1.36. В этой схеме принципиально выделены два звена:  $W_{o,y}(p)$  и  $W_{y,y}(p)$  — передаточные функции соответственно объекта управления и управляющего устройства, а также показаны следующие параметры:  $g$  — задающее (плановое) воздействие;  $f$  — возмущающее воздействие (помеха);  $y$  — выходной регулируемый или управляемый параметр;  $x$  — функция ошибки управления.

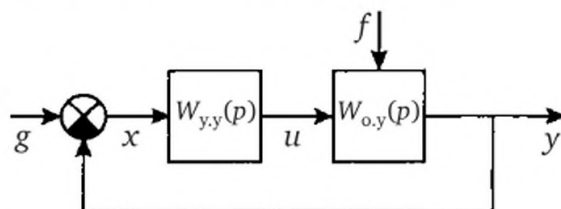


Рис. 1.36. Структурная схема одноконтурной замкнутой линейной САУ

В идеале цель синтеза состоит в том, чтобы  $y = g$ , а  $x = 0$ . Достичь данного условия практически невозможно, но вполне реально сблизить эти операторы с той или иной степенью точности:

$$g = -y = x = x_g + x_f, \quad (1.32)$$

где  $x_g, x_f$  — функции ошибки управления соответственно по задающему и возмущающему воздействиям.

Критерий оптимизации проектируемой САУ — значение коэффициента ошибки  $K_{vx\text{доп}}^v$ , определяющей предельно допустимую норму отклонения управляемых или регулируемых параметров от задающих воздействий и характеризующей эффективность достижения цели управления. Значение  $K_{vx\text{доп}}^v$  устанавливают в соответствии с технологическими требованиями. Оно всегда остается постоянным. При этом

$$g = g_n \pm \Delta g,$$

или

$$g = \frac{g_n}{g_n} \pm \frac{\Delta g}{g_n} = 1 \pm K_{vx\text{доп}}^v. \quad (1.33)$$

В выражении (1.33)  $g_n$  представляет собой требуемое значение управляемой величины, а  $\Delta g$  — допустимое отклонение этой величины, определяемое особенностями конкретного ТП. Например, для овощехранилища  $g = (3 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,  $K_{vx\text{доп}}^v = 0,3$ ; для теплиц при выращивании огурцов  $g = (22 \pm 2)^\circ\text{C}$ ,  $K_{vx\text{доп}}^v = 0,09$ ; для инкубатора  $g = (37,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ ,  $K_{vx\text{доп}}^v = 0,013$ . Показатель  $v$  называют мерой глубины оптимизации. Например, при  $v = 0$

$$\lim_{p \rightarrow 0} x = K_{0xg} + K_{0xf} = K_{0xg}(1 + K_{o,y}) \leq K_{0x\text{доп}};$$

при  $v = 1$   $K_{0xg} = K_{0xf} = 0$



$$\lim_{p \rightarrow 0} x = \left. \frac{d\Phi_{xg}}{dp} \right|_{p=0} + \left. \frac{d\Phi_{xf}}{dp} \right|_{p=0} = K_{1xg} + K_{1xf}(1 + K_{o,y}) \leq K_{1x \text{ доп.}}$$

При  $v = 2$   $K_{0xg} = K_{0xf} = 0$ ,  $K_{1xf} = K_{1xg} = 0$

$$\lim_{p \rightarrow 0} x(p) = \left. \frac{d^2\Phi_{xg}(p)}{2!dp^2} \right|_{p=0} = K_{2xg}^2 + K_{2xf}^2 + K_{2xg}^2(1 + K_{o,y}) \leq K_{2x \text{ доп.}}^2$$

При произвольном  $v \rightarrow n$  записывают

$$\lim_{p \rightarrow 0} x(p) = \left. \frac{d^n\Phi(p)}{n!dp^n} \right|_{p=0}.$$

При синтезе оптимальной САУ ее структуру используют в качестве исходной модели, для которой изначально задают требования обеспечения устойчивости и необходимого качества работы.

Алгоритм работы управляющего устройства описывается в соответствии с выражением

$$W_{y,y}(p)_{\text{расч}} = \frac{\sum C_k^k p^k}{(1/v)K_{v \times g}^v p^v W_{o,y}(p)}, \quad (1.34)$$

где  $C_k^k$  — коэффициенты, определяемые из условия кратности отрицательных вещественных корней  $\alpha_{vg}$  характеристического уравнения

$$\begin{aligned} A(p) &= \frac{K_{v \times g}}{v!} p^v + \sum C_k^k p^k = \frac{K_{v \times g}}{v!} p^v + C_{v-1}^{v-1} p^{v-1} + C_{v-2}^{v-2} p^{v-2} + \dots + C_1 p + 1 = \\ &= \frac{1}{v!} K_{v \times g}^v (p + \alpha_{vg})^v = 0. \end{aligned}$$

С целью упрощения выбора оптимального управляющего устройства для одноконтурных аналоговых САУ по известным передаточным функциям и критериям оптимизации можно воспользоваться табл. 1.6.

Учитывая, что УУ состоит из последовательно соединенных датчика, регулятора, исполнительного механизма и регулирующего органа, полученный алгоритм управления необходимо привести к собственно регулятору. Тогда

$$W_{\text{рег}}(p)_{\text{опт}} = \frac{W_{y,y}(p)_{\text{опт}}}{W_g(p)W_{и.м}(p)W_{р.о}(p)}.$$

Характеристики датчиков, исполнительных механизмов и регулирующих органов могут быть не только аналоговыми, но и дискретными (релейными). В этом случае все расчеты по определению оптимальных структур управляющего устройства и регуляторов следует выполнять на основе дискретных  $w$ -операторов.

1.6. Передаточные функции оптимальных управляющих устройств

$W_{o,y}(p)$	$k_{x0g}$	$k_{x0g} = 0;$ $k_{x1g} \leq k_{x1g \text{ доп}}$	$k_{x0g} = 0; k_{x1g} = 0; k_{x2g}^2 \leq k_{x2g \text{ доп}}^2$
$k_{o,y}$	$\frac{1}{k_{x0g}k_{o,y}}$ П-закон	$\frac{1}{k_{x1g}k_{o,y}p}$ И-закон	$\frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{k_{x2g}^2k_{o,y}p}} + \frac{2}{k_{x2g}^2k_{o,y}p^2}$ ИИ <sup>2</sup> -закон
$\frac{k_{o,y}}{T_0p+1}$	$\frac{T_0}{k_{x0g}k_{o,y}}p + \frac{1}{k_{x0g}k_{o,y}}$ ПД-закон	$\frac{T_0}{k_{x1g}k_{o,y}} + \frac{T_k}{k_{x1g}k_{o,y}p}$ ПИ-закон	$\frac{2\sqrt{2}T_0}{\sqrt{k_{x2g}^2k_{o,y}}} + \frac{2(\sqrt{k_{x2g}^2 + T_0})}{k_{x2g}^2k_{o,y}p} + \frac{2}{k_{x2g}^2k_{o,y}p^2}$ ПИИ <sup>2</sup> -закон
$\frac{k_{o,y}}{p}$	$\frac{1}{k_{x0g}k_{o,y}}p$ Д-закон	$\frac{1}{k_{x1g}k_{o,y}}$ П-закон	$\frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{k_{x2g}^2k_{o,y}}} + \frac{2}{k_{x2g}^2k_{o,y}p}$ ПИ-закон
$\frac{k_{o,y}}{p(T_0p+1)}$	$\frac{T_0}{k_{x0g}k_{o,y}}p^2 + \frac{1}{k_{x0g}k_{o,y}}p$ ДД <sup>2</sup> -закон	$\frac{T_0}{k_{x1g}k_{o,y}}p + \frac{1}{k_{x1g}k_{o,y}}$ ПД-закон	$\frac{2\sqrt{2}T_0}{\sqrt{k_{x2g}^2k_{o,y}}}p + \frac{2(\sqrt{k_{x2g}^2 + T_0})}{k_{x2g}^2k_{o,y}} + \frac{2}{k_{x2g}^2k_{o,y}p}$ ПИД-закон
$\frac{k_{o,y}}{T_{20}^2p^2 + T_{10}p + 1}$	$\frac{T_{20}^2}{k_{x0g}k_{o,y}}p^2 + \frac{T_{10}}{k_{x0g}k_{o,y}}p + \frac{1}{k_{x0g}k_{o,y}}$ ПДД <sup>2</sup> -закон ПДД <sup>2</sup> -закон	$\frac{T_{20}^2}{k_{x1g}k_{o,y}}p + \frac{T_{10}}{k_{x1g}k_{o,y}} + \frac{1}{k_{x1g}k_{o,y}p}$ ПИД-закон	$\frac{2\sqrt{2}T_{20}^2}{\sqrt{k_{x2g}^2k_{o,y}}}p + \frac{2(T_{20}^2 + \sqrt{2k_{x2g}^2}T_{10})}{k_{x2g}^2k_{o,y}} + \frac{2(\sqrt{2k_{x2g}^2} + T_{10})}{k_{x2g}^2k_{o,y}p} + \frac{2}{k_{x2g}^2k_{o,y}p^2}$ ПИИ <sup>2</sup> Д-закон

**Раздел 2**  
**АВТОМАТИЗАЦИЯ**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ**  
**ПРОЦЕССОВ**  
**В ЖИВОТНОВОДСТВЕ**

---

---

## **Тема 2.1**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ**

### **Основные параметры микроклимата в животноводческих помещениях**

Важнейший фактор обеспечения нормальных условий содержания и продуктивности сельскохозяйственных животных — микроклимат. К параметрам микроклимата относятся температура воздуха, относительная влажность, содержание вредных для животных компонентов ( $\text{NH}_3$  и др.), скорость движения воздуха и др. Поддержание требуемой температуры — одно из необходимых условий обеспечения нормального обмена веществ в организме животных. Нарушение теплового режима отрицательно влияет на все жизненные процессы.

При низкой температуре увеличивается отдача теплоты телом, вследствие чего животные усиленно потребляют корм, а при температуре ниже критической организм не успевает вырабатывать теплоту за счет энергии корма, наступает переохлаждение, возможны простудные заболевания животных и даже смерть. При температуре выше критической резко уменьшается конвективный теплообмен организма с окружающей средой, поэтому появляется угроза перегрева и теплового удара. Резкие колебания температурного режима в течение суток оказывают более сильное отрицательное воздействие на организм, чем постоянно повышенная или пониженная температура, причем в первую очередь это сказывается на молодняке.

Известно, что у новорожденных поросят нет жировой подкожной прослойки и шерстяного покрова. По сравнению с молодняком животных других видов они более чувствительны к холоду, так как рождаются с менее развитой терморегуляцией. Нормальная терморегуляция у них устанавливается только через 30 дней после рождения (например, при температуре окружающего воздуха 18...20 °C у поросят сразу же после рождения температура тела снижается на 1,5...3 °C). Первые два месяца поросята быстро растут, их масса увеличивается в 14...16 раз, что, естественно, сопровождается высоким напряжением всех физиоло-

гических процессов в организме. Поэтому поддержание оптимальных температур для новорожденных поросят — одно из основных условий сохранения приплода зимой. Первые 15 дней в зоне нахождения поросят можно поддерживать температуру в пределах 26...30 °С (инфракрасный обогрев).

В помещениях для крупного рогатого скота оптимальный температурный режим находится в пределах 8...16 °С. При температуре 16...22 °С у животных может нарушиться терморегуляция и другие физиологические функции, что приведет к снижению удоя молока коров на 25...50 % и уменьшению прироста массы молодняка на 12...30 %. У этих животных в жаркое время года повышается температура тела и кожи, учащаются (в 2..3 раза по сравнению с нормой) пульс и дыхание, в результате чего воздух больше насыщается диоксидом углерода (углекислым газом) и водяными парами, а это способствует появлению заболеваний и еще большему снижению продуктивности.

Низкая температура в телятниках — одна из причин большой смертности телят (особенно в первые недели жизни) в результате простудных заболеваний (катара верхних дыхательных путей, бронхопневмонии и др.). Переохлаждение животных также способствует возникновению инфекционных заболеваний.

При содержании животных в холодный период года в помещениях с высокой влажностью часто отмечаются такие заболевания, как бронхит, воспаление легких, мастит у коров, желудочно-кишечные заболевания у молодняка. Высокая влажность — причина возникновения кожных заболеваний (стригущего лишая, экземы, чесотки и т. п.).

В свинарниках при нормальном кормлении животных, но при высокой влажности воздуха (80...100 %) и низкой температуре (1...8 °С) по сравнению с оптимальными условиями (влажность воздуха 65...80 % и температура 8...12 °С) суточный прирост массы растущих свиней меньше на 9...28 %, а затраты корма составляют 6...12 ЭКЕ на 1 кг прироста (вместо 4,5...5,5 ЭКЕ), гибель поросят-сосунов и отъемышей по отношению к общему поголовью составляет 12...28 %. В телятнике с высокой влажностью (90...100 %) и низкой температурой (от -2 до +10 °С) прирост массы телят ниже на 15...20 %.

Однако чрезмерно низкая влажность воздуха (30...40 % и ниже) при повышенной температуре также отрицательно влияет на состояние животных, особенно молодняка, вызывая сухость слизистых оболочек, усиленную жажду, потоотделение. При этом резко снижается сопротивляемость организма к инфекциям. Наиболее благоприятная влажность воздуха в помещениях для содержания животных находится в пределах 50...70 %.

Теплоотдача организма зависит не только от температуры воздуха и его влажности, но в значительной степени и от скорости его движения. При низких температурах и высокой влажности увеличение скорости движения воздуха вызывает усиление отдачи теплоты организмом и приводит к его переохлаждению, при высоких температурах



подвижный воздух предохраняет животных от перегрева, однако молодняк очень чувствителен к повышенной скорости движения воздуха. Поэтому в животноводческих помещениях скорость движения воздуха в зоне нахождения животных должна быть 0,2...0,3 м/с зимой и 1...1,5 м/с летом.

Наряду с физическими свойствами воздуха его химический состав оказывает большое влияние на физиологическое состояние и продуктивность животных.

В процессе жизнедеятельности животных из их организма с выдыхаемым воздухом постоянно поступает диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ). При этом его содержание в помещении повышается, а содержание кислорода снижается. В воздухе животноводческих помещений накапливаются аммиак, сероводород и другие продукты гниения и брожения органических веществ. Газовый состав воздуха в помещениях во многом обуславливается их санитарным состоянием, плотностью размещения животных, способами уборки и утилизации навоза, уровнем воздухообмена и т. д.

Повышенные концентрации диоксида углерода в воздухе помещений отрицательно влияют на физиологическое состояние животных, вызывая нарушение терморегуляции в организме и замедление дыхания. При длительном пребывании в помещении с содержанием диоксида углерода выше 0,3 % возможно хроническое отравление.

Аммиак ( $\text{NH}_3$ ) — токсичный газ. Он также отрицательно влияет на здоровье и продуктивность животных. Продолжительное вдыхание воздуха с содержанием даже небольшого количества аммиака ослабляет резистентность организма и способствует возникновению различных заболеваний, особенно легочных. Продуктивность животных в помещениях с повышенным содержанием аммиака снижается на 25...28 %.

Сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ) также очень токсичен. Высокое содержание его в воздухе способствует затормаживанию окислительных процессов в организме, вызывает воспаление и отек легких, служит одной из причин кислородного голодания животных, отрицательно действует на нервную систему. Продолжительное вдыхание повышенной концентрации сероводорода вызывает отравление.

## **Технологические основы регулирования микроклимата**

При регулировании теплового режима содержания животных управляемыми величинами являются температура воздуха в помещении (зимний режим) и вентиляция, создающая движение воздуха и удаляющая избытки теплоты (летний режим). В экстремальных климатических условиях для регулирования температуры в летний период можно применять испарительное охлаждение.

Условия, при которых баланс теплоты в помещении отрицателен и требуется включать отопление, определяют зимний режим. Летний режим характеризуется положительным балансом теплоты и необходимостью ее утилизации или компенсации.

В тепловом балансе животноводческого помещения обычно учитывают только наиболее значительные его составляющие:

$$\sum Q = Q_{\text{ж}} + Q_{\text{т}} \pm Q_{\text{ог}} - Q_{\text{и}} \pm Q_{\text{в}}, \quad (2.1)$$

где  $Q_{\text{ж}}$  — тепловыделения стада животных;  $Q_{\text{т}}$  — теплота от работающего технологического оборудования;  $Q_{\text{ог}}$  — потери теплоты через ограждения;  $Q_{\text{и}}$  — потери теплоты на испарение влаги;  $Q_{\text{в}}$  — потери теплоты с вентиляционным воздухом.

Тепловыделения животных являются случайной функцией времени. Их средние значения приводятся в специальной литературе.

Теплота от работающего технологического оборудования может быть принята численно равной потребляемой электрической мощности.

Потери теплоты через ограждения определяют по формуле

$$Q_{\text{ог}} = \alpha_{\text{ог}} F_{\text{ог}} (\theta_{\text{в}} - \theta_{\text{н}}), \quad (2.2)$$

где  $\alpha_{\text{ог}}$  — коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $F_{\text{ог}}$  — площадь ограждений, м<sup>2</sup>;  $\theta_{\text{в}}$ ,  $\theta_{\text{н}}$  — температура соответственно внутри и снаружи помещения, °С.

Расход теплоты на испарение зависит от количества испаряемой влаги:

$$Q_{\text{и}} = (597 + 0,45\theta_{\text{в}}) w_{\text{и}}. \quad (2.3)$$

Количество испаряемой влаги  $w_{\text{и}}$  определяют нормативами как сумму количеств испаряемой влаги с поля, поилок, кормушек и других увлажненных поверхностей, т. е.

$$w_{\text{и}} = \sum w_{\text{и}}(i) F_i, \quad (2.4)$$

где  $w_{\text{и}}(i)$  — нормативное количество испаряемой влаги с  $i$ -го участка, кг/м<sup>2</sup>;  $F_i$  — площадь  $i$ -го участка, м<sup>2</sup>.

Прибавив к расчетному количеству влаги  $w_{\text{и}}$  влаговыделения животных  $w_{\text{ж}}$ , получают баланс влаги в помещении:

$$w_{\text{п}} = w_{\text{и}} + w_{\text{ж}}. \quad (2.5)$$

Количества CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> и H<sub>2</sub>S определяют аналогично. Нормы выделения этих газов животными и технологической средой приведены в справочной литературе.

Чтобы удалить избыточные количества теплоты, влаги, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> и H<sub>2</sub>S, животноводческие помещения оборудуют системой общеобменной

вентиляции. Летом с целью обеспечения оптимального теплового режима содержания животных может быть увеличен объем общеобменной вентиляции или дополнительно организована внутриобменная вентиляция в зоне расположения животных. Объем внутриобменной вентиляции рассчитывают из условий компенсации повышенной температуры.

## **Автоматизация вентиляционных установок**

Для поддержания требуемой температуры воздуха, удаления избыточного количества влаги и вредных газов животноводческие помещения оборудуют приточно-вытяжной (общеобменной) вентиляцией, а при необходимости установками для подогрева и увлажнения приточного воздуха.

Для осуществления вытяжной вентиляции используют комплект оборудования типа «Климат-4», основу которого составляют регулируемые по производительности вентиляторы. Вентиляторы комплектуют специальными трехфазными асинхронными электродвигателями повышенного скольжения, которые при нагрузке способны в широких пределах изменять частоту вращения в зависимости от питаемого напряжения (от 70 до 380 В). В комплект оборудования типа «Климат-4» входит 8...24 вентилятора. Тип и число устанавливаемых в одном помещении вентиляторов определяются воздухообменом по летнему режиму. Оборудование типа «Климат-4» комплектуют также устройствами автоматического регулирования напряжения электродвигателей вентиляторов: станцией управления ШАП-5701 в комплекте с автотрансформатором АТ-10, бесконтактной станцией управления МК-ВАУЗ и др.

Принципиальная электрическая схема станции управления ШАП-5701 изображена на рис. 2.1. Автоматический выключатель *QF1* выполняет функции коммутации и защиты силовых цепей, автотрансформатор *ТА* обеспечивает питание электродвигателей номинальным и пониженным (в две ступени) напряжением, магнитные пускатели *КМ1* и *КМ2* переключают обмотки автотрансформатора, *КМ3* подает на двигатели номинальное напряжение, *КМ4* и *КМ5* управляют работой вентиляторов соответственно групп *III* и *I*. Вентиляторы группы *II* включаются одновременно с подачей напряжения, соответствующего низкой частоте вращения.

Станция управления располагает пятью ступенями регулирования подачи воздуха в помещение.

Переключатель *SA3* и соответствующий ему автоматический трехпозиционный терморегулятор *SK2* позволяют вручную или автоматически управлять вентиляторами групп *I* и *III* на низкой частоте вращения при температуре воздуха в помещении ниже номинальной. Переключатель *SA2* и терморегулятор *SK1* служат для включения средней и высокой частот вращения вентиляторов при температуре выше номинальной.

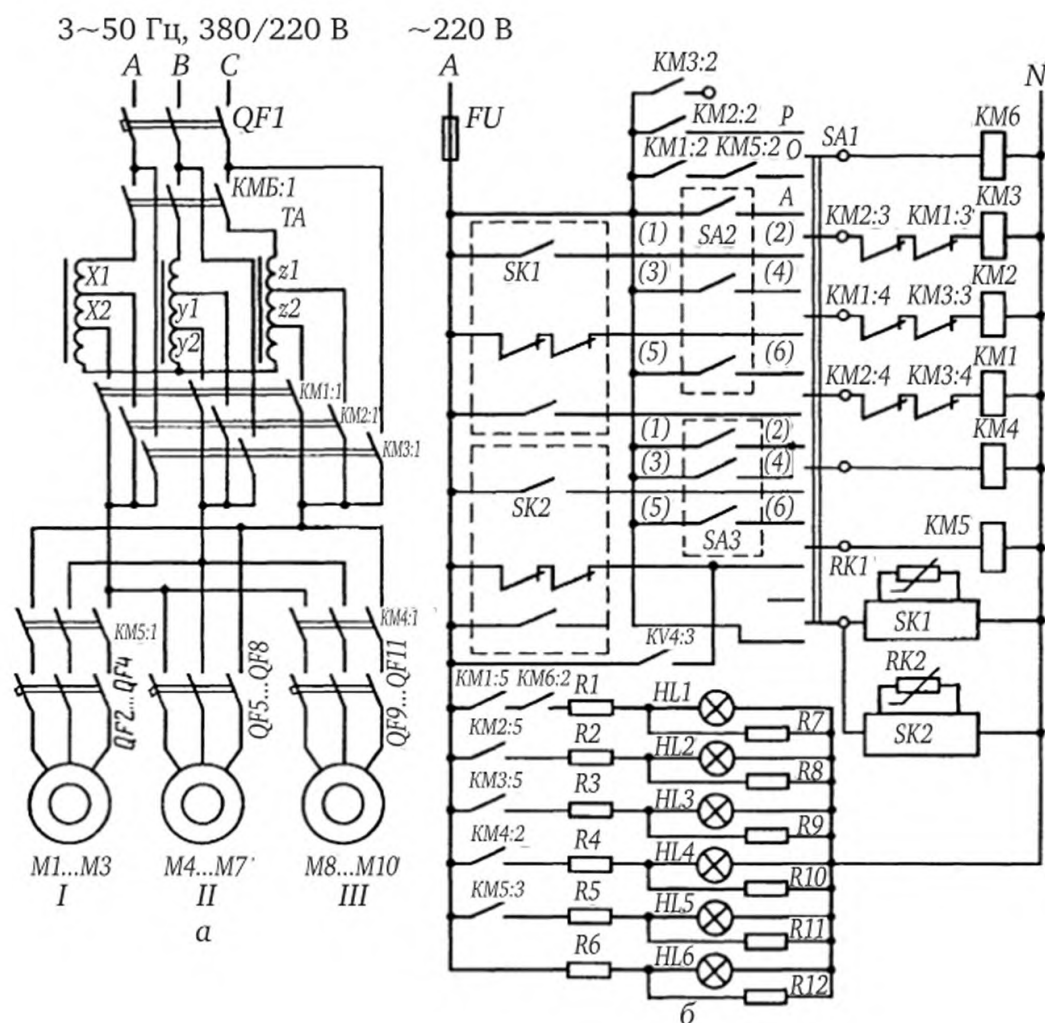


Рис. 2.1. Принципиальная электрическая схема станции  
управления ШАП-5701:  
а — силовая часть; б — схема управления

Бесконтактная станция управления МК-ВАУЗ плавно регулирует частоту вращения вентиляторов как в ручном, так и в автоматическом режимах. На рис. 2.2 представлена блок-схема станции управления МК-ВАУЗ. Сигнал датчика температуры *RK* в помещении поступает на мост сравнения *МС*, в одном из плеч которого установлен резистор — ручной задатчик температуры *ЗДТ*. Затем через усилитель-демодулятор *УД* сигнал подается на узел смещения *УС*, который имеет резисторы — задатчик базового напряжения *ЗБН*, задатчик допустимого отклонения температуры *ЗД* и задатчик минимального напряжения *ЗМН*, которое допустимо подавать на статор электродвигателя данного типа. Далее сигнал подается в систему импульсно-фазового управления тиристорами *СИФУ-1...СИФУ-3*, где также корректируется сигнал, идущий от блока питания *БП* к блокам тиристоров каждой из фаз *БТ1...БТ3*.

Обслуживание станции управления заключается в периодической (один раз в шесть месяцев) корректировке шкалы задатчика температуры *RK* и проверке настройки станции на требуемые режимы работы. Для этого после часового прогрева станции управления необходимо:



по показанию ртутного термометра (температура воздуха в помещении), находящегося рядом с термометром сопротивления, установить задатчик температуры;

задатчик зоны пропорциональности установить на максимальное значение;

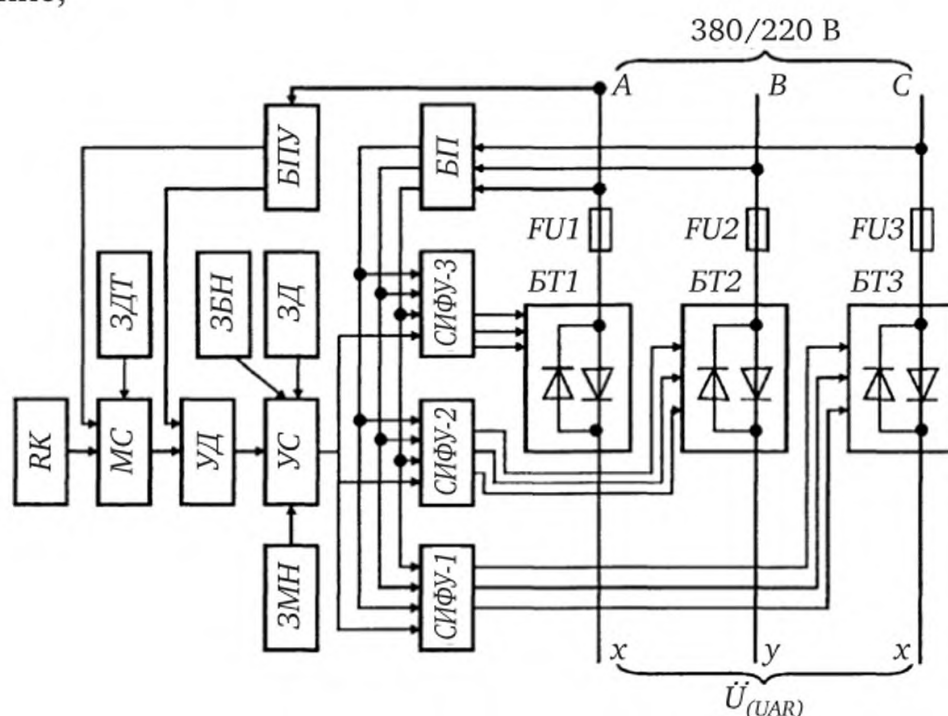


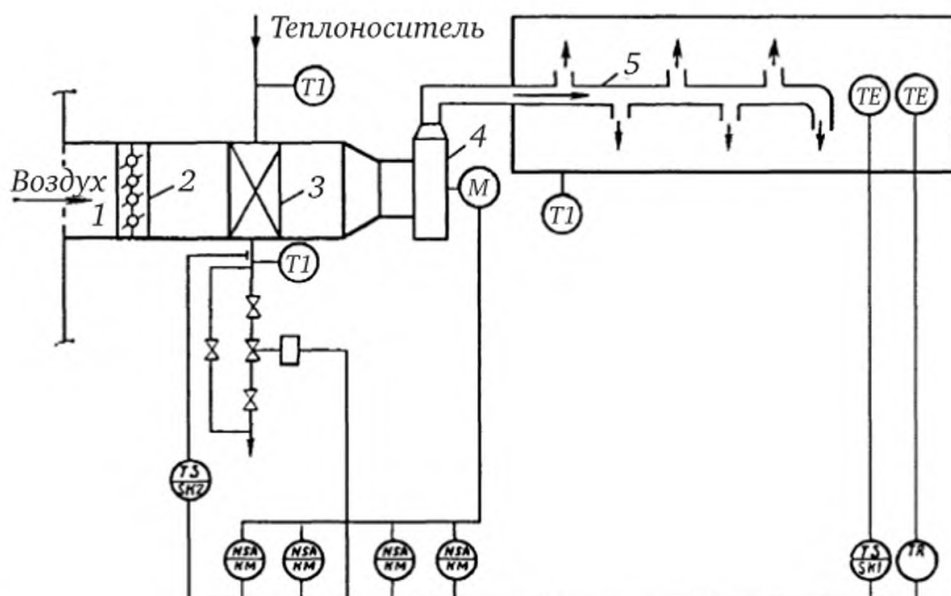
Рис. 2.2. Блок-схема станции управления МК-ВАУЗ

при неизменном положении задатчика базового напряжения корректором нулевого значения шкалы задатчика температуры при помощи переносного вольтметра добиться минимального значения напряжения на электродвигателях вентиляторов при наличии светового сигнала «Норма».

После проверки настройки станции управления МК-ВАУЗ устанавливают задатчики температуры, базового напряжения и зоны пропорциональности в положения, соответствующие зоотехническим требованиям конкретного животноводческого помещения.

## Автоматизация нагревательных установок

**Установка с приточно-принудительной вентиляцией** включает в себя высоконапорный вентилятор 4 с трехскоростным электродвигателем (рис. 2.3), подающий воздух в распределительный воздуховод 5, заборную камеру 1 с заслонкой 2 и теплообменник 3. Частоту вращения электродвигателя вентилятора можно изменять вручную элементами устройства NSA в зависимости от требуемого воздухообмена. Производительность приточной установки регулируется автоматически пропорциональным регулятором TS/SK1 в зависимости от температуры воздуха в животноводческом помещении. Терморегулятор TS/SK2 защищает теплообменник от размораживания.



**Рис. 2.3. Функционально-технологическая схема управления приточной системы регулирования микроклимата:**

1 — заборная камера; 2 — заслонка; 3 — теплообменник; 4 — высоконапорный вентиль; 5 — распределительный воздуховод

Для управления вентиляцией используют серийно выпускаемые станции управления ШАП-5712. Принципиальная электрическая схема системы ручного и автоматического управления вентиляцией и подогревом воздуха изображена на рис. 2.4. Схема работает следующим образом. В автоматическом режиме переключатели *SA1* и *SA2* устанавливают в положение «Автоматическое». По команде терморегулятора *SK1* включается реле *KV1*, которое через контакты терморегулятора *SK2* включает реле *KV2*. Последнее посылает сигнал на *SA3*, а через его контакты включается ступень *KM1...KM3* частоты вращения электродвигателя, которая установлена вручную. Если температура теплоносителя на выходе из теплообменника понизится, то терморегулятор *SK2* отключит реле *KV2* и через соответствующий магнитный пускатель остановит электродвигатель вентилятора.

**Электрокалориферы.** При использовании электронагревателей (например, СФОА) производительность приточных установок изменяют ступенчато. Схема автоматического управления электрокалориферной установкой СФОА (рис. 2.5) позволяет корректировать температуру воздуха в помещении в ручном и автоматическом режимах.

В автоматическом режиме переключатели *SA1* и *SA2* устанавливают в положение «Автоматическое». Если температура в помещении ниже нормы, то терморегулятор *SK1* замыкает контакты и включает реле *KV*, а через контакты последнего — магнитный пускатель *KM3*. Происходит одновременная работа вентилятора и первой секции электронагревателей. При дальнейшем понижении температуры терморегуляторы *SK2* и *SK3* включают вторую и третью секции электронагревателей магнитными пускателями *KM2* и *KM1*.

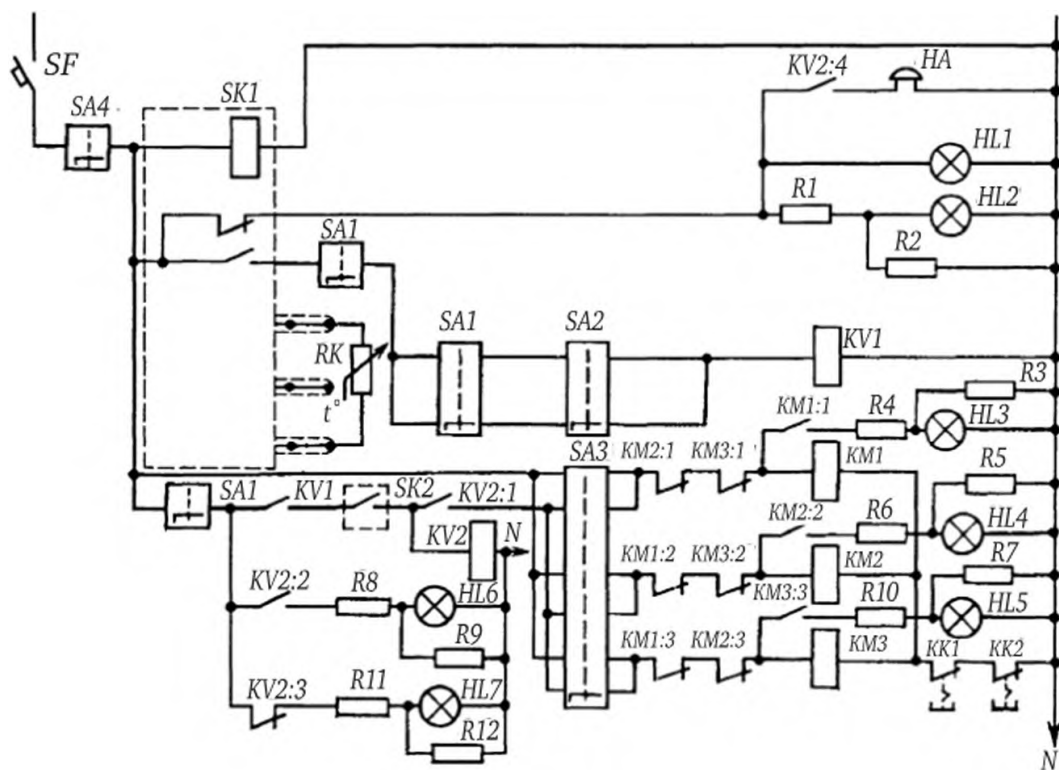


Рис. 2.4. Принципиальная электрическая схема управления приточной вентиляцией

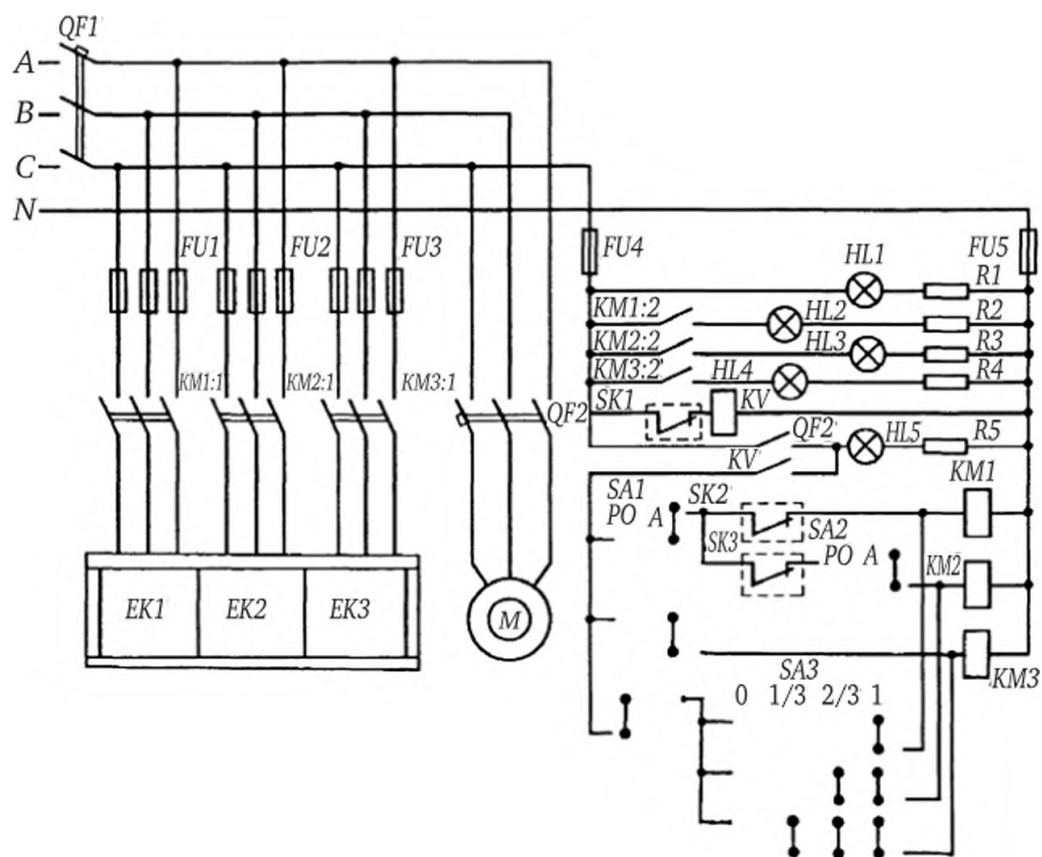


Рис. 2.5. Принципиальная электрическая схема станции управления электрокалориферной установкой СФ0А

**Установки местного обогрева животных.** Средства местного обогрева (обогреваемые полы, коврики, установки с инфракрасными и ультрафиолетовыми излучателями) используют в тех случаях, когда в одном и том же помещении содержатся животные, требующие разных температурных режимов.

На рис. 2.6 представлена принципиальная электрическая схема автоматического управления нагревом электроковриков (ЭК). В качестве коммутирующего органа использованы тиристоры  $VS1$  и  $VS2$ , включенные по встречно-параллельной схеме. Терморезистор ЛАГ в схеме измерительного моста регистрирует отклонение температуры коврика от заданной резистором  $R6$ . Сигнал подается на двухкаскадный усилитель, выполненный 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.

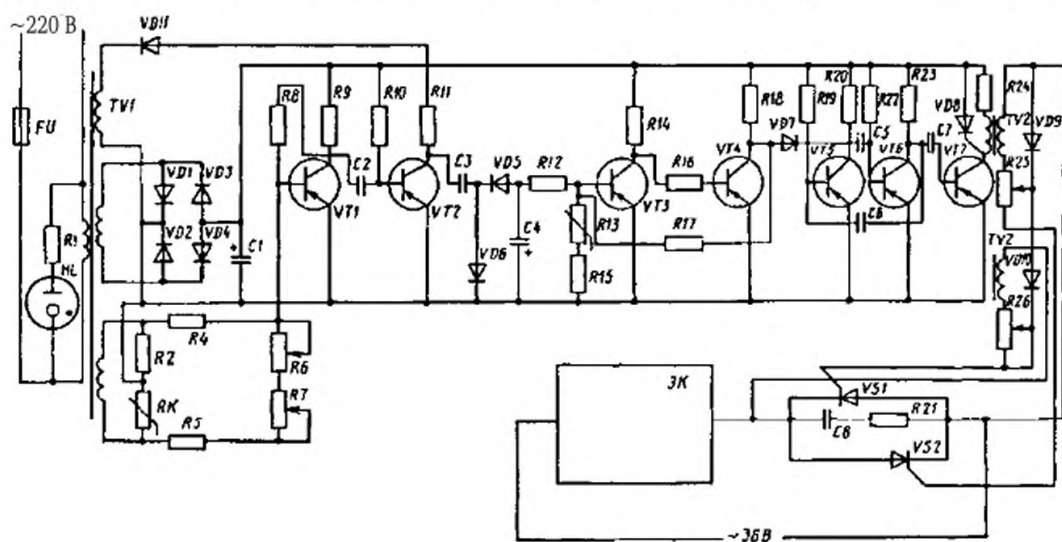


Рис. 2.6. Принципиальная электрическая схема управления нагревом электроковриков

Для обогрева и облучения молодняка используют установку ИКУФ-1, в которую входят 44 излучателя, 4 силовых блока и блок управления. Излучатель состоит из двух ламп инфракрасного (теплого) спектра ИКЗК-220-250 и одной лампы ультрафиолетового излучения ЛЭ-15, рассчитанной на напряжение 127 В. Блок управления обеспечивает ручное и автоматическое управление отдельно инфракрасным и ультрафиолетовым излучателями по определенной программе, разработанной на основе зоотехнических требований и реализуемой обычными реле времени. На схеме (рис. 2.7) 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  $KT:2$ .



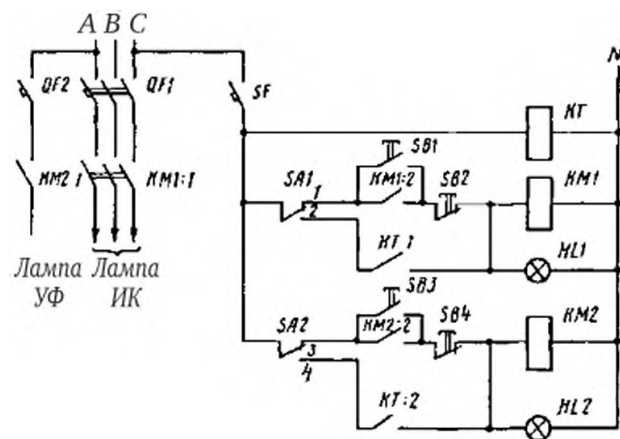


Рис. 2.7. Схема управления обогревательными установками ИКУФ-1

## **Тема 2.2**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ КОРМЛЕНИЯ И ПОЕНИЯ ЖИВОТНЫХ**

### **Технологические основы автоматизации кормления и поения животных**

Полноценное, сбалансированное кормление животных является основным условием реализации генетического потенциала продуктивности стада, увеличения сроков его хозяйственного использования, а также снижения затрат и удешевления продукции.

Известны два основных способа кормления животных: нормированный и ненормированный. Нормированный способ применяют при привязном, а ненормированный — при беспривязном содержании крупного рогатого скота (КРС). Причем ненормированно обычно скармливают грубые корма на кормовых площадках.

Затраты труда на погрузку, транспортировку и раздачу кормов на фермах КРС, несмотря на высокий уровень механизации, достигают 25 % общих затрат. Система машин, эксплуатируемая на этих фермах, рассчитана на применение кормовых смесей трех основных видов: сухих гранулированных и брикетированных; полувлажных (при сенажном типе кормления) и влажных (при силосно-корнеплодном и сенажно-силосном типах кормления).

Технологии механизированной раздачи кормов на фермах и комплексах разнообразны. Выбор той или иной из них зависит от размеров фермы, технологии содержания скота, типа кормления и т. д., но в любом случае механизированная раздача кормов должна быть простой, надежной и универсальной.

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 животных каждого вида и возраста этот показатель указан в зоотехнических нормах.

Кормосмесь для животных должна содержать необходимое количество питательных веществ, витаминов и микроэлементов, обладать

определенными вкусовыми качествами и запахом. Содержание в кормосмеси различных питательных веществ, витаминов и микроэлементов определяется, с одной стороны, физиологическими данными и возрастом животного, а с другой стороны — его продуктивностью. При этом следует иметь в виду, что излишки какого-либо вида вещества почти полностью безвозвратно теряются, тогда как недостаток веществ влечет отрицательные последствия и недобор продукции.

Главное условие оптимальности кормления — сбалансированность корма и точность его выдачи.

Время, затрачиваемое на раздачу корма группе животных одного возраста при трехразовом кормлении и равномерной производительности кормораздатчика, рассчитывают по формуле

$$T_p = M_{\text{ж}} q_{\text{м}} N_{\text{г}} \eta_{\text{г}} / 3Q_{\text{р}}, \quad (2.6)$$

где  $M_{\text{ж}}$  — средняя масса животного в группе, кг;  $q_{\text{м}}$  — доза корма в расчете на единицу массы животного в сутки, кг/кг;  $N_{\text{г}}$  — число животных в группе, гол.;  $\eta_{\text{г}}$  — возрастной коэффициент;  $Q_{\text{р}}$  — производительность кормораздатчика, кг/ч.

Для отдельных животных при дозировании по продуктивности продолжительность кормораздачи

$$T_p = M_{\text{пр}} q_{\text{пр}} / Q_{\text{р}}, \quad (2.7)$$

где  $M_{\text{пр}}$  — суточная продуктивность животного, кг;  $q_{\text{пр}}$  — доза корма на единицу продуктивности, кг/кг.

При объемном дозировании количество корма ( $\text{м}^3$ ) на одно животное определяется в соответствии с выражением

$$V_{\text{к.ж}} = M_{\text{ж}} q_{\text{м}} N_{\text{г}} / V_{\text{к}}, \quad (2.8)$$

где  $V_{\text{к}}$  — объемная масса кормосмеси, кг/ $\text{м}^3$ .

Соответственно объем корма ( $\text{м}^3$ ) в расчете на суточную продуктивность животного

$$V_{\text{к.пр}} = M_{\text{пр}} q_{\text{пр}} / V_{\text{к}}. \quad (2.9)$$

Число кормлений в течение суток определяют исходя из физиологически обоснованных норм одноразовой выдачи корма  $q_{\text{ф.о}}$ , по формуле

$$n = q_{\text{ж}} / q_{\text{ф.о}}, \quad (2.10)$$

где  $q_{\text{ж}}$  — суточная расчетная доза кормления животного, кг.

Полученное значение  $n$  округляют до целого числа в сторону увеличения.

Длительность промежутков между кормлениями также обусловлена физиологическими особенностями животных и однозначно определяется зоотехническими требованиями.

По результатам расчетов составляют диаграмму кормления животных (рис. 2.8), являющуюся законом функционирования технологической линии кормления в течение суток.

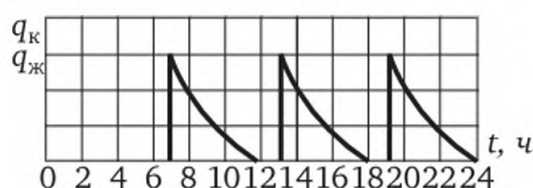


Рис. 2.8. Диаграмма кормления животных

При составлении диаграммы раздачи кормов необходимо учитывать, что влажные и полужидкие корма и их остаток в кормушках достаточно быстро портятся, что может привести к отравлению животных. Поэтому установленную технологическими нормами продолжительность хранения влажных кормосмесей необходимо учитывать при разработке алгоритма кормления.

Для раздачи кормов на животноводческих фермах применяют как мобильные, так и стационарные кормораздатчики.

Для поения животных применяют разнообразные поилки с разной степенью автоматизации. Различают индивидуальные и групповые поилки. Индивидуальные поилки применяют главным образом на фермах КРС с привязным содержанием животных и на свинофермах при содержании свиней в отдельных станках. Групповые поилки используют для поения скота на фермах при беспривязном содержании, в летних лагерях, на пастбищах, а также для свиней и овец при групповом содержании.

Обычно на ферме поилки подключают к водопроводу. При отсутствии водопровода их подсоединяют к резервуарам, в которые вода завозится автовозами или водораздатчиками. В зимнее время года на открытых площадках для поения животных применяют поилки с подогревом воды. На пастбищах или в летних лагерях, удаленных от водоисточников, используют передвижные поилки.

## Автоматизация кормораздаточных поточных линий для крупного рогатого скота

Для автоматической кормораздачи широко применяют кормораздатчик ТВК-80Б. Он представляет собой транспортную ленту 3 (рис. 2.9), движущуюся возвратно-поступательно в кормушках 4 и приводимую в действие реверсивным электроприводом 5. При движении вперед лента уносит к месту стойла животных определенное количество корма, загружаемое питателем 1. В качестве питателя может быть использован кормораздатчик КТУ-10, который имеет накопительную емкость 2. При возврате ленты кормушки самоочищаются от остатков корма, который удаляется из помещения транспортером 6.



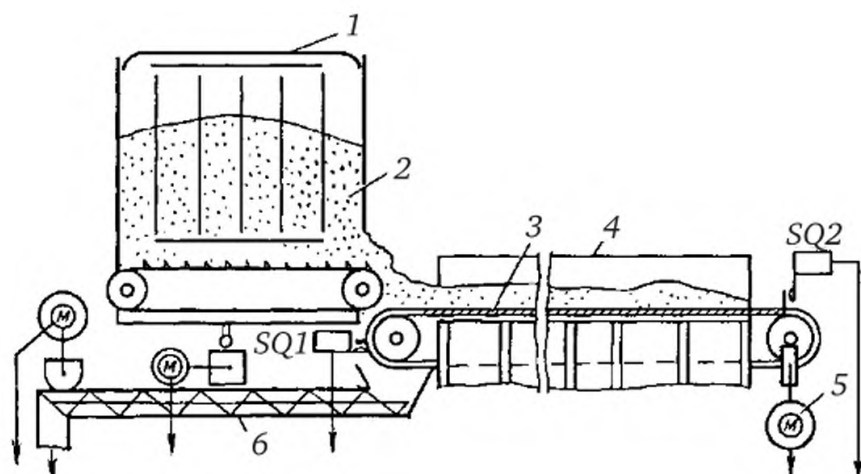


Рис. 2.9. Транспортер-раздатчик ТВК-80Б внутри кормушек:

1 — питатель; 2 — накопительная емкость; 3 — транспортерная лента; 4 — кормушки; 5 — реверсивный электропривод; 6 — транспортер

Транспортировка корма к месту потребления, а также уборка его отходов, выполняемые кормораздатчиком ТВК-80Б, являются наиболее трудоемкими технологическими операциями. Однако нормированное кормление с помощью ТВК-80Б невозможно, так как при движении ленты корм самопроизвольно разравнивается. Кроме того, при движении ленты животные поедают корм выборочно.

Технологическая линия раздачи корма с кормораздатчиком ТВК-80Б и стационарным раздатчиком КТУ-10А может функционировать и в автоматическом режиме. Для раздачи кормов в течение суток используют суточное программное реле КТ2 типа 2РВМ (или аналогичное). Это реле настраивают в соответствии с расчетной диаграммой кормления. Кормораздаточной линией, согласно принципиальной электрической схеме (рис. 2.10), управляют вручную или автоматически в следующем порядке.

Сначала контактом КТ2:1 программного устройства включаются магнитные пускатели КМ2 и КМ3 возврата ленты и транспортера отходов. Концевой выключатель SQ1 останавливает движение ленты в конечном переднем положении и отключает транспортер отходов через контакт КМ2:2. По команде программного реле контактами КТ2:2 включаются привод питателя КМ4 и привод раздачи корма КМ1. В конце раздачи концевой выключатель SQ2 отключает КМ4. При нормированном кормлении и широком разнообразии доз (например, при стойловом содержании коров) малоценные грубые корма в смеси с сочными могут выдаваться кормораздатчиком ТВК-80Б без ограничения, а концентрированные — другими кормораздатчиками, обеспечивающими индивидуальное дозирование.

На рис. 2.11 представлена технологическая схема кормораздатчика КШ-0,5. Кормораздатчик состоит из тросошайбового транспортера (конвейера) с установленными под ним объемными индивидуальными дозаторами и тросошайбовой тяги открытия затворов дозаторов.

Степень заполнения емкостей дозаторов (порция корма) зависит от высоты установки над дном телескопической трубчатой насадки, которую регулируют вручную.

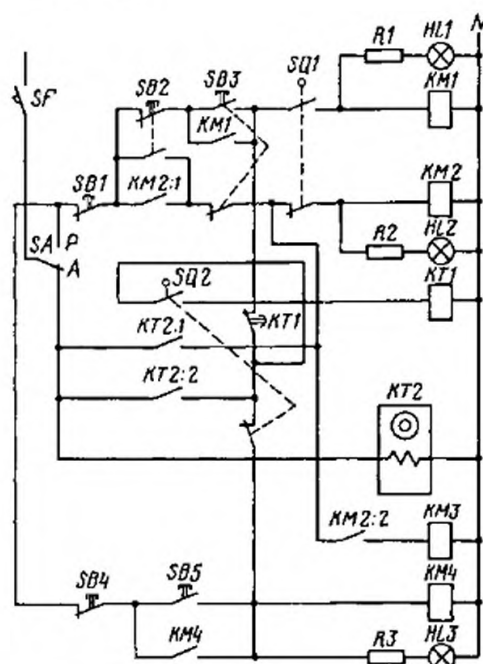


Рис. 2.10. Принципиальная электрическая схема кормораздаточной линии

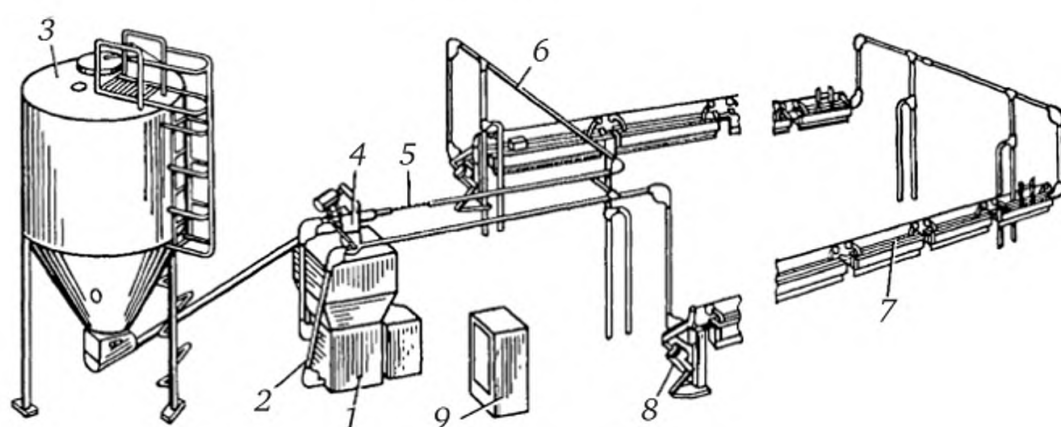


Рис. 2.11. Кормораздатчик КШ-0,5 с групповыми дозаторами:

1 — приводная установка; 2 — участок контроля; 3 — бункер; 4 — воронка; 5 — рабочий орган; 6 — кормопровод; 7 — групповой дозатор; 8 — привод дозаторов; 9 — электрооборудование

При включении привода КШ-0,5 корм, перемещаясь по трубам конвейера, постепенно через отверстия в них заполняет емкости дозаторов по всему периметру кормушек. Датчик уровня, установленный в последней по пути движения корма емкости дозаторов, отключает привод конвейера и подготавливает цепь для включения привода тяги открытия дозаторов. Выдача корма может происходить в любой момент, например, после остановки ленты раздатчика ТВК-80Б на данной линии кормления.

Кормораздатчики, РК-50 (для КРС) и РКС-1000М (для свиней) аналогичны по устройству и функциональным характеристикам. В обоих дозаторах корм отрегулированным вручную потоком перемещается по наклонному транспортеру на раздаточную платформу 2 (рис. 2.12), которая, двигаясь вдоль фронта кормления, сбрасывает корм в кормушки 3 сначала на одной, а затем на другой половине фронта кормления по длине помещения. Когда платформа движется влево, на нее поступает корм, но поднятые вверх скребки опускаются и сбрасывают корм в кормушки. Аналогично происходит раздача корма в правой части помещения.

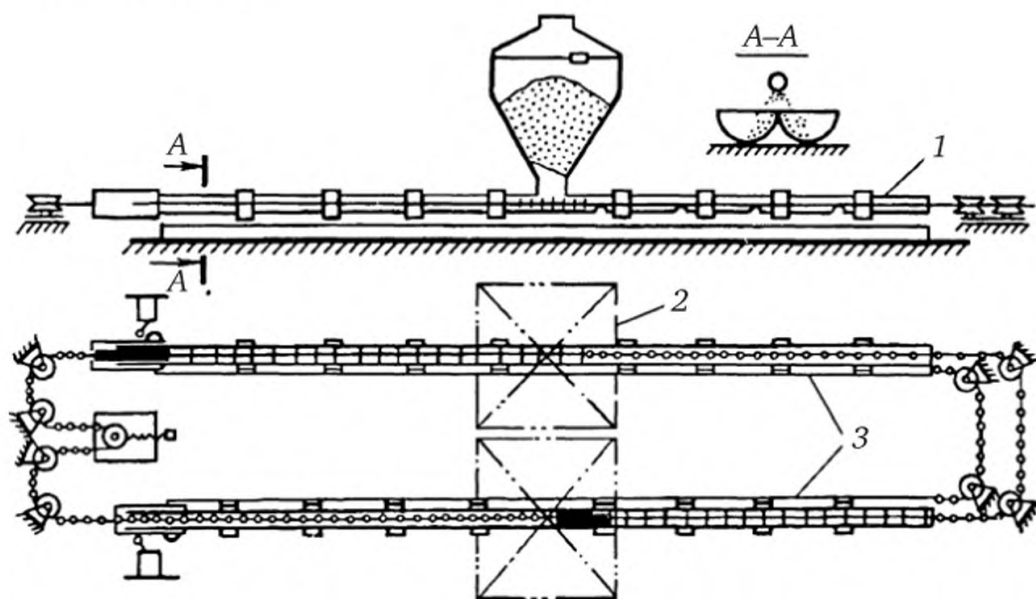


Рис. 2.12. Схема стационарного кормораздатчика платформенного типа:

1 — наклонный транспортер; 2 — раздаточная платформа; 3 — кормушки

Работой кормораздатчиков РК-50 и РКС-1000М управляют как автоматически, так и вручную. На принципиальной электрической схеме контакты реле *КТ* (рис. 2.13) типа 2РВМ замыкаются и включаются магнитные пускатели *КМ1* загрузочного транспортера и *КМ2* бункера-дозатора. Кроме того, подготавливается к включению цепь магнитного пускателя *КМ3* раздаточной платформы. Когда корм начинает поступать на платформу, датчик корма *ВЛ* включает пускатель *КМ3*, а через него — привод платформы. В крайнем положении платформы срабатывает конечный выключатель *SQ1*, реверсирующий ее движение. Во втором крайнем положении конечный выключатель *SQ2* выполняет обратный реверс. Челночное движение платформы происходит до тех пор, пока не выключатся контакты реле времени *КТ* или датчика корма *ВЛ*. Продолжительность раздачи корма составляет 20...30 мин. Автоматическое управление дублируется ручным через переключатель *SA* и кнопки *SB1...SB7*.

Для индивидуального дозирования и выдачи сыпучих кормов с одновременным их увлажнением на фермах КРС применяют автоматизированный раздатчик кормов *АРК-200*. Конструкция раздат-

чика обеспечивает обслуживание животных в двух кормовых проходах, что позволяет в коровнике на 200 голов использовать один кормораздатчик. Процессы загрузки корма, заправки смачивающей жидкостью и раздачи кормов осуществляются автоматически. Предусмотрена коррекция режима дозирования в зависимости от параметров корма. Раздельная выдача сухого корма и увлажняющей жидкости позволяет исключить энергоемкий процесс приготовления кормовой смеси и автоматизировать процесс загрузки составляющих кормосмеси. При порции корма 0...2 кг погрешность дозирования составляет 5 %.

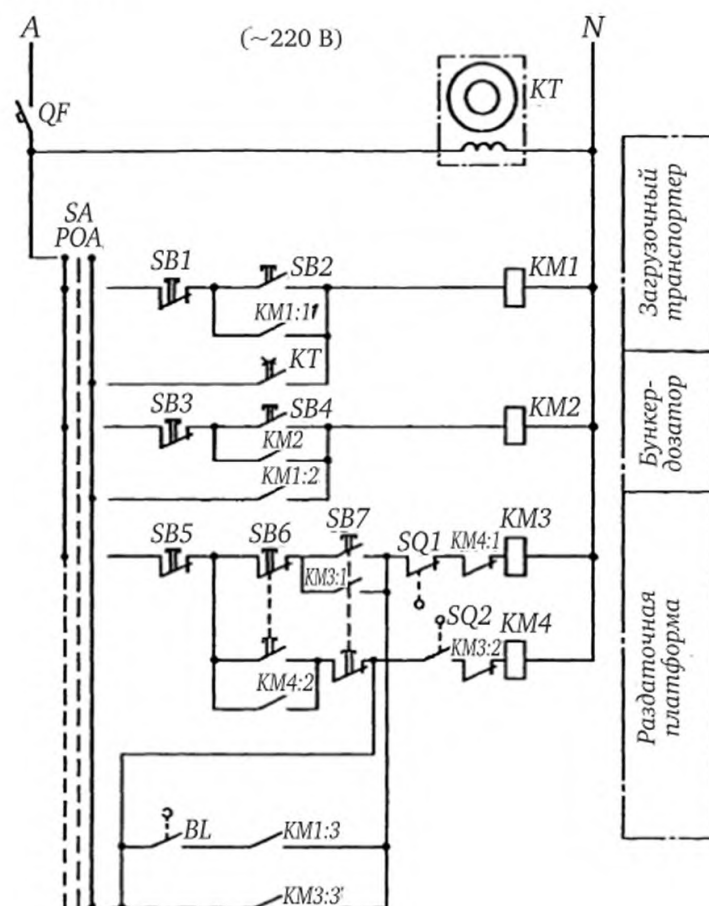


Рис. 2.13. Принципиальная электрическая схема управления раздачи корма кормораздатчиками платформенного типа

## Автоматизация раздачи жидких кормов

Технологическая схема раздачи жидких кормов на свинофермах изображена на рис. 2.14. Кормораздаточная гидравлическая система включает в себя 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 выполнено ответвление с регулирующим устройством — кормораздаточным клапаном 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 используют самодвижущиеся тележки, индивидуальные соленоидные или электродвигательные механизмы, вращающиеся дисковые распределители.

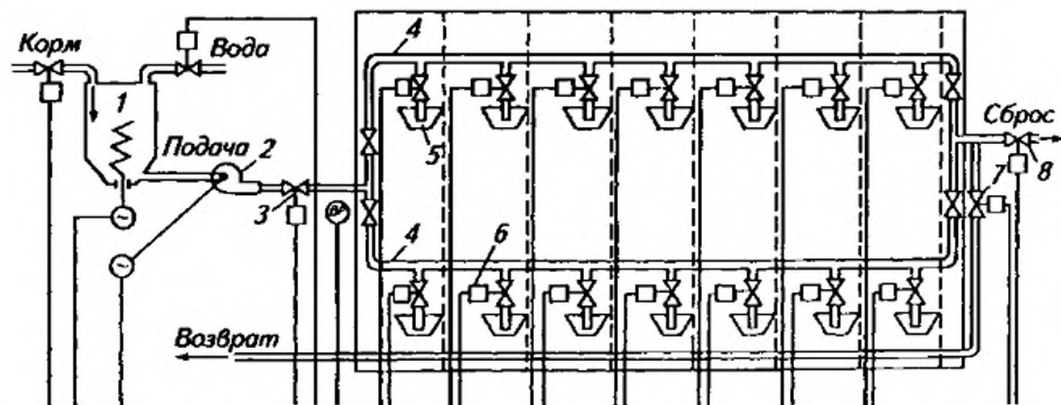


Рис. 2.14. Технологическая схема раздачи жидких кормов на свиноферме:

- 1 — механический смеситель; 2 — гидронасос;  
3, 7, 8 — магистральные клапаны; 4 — линии кормораздачи;  
5 — кормушки; 6 — кормораздаточный клапан

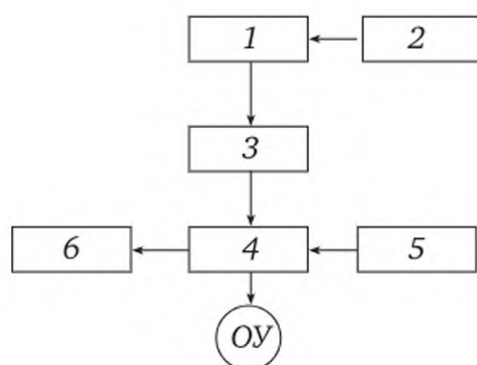


Рис. 2.15. Блок-схема системы автоматического управления раздачей жидких кормов:

- 1 — электронное реле времени; 2 — блок задатчиков; 3 — блок коммутации;  
4 — блок исполнительных релейных элементов; 5 — блок ручного управления;  
6 — блок сигнализации

Процессом раздачи жидких кормов автоматически управляют многопрограммные устройства, выполненные на базе блока электронных реле времени 1 (рис. 2.15), блока задатчиков 2, коммутационных 3 и исполнительных релейных 4 элементов, блоков ручного управления 5 и сигнализации 6. Продолжительность наполнения каждой кормушки устанавливается задатчиками 2.



## Автоматизация поения

По принципу действия поилки могут быть клапанные и вакуумные. Клапанные кормушки, в свою очередь, делят на педальные и поплавковые.

*Автопоилка ПА-1В* применяется для поения КРС при привязном содержании. Работает автопоилка следующим образом. При погружении морды животного в поильную чашу происходит нажатие на установленную в ней педаль. Сила воздействия на педаль преодолевает сопротивление пружины и клапан открывается. Вода под давлением поступает в чашу. При освобождении педали под действием пружины клапан снова прижимается к седлу и поступление воды в чашу прекращается.

Для нормальной работы автопоилки давление в водопроводной сети должно быть в пределах 39...196 кПа. Автопоилку ПА-1 устанавливают на разделительной стойке, где она обслуживает двух животных.

*Автопоилка АГК-4Б* групповая четырехместная с электроподогревом. Ее применяют для поения скота в коровниках и на выгульных дворах при беспривязном содержании. Одна автопоилка может обслужить группу животных в 100 гол.

*Автопоилка АГК-4* представляет собой чашу вместимостью 50 л, помещенную в утепленный корпус из листовой оцинкованной стали. В чаше расположен клапанный механизм поплавкового типа, соединенный со стояком. Последний при помощи шланга связан с водопроводной трубой. Под чашей расположен электронагреватель мощностью 1 кВт, который включают в зимнее время. Работу нагревателя регулирует тепловое реле, которое настраивают таким образом, чтобы температура воды в чаше поддерживалась в пределах 10...12 °С.

Уровень воды в чаше регулирует поплавковый клапан. При снижении уровня поплавков опускается, открывая клапан, и вода из водопроводной сети под давлением заполняет чашу. При повышении уровня воды в чаше клапан закрывается.

*Автопоилка АГК-12* групповая унифицированная передвижная. Ее применяют для поения КРС в летних лагерях и на выгульных площадках ферм. Одна автопоилка обслуживает группу животных в 100...120 голов. Из такой поилки одновременно могут пить воду 12 животных. Поилку выпускают в двух модификациях: АГК-12А для летних лагерей без водопровода и АГК-12Б для выгульных площадок с водопроводной сетью. Поилка АГК-12А состоит из двух металлических корыт, соединенных патрубком, и цистерны вместимостью 3000 л. Цистерну заполняют водой через горловину. Для автоматического поддержания нужного уровня воды в корытах поилка оборудована специальным вакуумным устройством, размещенным в цистерне.

Работает автопоилка следующим образом. После заполнения цистерны водой горловину герметично закрывают крышкой и открывают вентиль, через который корыта заполняются водой. Вода

из цистерны выливается в корыта до тех пор, пока конец вакуумной трубки не погрузится в воду. В автопоилке АГК-12Б уровень воды в корытах также поддерживается поплавковым клапаном.

*Автопоилка АГС-24* также групповая. Ее применяют для поения свиней в летних лагерях и на свинофермах. Поилка обслуживает до 500 голов. Она состоит из металлической цистерны вместимостью 3100 л, установленной на салазках, двух корыт на 12 мест каждое и вакуумного устройства. Корыта закрыты крышками, которые несколько выступают за края корыт, чтобы животные могли их поднять во время водопоя.

*Поилка ГАО-4* предназначена для поения овцематок в стойловый период содержания и при ягнении. Вода в поилку подается из водопровода или водораздатчика. Поилка состоит из чаши, установленной на раме, клапанного механизма и поплавка с рычагом. Из этой поилки могут одновременно пить воду четыре овцематки. В течение часа поилка обслуживает 200 голов.

*Автопоилка ГАО-3А* предназначена для поения овец на пастбищах, не обеспеченных водой, и в овчарнях без водопровода. Поилка состоит из водораздатчика ВР-3А и 10 корыт. При установке корыт их соединяют между собой и с цистерной шлангами. Уровень воды в корытах поддерживается вакуумным устройством. При вместимости цистерны 3000 л автопоилка обслуживает 200 голов.

## Тема 2.3

# АВТОМАТИЗАЦИЯ УБОРКИ НАВОЗА

### Основные технологии навозоуборки

К основным операциям ТП уборки навоза из животноводческих помещений относятся: уборка в стойлах, транспортирование навоза к местам хранения или переработки, хранение или утилизация. Наиболее высоким уровнем механизации и автоматизации характеризуется первая операция — уборка навоза из производственных помещений. Выбор способа уборки навоза зависит от многих факторов и в первую очередь от способов содержания и кормления животных, суточного выхода навоза, его физико-механических свойств, конструктивных характеристик помещения, климатических, гидрогеологических и других условий.

Все средства механизации навозоуборки могут быть классифицированы как мобильные и стационарные. Мобильные механизмы применяют не только для удаления навоза, но и для транспортировки его в навозохранилище или открытую навозную площадку. В эту группу механизмов входят скреперы, бульдозеры, прицепные тракторные тележки и электрифицированные монорельсовые вагонетки. Специальные системы управления имеют только вагонетки, но и их объем автоматизации ограничивается конечными выключателями, отключающими электродвигатель в крайних положениях вагонетки.

В стационарных механизмах в качестве рабочего органа обычно используют замкнутую металлическую цепь со скребками или скрепер. Типовое решение по автоматизации навозоуборочных транспортеров — пуск механизма программным устройством (реле времени). Однако выход навоза в течение суток неравномерен, зависит от целого ряда факторов; в результате одинаково возможен как пуск механизма с перегрузкой, приводящий к облому скребков, так и холостой цикл, определяющий бесполезный износ механизма и расход энергии. Возможна альтернатива: пробный пуск транспортера с контролем начальной его загрузки и токовым реле. Если нагрузка достаточна, то движение продолжается, если нет — транспортер останавливается.

Транспортирование навоза осуществляют подвижными транспортными средствами или по подъемному трубопроводу под действием перемещаемого давлением воды поршня, периодически выдавливающего навоз, сбрасываемый транспортером в приемную воронку поворотного клапана.

Утилизация навоза особенно важна на свинофермах, поскольку выход его весьма значителен.

Обработка жидкого навоза включает в себя операции разделения на фракции, обеззараживания, гомогенизации и транспортирования. Технология до конца не отработана и потому операции по управлению не автоматизированы.

Перспективный метод утилизации навоза — производство биогаза. Навоз из животноводческих помещений собирают в коллектор, откуда насосом перекачивают в подогреватель для нагрева до температуры брожения. Далее выдержанный навоз винтовым насосом-дозатором подают в емкости-реакторы, где идет анаэробное брожение, в результате которого получают биогаз. Биогаз перекачивают в газгольдер, очищают и через гидрозатвор направляют потребителю или в накопитель. Процесс получения биогаза автоматизируют, поскольку для брожения требуется определенная температура.

## Автоматизация навозоуборочных установок

Технологическая линия уборки и погрузки навоза транспортерами типа ТСН-ЗБ в тележки подвесной дороги может функционировать в ручном и автоматическом режиме (рис. 2.16).

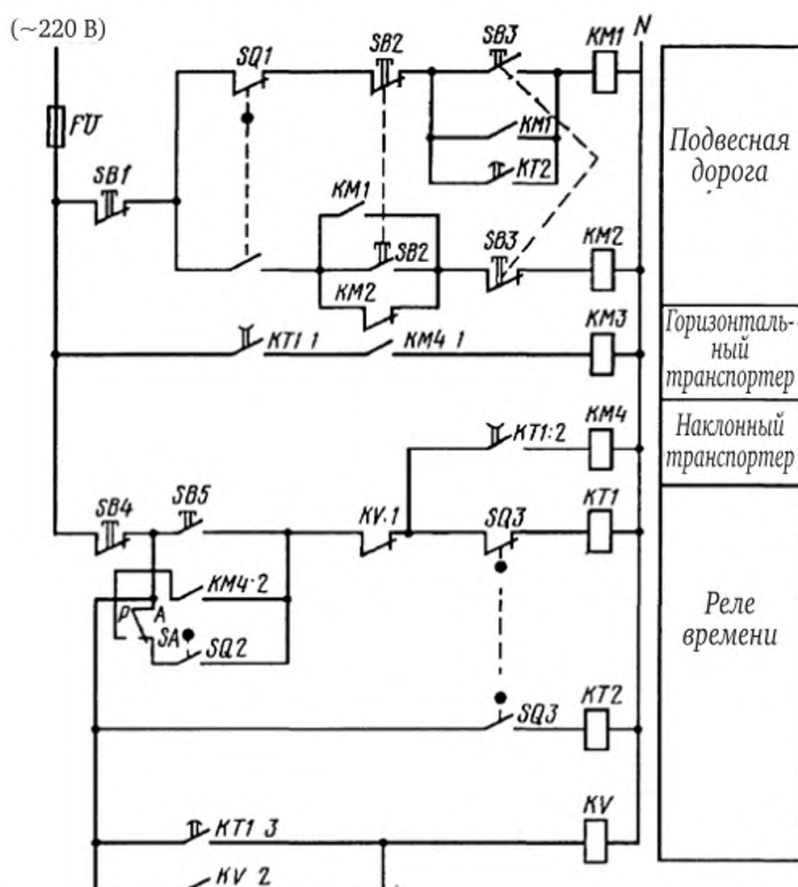


Рис. 2.16. Принципиальная электрическая схема линии уборки навоза транспортными тележками

В автоматическом режиме замыкают тумблер *SA* или нажимают кнопку *SB5*. Реле времени *KT1* получает питание и включает магнитные пускатели *KM3* и *KM4* соответственно наклонного и горизонтального транспортеров. Когда тележка наполнена навозом, срабатывает весовое устройство и через конечный выключатель *SQ3* отключает реле времени *KT1*. С выдержкой времени, необходимой для очистки от навоза, останавливается 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, его поступление в тележку прекратится, а конечный выключатель *SQ3* останется в прежнем положении. Контакты *KT1:3* в цепи *KV* замкнутся с выдержкой, превышающей продолжительность цикла работы установки, а контакт *KV:1* отключит установку от сети.



## **Тема 2.4**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВОК И ЛИНИИ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОКА**

### **Технологические основы автоматизации доения животных и первичной обработки молока**

Машинное доение обеспечивает существенное повышение производительности труда, облегчает работу людей и позволяет получать молоко незагрязненным. Такое доение осуществляют при помощи специальных доильных аппаратов, которые составляют часть доильной установки. В ее состав входят источник вакуума — вакуум-насос, вакуумная магистраль, состоящая из вакуум-трубопровода, вакуум-баллона, вакуум-регулятора и системы трубопроводов. Вакуум-трубопроводы оснащены воздушными кранами, к которым присоединяют доильные аппараты.

Как объект автоматизации доильные установки представляют собой сложные технологические системы, в которых реализуется целый ряд взаимосвязанных технологических процессов и отдельных операций. Это вход и фиксация коров или перемещение аппаратов к месту доения, подготовка вымени к доению, стимуляция припуска молокоотдачи, доение, сбор молока с предварительной его очисткой и учетом, нормированная выдача концентрированных кормов, выход коров, мойка доильной аппаратуры.

Главным, наиболее сложным и ответственным является процесс доения. Сложность процесса обусловлена его биологической основой. При этом доильный аппарат должен полностью соответствовать индивидуальным физиологическим особенностям животных.

В вымени коровы располагаются молочные железы, в которых образуется молоко. Из альвеол молочной железы оно переходит в полость молочной цистерны вымени под некоторым избыточным давлением. Для выведения молока из цистерны необходимо преодолеть сопротивление сфинктера соска, что достигается при ручном доении выжиманием молока из канала соска, а при машинном доении за счет достаточного разрежения, создаваемого в подсосковом пространстве доильного стакана. Действие гормона молокоотдачи — окситоцина, образующегося в гипофизе головного мозга коровы в ответ на раздражение нервных окончаний сосков и вызывающего припуск молока, по длительности неодинаково у разных животных. Через 3...6 мин мускулатура вымени

коров расслабляется и поступление молока из альвеол в цистерну вымени прекращается. Важно обеспечить своевременное надевание доильных стаканов на соски коровы и своевременное их снятие.

Этим достигается наиболее полное выдаивание и обеспечивается сохранение здоровья животных. Если запоздать с надеванием стаканов доильного аппарата на соски вымени, то часть молока не успеет выйти в период действия окситоцина из альвеол железы и удой будет неполным. Недодаивание приводит к снижению продуктивности молочной железы и заболеванию вымени.

Для сохранения и повышения продуктивности коров необходимо достичь наиболее полного их выдаивания. Для этого важно правильно организовать и автоматизировать технологический процесс доения.

Различают два основных способа машинного доения: отсос при помощи вакуума и механическое выжимание молока из сосков. Последний способ, как подобный ручному доению, разработан неудовлетворительно и практически не применяется.

Вакуумные доильные машины делят на две основные группы: двух- и трехтактные. Принцип действия двухтактного доильного аппарата состоит в следующем. Когда в межстенном и подсосковом пространствах стакана образуется вакуум определенной величины, сосковая резина не препятствует выходу молока из соска вымени — такт сосания. Впуск воздуха в межстенное пространство вызывает сжатие сосковой резины, массирующее сосок и задерживающее выведение молока — такт сжатия. Чередование тактов сосания и сжатия автоматически обеспечивается работой пульсатора.

При прекращении молокоотдачи следует немедленно снять доильные стаканы с вымени, чтобы предотвратить проникновение вакуума в полость молочной цистерны, так как это может вызвать разрыв кровеносных сосудов молочной железы, выделение крови в молоко и последующее заболевание коров. Для устранения такой опасности в цикл работы аппарата введен третий такт — такт отдыха, когда вслед за тактом сжатия в подсосковое пространство доильных стаканов впускается атмосферный воздух и в обеих камерах стакана давление приближается к атмосферному. Применяя двух- или трехтактные аппараты, необходимо тщательно контролировать процесс доения, своевременно снимать доильные аппараты с вымени коровы и подбирать коров, пригодных для доения доильным аппаратом того или иного типа.

Таким образом, к машинному доению предъявляют особо жесткие требования по соблюдению технологического режима. При пониженном вакууме коровы не успевают выдоиться, а при повышенном увеличивается опасность заболевания их маститом; при большом интервале времени между подмыванием вымени и началом доения уменьшается полнота выдаивания и т. д.

Особенность автоматизации доильных установок зависит от их назначения:

для доения в стойлах (АДМ-8А, АД-100Б, ДАС-2В);

для доения в специальных залах (УДТ-8, УДА-8А, УДЕ-8А, УДА-16А).

Молоко представляет собой многофазную полидисперсную смесь, содержащую в среднем 3,8 % жира, 3,3 % белка, 87,5 % воды, 4,7 % молочного сахара, 0,7 % минеральных веществ, а также витамины, гормоны, ферменты, лимонную и молочную кислоты.

Молоко — скоропортящийся продукт. Чтобы сохранить его питательную ценность и технологическое назначение на возможно длительный срок, проводят первичную обработку молока. К первичной обработке молока относят:

охлаждение — для замедления жизнедеятельности микроорганизмов, вызывающих порчу и скисание молока;

пастеризацию (тепловую обработку) — для уничтожения микроорганизмов;

очистку — для удаления механических и частично бактериальных примесей.

Свежее молоко, охлажденное сразу после выдаивания, обладает бактерицидными свойствами, губительно действуя на микроорганизмы в течение некоторого времени. Однако бактерицидность молока не может полностью обеспечить уничтожение микроорганизмов, в особенности если молоко загрязнено в ходе доения или получено от больной коровы. В этом случае применяют пастеризацию молока — кратковременный нагрев до температуры порядка 95...100 °С. Зараженное патогенными микроорганизмами молоко стерилизуют под давлением при температуре 120 °С. Стерилизация убивает также и споры бактерий. Наиболее простая схема обработки молока: очистка — охлаждение. При отправке молока непосредственно в торговую сеть используют следующую схему: очистка — пастеризация — охлаждение. Крупные молочнотоварные предприятия, поставляющие молоко непосредственно в торговую сеть, применяют схему: очистка — пастеризация — охлаждение — расфасовка в мелкую тару.

## **Автоматизация доильных аппаратов**

Для облегчения операции по надеванию доильных стаканов, обеспечению контроля за интенсивностью доения, додаивания, отключения аппарата от вакуумной линии, снятия доильных стаканов с сосков вымени и вывода доильного аппарата из-под коровы успешно применяют манипуляторы МД-Ф-1.

Основной функциональный узел автомата управления (рис. 2.17) — пневмодатчик 7. В исходном положении головка 14 упирается в скобу 6 и малые дозы молока поступают в камеру датчика, откуда выливаются через калиброванное отверстие 11 в молокопровод 9. При нарастании потока молока поплавков 12 всплывает и освобождает скобу 6, которая под действием собственного веса откидывается вправо. С этого момента начинается автоматический контроль за процессом доения. Основная часть молока вытекает через обводной канал в молокопровод. При уменьшении интенсивности потока до 400 г/мин

молоко успевает вытечь через калиброванное отверстие 11. Поплавок и укрепленная на нем головка опускаются, открывая отверстие канала штуцера головки цилиндра додея 2. Через рычаг манипулятора штуцер оттягивает стаканы вниз, обеспечивая механическое додаивание. При снижении потока до 200 г/мин поплавок еще опускается, а клапан 13 уже отключает доильные стаканы от вакуума.

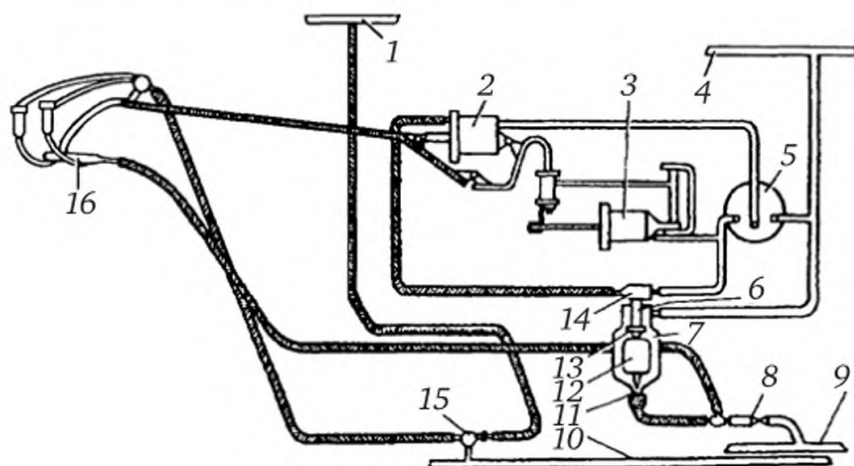


Рис. 2.17. Схема управления доильным аппаратом с манипулятором МД-Ф-1:

1 — воздуховод чистого воздуха; 2 — цилиндр додея; 3 — цилиндр вывода доильного аппарата из-под коровы; 4 — вакуум-провод; 5 — кран; 6 — скоба; 7 — пневмодатчик; 8 — зажим; 9 — молокопровод; 10 — технологический вакуум-провод; 11 — калибровочное отверстие; 12 — поплавок; 13 — клапан; 14 — головка; 15 — пульсатор; 16 — доильный аппарат

В некоторых странах достигнута полная автоматизация процесса доения. Главная операция при этом — автоматическое надевание доильных стаканов. Для выполнения этой операции разработаны несколько конструкций роботов. В одной из них механическая рука подводит аппарат под животное, а затем поочередно одевает стакан за стаканом. Положение сосков каждого животного находится в памяти доильного робота, а точная «наводка» стаканов обеспечивается прецизионными ультразвуковыми или оптическими датчиками. Один такой робот обслуживает до 40 животных.

Полная автоматизация процесса доения позволяет перейти к четырехразовому доению, что увеличит удой.

## Автоматизация стационарных доильных установок

Стационарные доильные установки используют для доения коров в стойлах, летних лагерях или на пастбищах, а также на крупных фермах при беспривязном содержании животных. Эти установки непрерывно совершенствуют, увеличивают число автоматизированных технологических операций, улучшают элементную базу, повышают надежность. Например, успешно автоматизированы учет молока, управление работой насосов, дозированная выдача концентрированных кормов, устрой-



ства открытия и закрытия доильных станков. В доильных установках используют автоматы-манипуляторы для подачи доильных автоматов под вымя, снятия доильных стаканов и вывода аппарата из-под коровы после окончания процесса доения. Разрежение в вакуум-проводе также регулируется автоматически.

Рассмотрим автоматизацию доильной установки УДА-24, укомплектованной доильными аппаратами ДА-2М (рис. 2.18). Установка включает в себя две вакуумные системы (доильную и силовую), системы сбора молока, промывки аппаратуры и автоматического контроля и управления.

Вакуумная доильная система состоит из двух вакуум-насосов 36 с предохранительными клапанами 35, 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 молокопровод 4 установлен вакуум-регулятор 11 с воздушным фильтром 12. Кроме того, от вакуум-баллона через дифференциальный регулятор 5 подключен вакуум-провод 7, через который вакуум подается к пульсаторам всех доильных аппаратов 18.

Силовая вакуумная система имеет вакуум-насос 1, работающий на накопительный баллон 37, из которого через вакуумный 34 и дифференциальный 2 регуляторы вакуум подается в цилиндры манипуляторов, перемещающих доильные аппараты и осуществляющих открытие или закрытие дверей 27. Кроме того, от вакуум-баллона вакуум поступает в манипуляторы пункта санобработки вымени.

В систему сбора молока входят накопительный бак-воздухораспределитель 32 с фильтром 33, насос 31, молокопровод 4, подключенный к каждому доильному аппарату через клапан 9 с дистанционным управлением.

Для промывки аппаратуры после доения имеется бак 24 с моющим раствором, соединенный с доильными стаканами через вентиль ручного управления и трубопровод 14, а через другой вентиль — с молокопроводом 4. Бак-воздухораспределитель 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 открывания и закрывания дверей станка используется пневмоцилиндр 22. Манипуляторы подключены к вакуум-проводу 3 через дистанционно управляемые клапаны 6 и 8.

В систему автоматического управления доильной установкой входят две станции 13 и 30, блок питания 10, датчик-счетчик молока 15, микровыключатель 29, электромагнитный клапан 9 для подсоединения доильных аппаратов к молокопроводу, электромагнитный клапан 6 для додаивания и электромагнитный клапан окончания доения 8.



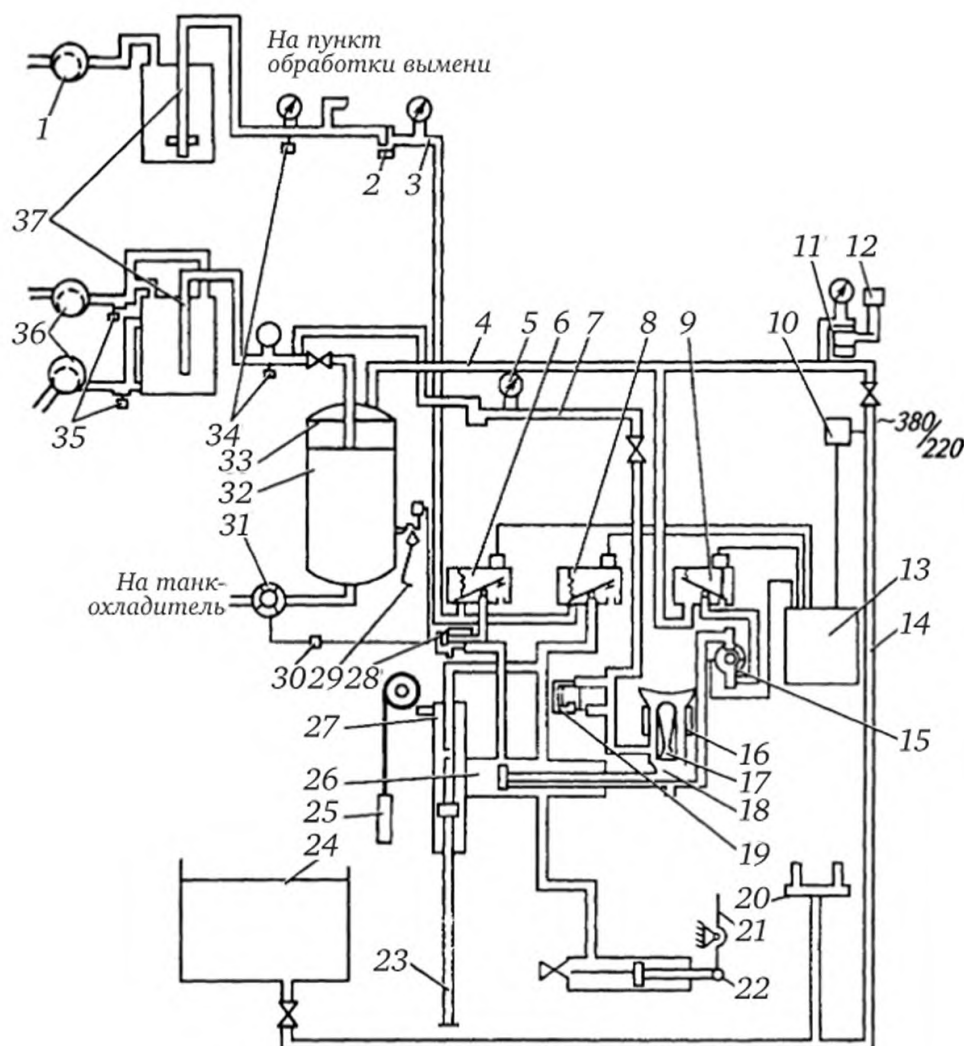


Рис. 2.18. Технологическая схема автоматизированной доильной установки УДА-24:

1 — вакуум-насос; 2, 5 — дифференциальные регуляторы; 3 — вакуум-провод; 4 — молокопровод; 6 — электромагнитный клапан для додаивания; 7 — вакуум-провод; 8 — электромагнитный клапан окончания доения; 9 — электромагнитный клапан; 10 — блок питания; 11 — вакуум-регулятор; 12 — воздушный фильтр; 13 — блок управления доением; 14 — циркуляционный провод; 15 — датчик-счетчик; 16 — межстенное пространство; 17 — подсосокное пространство; 18 — доильный аппарат; 19 — пульсатор доения; 20 — кронштейн для поддержания доильного аппарата во время промывки; 21 — выходная дверь доильного станка; 22 — пневмоцилиндр; 23 — механизм вывода доильного аппарата из-под вымени; 24 — бак с моющим раствором; 25 — противовес; 26 — горизонтальный цилиндр манипулятора; 27 — вертикальный цилиндр манипулятора; 28 — пульсатор манипулятора; 29 — микровыключатель; 30 — блок управления агрегатами; 31 — насос; 32 — воздухораспределитель; 33 — фильтр; 34 — вакуумные регуляторы; 35 — предохранительные клапаны; 36 — вакуум-насосы для доения; 37 — вакуум-баллоны

При снятии доильного аппарата с крючка в станцию управления доением посылается сигнал, и через некоторое время, необходимое для надевания стаканов, клапан 9 подключает аппарат 18 к молокопроводу 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. Когда поток молока уменьшится до 0,4...0,5 л/мин, включится клапан 6 для додаивания, а при дальнейшем снижении до 0,2 л/мин аппарат отключится и манипулятор выведет его из-под вымени коровы. 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 стаканов.

## Автоматизация пастеризационных установок

Пастеризатор молока представляет собой многосекционный пластинчатый теплообменник, подогреваемый горячей водой. Горячая вода приготавливается в специальном контуре, включающем в себя бойлер 9 (рис. 2.19), инжектор 8 и насос 10.

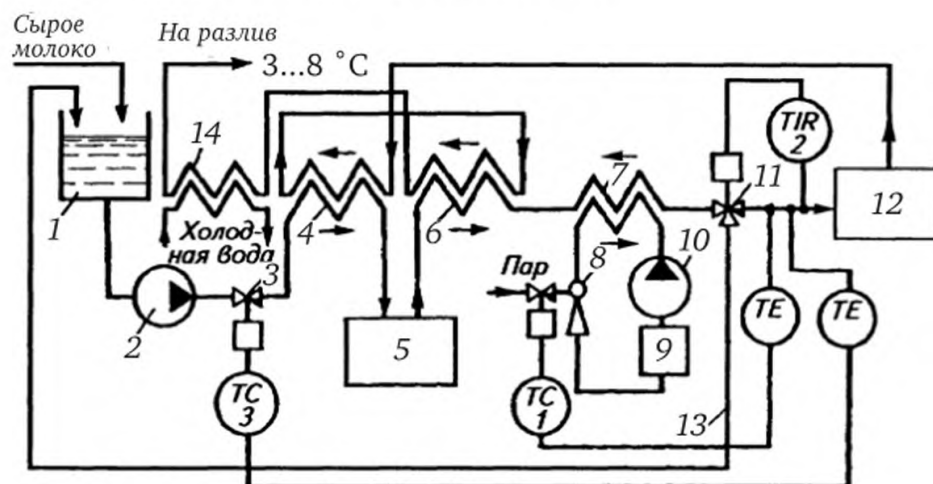


Рис. 2.19. Функциональная схема пастеризационной установки:

- 1 — уравнильный бак; 2 — молочный насос; 3 — регулирующий клапан; 4, 6 — соответственно первая и вторая секции регенерации; 5 — центробежный молокоочиститель; 7 — секция пастеризации; 8 — инжектор; 9 — бойлер; 10 — насос горячей воды; 11 — перепускной клапан; 12 — выдерживатель; 13 — линия возврата непастеризованного молока; 14 — секция охлаждения

В процессе пастеризации молоко проходит последовательно первую секцию 4 регенерации, молокоочиститель 5, вторую секцию 6 регенерации, секцию 7 пастеризации, выдерживатель 12, снова первую и вторую секции регенерации и секцию 14 охлаждения. Греющий агент — пар, нагревающий в бойлере воду, используемую затем в секции пастеризации. Режим пастеризации поддерживается ПИ-регулятором, управляющим потоком пара к бойлеру. При температуре пастеризации ниже установленного уровня по команде регулятора-ограничителя открывается клапан 11, возвращающий молоко по линии 13 в уравнильный бак на повторную пастеризацию. Для исключения таких режимов работы может быть использована схема пропорционального уменьшения расхода молока при снижении температуры пастериза-

ции  $\theta_{\text{п}}$ . Эту функцию выполняет П-регулятор, управляющий регулирующим клапаном 3 на линии молочного насоса 2.

Коэффициент установки пропорциональности регулятора подбирают таким образом, чтобы пропорциональная снижению температуры  $\theta_{\text{п}}$  длительность  $\tau$  нахождения молока в выдерживателе

$$\ln \tau = 29,3 - 0,346\theta_{\text{п}}.$$

Работа установки при пониженных температурах пастеризации расширяет диапазон возможных режимов эксплуатации пастеризатора и снижает скорость образования «пригара» — белковых отложений на поверхности пластин, что требует периодической разборки и очистки пастеризатора.

Для измерения общего надоя молока или надоя от технологических групп коров на серийных автоматизированных доильных установках с молокопроводом используют микропроцессорное устройство, разработанное НПП «Фемакс» (ВИЭСХ).

Устройство разработано на базе однокристалльной микроЭВМ. Его подключают к магнитному пускателью молочного насоса или непосредственно к датчику уровня в молокоприемнике. Устройство фиксирует временные характеристики работы насоса, паузу и длительность импульса включения в каждом цикле. В качестве постоянной величины вводится объем молокоприемника. Общий надой рассчитывается с учетом объема молокопровода, продолжительности пауз и импульсов и количества включений насоса. Погрешность учета составляет 0,93 %, диапазон измерений расхода молока — 0...30 л/мин.

## **Автоматизация водоохладительных установок**

Водоохладительные установки предназначены для охлаждения воды, используемой на молочных фермах при хранении молока в проточных и емкостных охладителях.

Основной элемент автоматизации компрессионных холодильных машин — терморегулирующий вентиль (ТРВ; рис. 2.20, а), предназначенный для понижения давления (дросселирования) и регулирования расхода фреона, поступающего в охладитель из ресивера конденсатора. Как увеличение, так и уменьшение количества фреона, поступающего в охладитель, снижает холодильную мощность установки. Переполнение охладителя приводит к тому, что не весь фреон успевает испариться и часть его поступает в компрессор в жидком виде. Попадая на горячие стенки цилиндров компрессора в начале цикла всасывания, капли фреона мгновенно испаряются, а образующийся пар занимает значительную часть объема цилиндра, снижая производительность компрессора и установки в целом.

Степень заполнения испарителя фреоном характеризует температура пара на его выходе  $\theta_{\text{вых}}$ . Чем меньше заполнение испарителя, тем больше перегрев паров.

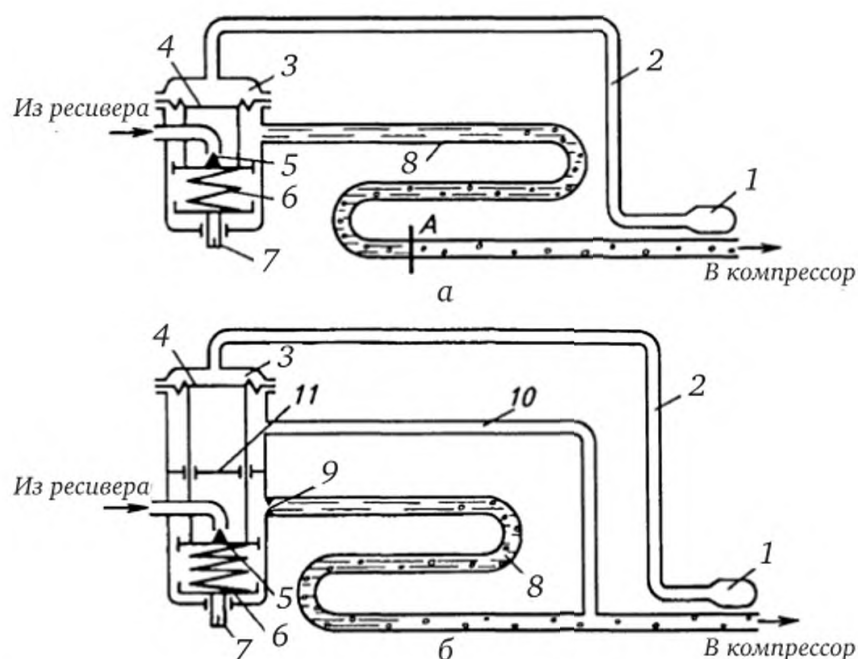


Рис. 2.20. Схема терморегулирующего вентиля с внутренним (а) и внешним (б) выравниванием:

- 1 — термобаллон; 2 — капилляр; 3 — надмембранная камера; 4 — мембрана;  
 5 — клапан; 6 — пружина; 7 — регулировочный винт; 8 — испаритель;  
 9 — диафрагма; 10 — уравнивательная трубка; 11 — перегородка

При увеличении  $\theta_{\text{вых}}$  возрастает давление в герметичной системе, заполненной тем же фреоном или другим веществом с низкой температурой кипения и включающей в себя термобаллон 1, капилляр 2 и камеру 3 между корпусом ТРВ и мембраной 4. Перемещение мембраны вниз увеличивает проходное сечение дросселирующего клапана 5, в результате чего возрастает поступление в испаритель жидкого фреона из ресивера. Из-за снижения давления жидкий фреон оказывается перегретым, он вскипает и, постепенно испаряясь, отбирает теплоту у охлаждаемого продукта.

При уменьшении нагрузки  $\theta_{\text{вых}}$  понижается, давление в герметичной системе и подача фреона уменьшаются. При этом перегрев принимает значение, соответствующее первоначальному. Анализ конструкции ТРВ и описание его работы свидетельствуют о том, что в системе реализуется П-закон управления. При этом коэффициент пропорциональности соответствует жесткости пружины 6, а задание устанавливается путем изменения ее сжатия с помощью регулировочного винта 7.

Происходящие в системе «испаритель — ТРВ» процессы достаточно инерционны, поэтому при резких изменениях температурного режима подача фреона в испаритель и соответственно холодильная мощность установки колеблются, постепенно затухая.

ТРВ, работающие по схеме, показанной на рис. 2.20, а, применяют на холодильных установках небольшой производительности, у которых потери давления по длине испарителя незначительны, а давление фреона под мембраной и в испарителе одинаковы.

В холодильных машинах большой производительности испаритель имеет значительную длину и давление на его выходе ниже, чем



на входе. В результате температура перегретого пара  $\theta_{\text{вых}}$  снижается, уменьшается давление в термобаллоне и клапан ТРВ прикрывается. Обеспечить требуемое открытие клапана можно только при увеличении перегрева, т. е. при уменьшенном заполнении испарителя и пониженной холодильной мощности установки. Поэтому в холодильных машинах, имеющих длинные испарители, падение давления в которых более 200 кПа, применяют ТРВ с уравнильной трубкой (рис. 2.20, б). В корпусе таких ТРВ устанавливают перегородку 11, благодаря которой под мембрану 4 подается давление не со стороны входа, а со стороны выхода испарителя — по уравнильной трубке 10. Поскольку давление на выходе более низкое, то разность давлений на мембрану при том же значении  $\theta_{\text{вых}} - \theta_{\text{час}}$  будет больше, в результате чего заполнение испарителя и производительность установки увеличиваются. Дополнительно устанавливаемая на выходе ТРВ диафрагма 9 позволяет повысить давление за клапаном и увеличить его диаметр.

### Автоматизация установки для охлаждения молока

Установка для охлаждения молока работает по замкнутому циклу. Пары фреона поступают в компрессор 1 (рис. 2.21), сжимаются и попадают в конденсатор 10. Там пары превращаются в жидкость, стекающую в ресивер 9. Из ресивера жидкий фреон поступает в испаритель 12, проходя последовательно через теплообменник 6, фильтр-осушитель 7 и терморегулирующий вентиль (ТРВ) 8. В ТРВ давление фреона падает, он оказывается перегретым относительно нового давления и потому вскипает, отбирая теплоту у воды, орошающей поверхность испарителя. Эта вода насосом 11 перекачивается в охладитель молока, после которого возвращается в испаритель. Пары фреона поступают в теплообменник и затем засасываются в цилиндр компрессора.

Для охлаждения воды, омывающей трубки конденсатора, используют малогабаритную градирню 16 с вентилятором 18.

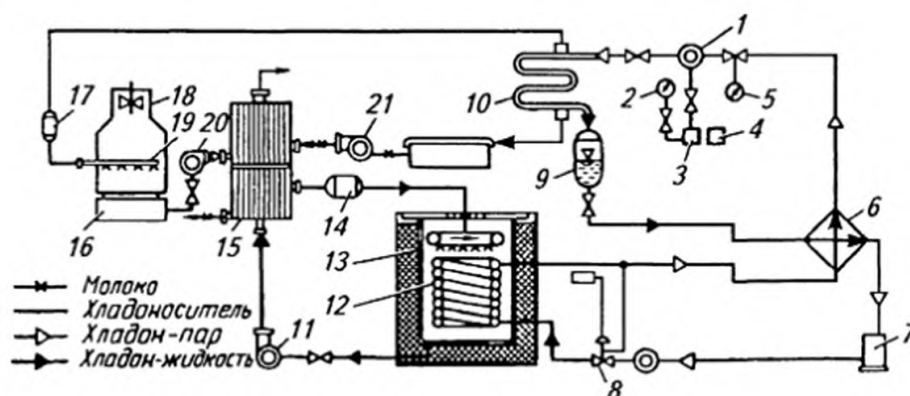


Рис. 2.21. Технологическая схема воздухоохладительной установки АВ-30:

1 — компрессор; 2, 5 — манометры; 3, 4 — реле давления и контроля смазочного материала; 6 — теплообменник; 7 — фильтр-осушитель; 8 — терморегулирующий вентиль; 9 — ресивер; 10 — конденсатор; 11, 20 — водяные насосы; 12 — испаритель; 13 — бак; 14, 17 — фильтры; 15 — охладитель молока; 16 — градирня; 18 — вентилятор; 19 — ороситель; 21 — молочный насос

Режим работы автоматический (А) или полуавтоматический (ПА) устанавливают переключателями  $S1$  и  $S2$  (рис. 2.22). При подаче питающего напряжения последовательно включаются двигатели  $M2$ ,  $M3$  и  $M1$ . Двигатель  $M4$  привода вентилятора градирни включается температурным реле  $SK2$  при повышении температуры воды на охлаждении конденсатора до  $23,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Если температура воды ниже  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то реле  $SK3$  отключает вентилятор.

Реле  $SP2$  контролирует давление в смазочной системе компрессора, и если при пуске машины оно не поднимается до требуемого уровня и контакты  $SP2$  не замкнутся, то через 1,5 мин реле времени  $KT$  отключит установку. Реле  $SP1$  отключает установку при аварийном повышении давления фреона.

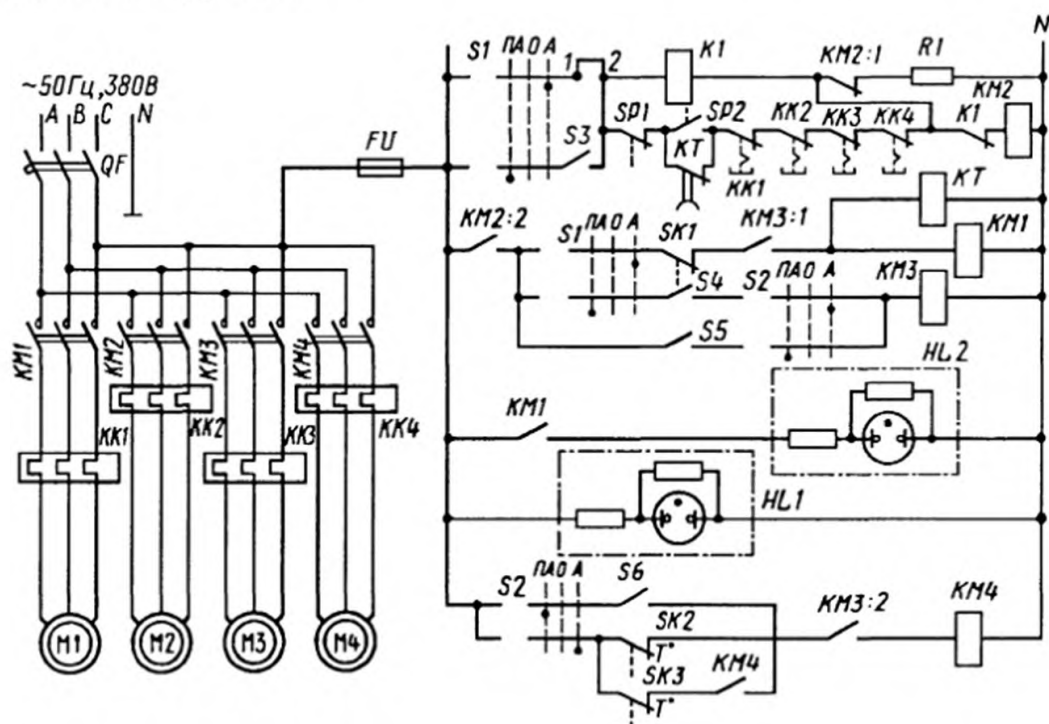


Рис. 2.22. Принципиальная электрическая схема водоохладительной установки АВ-30

Срабатывание любого элемента защиты в цепи катушки пускателя  $КМ2$  вводит в действие реле  $K1$ . При этом катушки реле  $K1$  и пускателя  $КМ2$  оказываются включенными последовательно. В результате  $КМ2$  отключается, а реле  $K1$  получает питание через резистор  $R1$ . Поэтому при последующем замыкании контактов любого из аппаратов защиты ( $SP1$ ,  $SP2$ ,  $КК1...КК4$ ) магнитный пускатель  $КМ2$ , а следовательно, и установка в целом автоматически не включаются. Обслуживающий персонал должен привести схему в исходное положение: выключить и включить вновь  $S1$ .

В полуавтоматическом режиме установкой управляют с помощью тумблеров  $S3...S6$ .

Перемычку между зажимами 1 и 2 устанавливают, если воду используют в проточных охладителях молока. Если установка работает на резервуар-охладитель, то в разрыв между зажимами включают управляющие контакты от системы управления этим резервуаром.

## Тема 2.5

# ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

Непременное условие нормального функционирования фермы или комплекса — постоянная готовность и бесперебойная работа оборудования. Отказ какой-либо машины делает не только непроизводительным труд работников, но и нарушает принятый распорядок дня, что приводит к снижению продуктивности животных. Техническая исправность и постоянная готовность к работе машин и оборудования ферм и комплексов возможны только при проведении планово-предупредительной системы технического обслуживания (ТО).

**Регуляторы температуры и относительной влажности воздуха.** Качество регулирования температуры и относительной влажности воздуха в животноводческом помещении зависит не только от состояния элементов системы, но и от технологий содержания животных, раздачи кормов и уборки навоза. Если оборудование системы работает нормально, закрыты ворота, двери, в хорошем состоянии перекрытия, стены, окна (не разбиты стекла, отсутствуют щели и т. п.), а температурно-влажностный режим в помещении плохой (что можно установить по длительным отклонениям температуры и влажности воздуха от заданных значений), то это свидетельствует о неисправности в системе автоматизации и чаще всего в устройстве регулирования. Причину неисправности в системе или устройстве легко обнаружить при помощи переносных контрольно-измерительных самопишущих приборов.

Для проверки правильности действия устройства регулирования температуры или влажности наблюдают за его работой после нанесения искусственного возмущения, что через некоторое время приведет к изменению режима работы системы автоматизации. Возмущение наносят следующим образом. Переводят устройство регулирования на ручное управление. Потом дистанционно или вручную перемещают регулирующий орган на значение, не превышающее рабочий диапазон параметра. Затем включают устройство регулирования и наблюдают за характером возвращения регулируемой величины к заданному значению. Если проверка покажет ухудшение качества работы устройства регулирования в статике и динамике, то прежде всего убеждаются в исправности первичных преобразователей. После этого корректируют параметры настройки устройства регулирования.

При эксплуатации первичных преобразователей температуры (медные термометры сопротивления) возможны следующие неисправности:

замыкание витков обмотки, что приводит к занижению показаний прибора;

обрыв обмотки, при этом стрелка вторичного прибора уходит за максимум;

плохой контакт в проводах соединительной линии, подключенной к термопреобразователю, что ведет к неустойчивым показаниям вторичного прибора;

низкое сопротивление изоляции, что вызывает искажение показаний вторичных приборов.

Обрыв или замыкание всех витков обмотки термопреобразователя находят при помощи омметра или тестера. При этом вторичный прибор отсоединяют. Сопротивление изоляции между обмоткой и корпусом термометра сопротивления измеряют мегомметром напряжением не более 500 В.

Сопротивление медных термометров в интервале от  $-50$  до  $+50$  °С определяют по формуле

$$R_{\theta} = R_0(1 + \alpha\theta),$$

где  $\alpha$  — температурный коэффициент электрического сопротивления меди:  $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3}$  1/град.

В некоторых системах автоматизации управления микроклиматом, например в комплектах оборудования «Климат», для контроля и измерения температур используют магнитоэлектрические логометры в сочетании с термометрами сопротивления. При одинаковых термометрах сопротивления один логометр позволяет измерять температуру в нескольких (до 20) точках помещения, если используется многоточечный переключатель. Обслуживание логометров сводится к периодической очистке и смазыванию переключателей, а также к поддержанию прибора в чистоте.

В качестве первичных преобразователей относительной влажности воздуха применяют неподогреваемые с пленкой электролита, подогреваемые хлористо-литиевые и пьезосорбционные.

*Неподогреваемые первичные преобразователи* весьма чувствительны к запыленности воздуха, не допускают попадания конденсата на активный слой и имеют значительную дополнительную температурную погрешность, что требует введения термокомпенсации.

*Подогреваемые первичные преобразователи* по конструкции более сложные, чем неподогреваемые, однако они более точны в диапазоне средних значений влажности и взаимозаменяемы, т. е. их показания в установившемся режиме не зависят от колебаний питающего напряжения и скорости обдува воздухом.

Подогреваемые первичные преобразователи обеспечивают сохранение всех своих параметров на протяжении шести месяцев, после чего старая



активная пленка хлористого лития может быть смыта и нанесена новая. При этом градуировка первичного преобразователя остается прежней. Процесс повторного нанесения пленки достаточно прост и может быть выполнен на месте эксплуатации прибора при периодическом профилактическом обслуживании (один раз в полгода). Нельзя допускать длительного нахождения первичного преобразователя в выключенном состоянии, так как в этом случае происходит размокание и стекание активного слоя. Для устранения этого недостатка необходимо применять специальные защитные конструкции, которые предохраняют первичный преобразователь от воздействия окружающей среды в нерабочем состоянии.

*Пьезосорбционные первичные преобразователи* могут работать при высокой влажности воздуха и оставаться работоспособными после попадания на них воды (при выпадении росы, при разбрызгивании воды в увлажнительных установках и т. д.). Допускается промывка чувствительного элемента дистиллированной водой один раз в два месяца в помещениях со значительной запыленностью воздуха.

При эксплуатации первичных преобразователей относительной влажности воздуха возможны следующие неисправности: загрязнение чувствительного элемента; обрыв цепи подогрева или выход из строя резистивного элемента; размыкание и стекание активного слоя с чувствительного элемента; короткое замыкание на контактах подсоединения подводющих проводов или между проводами.

**Устройство регулирования температуры типа станции управления МК-ВАУЗ.** В процессе эксплуатации устройства необходимо периодически корректировать шкалу датчика температуры (не реже одного раза в шесть месяцев) и проверять настройки устройства на требуемые режимы работы. Для этого после часового прогрева устройства необходимо:

- по показанию ртутного термометра, находящегося рядом с термометром сопротивления, установить датчик температуры на требуемую отметку (соответствующую температуре воздуха в помещении);

- датчик зоны пропорциональности установить на максимальное значение;

- при неизменном положении датчика базового напряжения корректором нулевого значения шкалы датчика температуры при помощи переносного вольтметра добиться минимального значения напряжения на вентиляторах при наличии светового сигнала «норма».

После проверки настройки устройства типа МК-ВАУЗ устанавливают датчики температуры, базового напряжения и зоны пропорциональности в положения, соответствующие зоотехническим требованиям конкретного животноводческого помещения.

**Исполнительные механизмы.** После монтажа электрических исполнительных механизмов их настройку выполняют в соответствии с рекомендациями, изложенными в инструкции завода-изготовителя.

В период эксплуатации исполнительные механизмы ежедневно осматривают и наблюдают за их работой. При необходимости, не снимая электродвигатель, делают подрегулировки: выбег выходного вала исполнительного механизма, зазор тормоза и усилие пружины.

Через два года после начала работы исполнительный механизм демонтируют (разбирают, очищают и регулируют). Полости подшипников заполняют новой смазкой, заменяют вышедшие из строя детали электротормоза, смазывают зубчатые венцы передачи. Окончательную настройку тормоза ведут во время пробного включения механизма (регулируют натяжение рабочей пружины). При этом выбег выходного вала не должен превышать допустимое значение. Затем собирают весь механизм и устанавливают его на рабочее место.

**Шкафы (станции) управления.** При эксплуатации шкафов (станций) управления, оборудованных комплектами типа «Климат», ПВУ, ТВ, СФОА, ККТ и др., следует пользоваться Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителями и Единой системой планово-предупредительного ремонта оборудования.

Работы по техническому обслуживанию или ремонту станций управления систем автоматизации микроклимата следует проводить только при полностью снятом напряжении. Для этого при неработающем оборудовании отключают главный рубильник или автоматический выключатель на вводном распределительном устройстве, питающим станцию, и вводной автоматический выключатель станции управления.

Прежде чем приступить к работе, обслуживающий персонал должен изучить электрическую схему станции. На месте работы необходимо иметь набор инструментов, комплект защитных средств, инструкции по эксплуатации и технике безопасности и аптечку первой помощи.

Очистку аппаратуры, контроль за состоянием пускателей, автоматических выключателей, реле и т. п. необходимо проводить также при полностью снятом напряжении не реже одного раза в четыре месяца. При этом на рубильнике следует повесить плакат «Не включать — работают люди!» Необходимо обращать внимание на легкость хода подвижных частей пускозащитной и релейной аппаратуры, плотность прилегания контактных групп. В случае загрязнения подвижных частей и контактных групп их надо протереть тряпкой, смоченной в бензине или спирте. Особое внимание необходимо обращать на прочность заземляющих соединений.

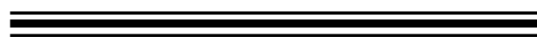
После обработки дезинфицирующим раствором наружную часть станции управления промывают водой и протирают сухой ветошью. Дезинфицирование внутри станций разрешается только ультрафиолетовыми облучателями при отключении ее от сети.

Ремонт систем автоматизации микроклимата может быть поручен только обученному персоналу, имеющему квалификационную группу по технике безопасности не ниже III.

# **Раздел 3**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ**

# **ПТИЦЕВОДСТВА**



## Тема 3.1

# АВТОМАТИЗАЦИЯ КОРМЛЕНИЯ И ПОЕНИЯ ПТИЦ

### Технологические основы автоматизации кормления и поения птиц

Птицеводство является высокоэффективной отраслью сельскохозяйственного производства, развивающейся преимущественно на промышленной основе. Уровень автоматизации основных ТП промышленного птицеводства сравнительно высок. Птиц содержат в изолированных от внешней среды безоконных птичниках с искусственными микроклиматом и освещением. Предпочтение отдают клеточному содержанию, но применяют также и напольное содержание на глубокой подстилке.

Для кормления птиц применяют сбалансированные по содержанию питательных веществ гранулированные или рассыпные комбикорма, корма животного происхождения, минеральные добавки, витамины, премиксы и др.

Вид птиц, их возраст, способ содержания и свойства корма существенно влияют на автоматизацию кормления. При напольном содержании птиц применяют групповое кормление, режим которого устанавливают исходя из зоотехнических требований. Для раздачи корма используют стационарные и мобильные (реже) раздатчики корма.

В промышленном птицеводстве организуют кормление из лотковых, желобковых и бункерных кормушек. При автоматизации кормления измерение количества корма базируется на измерении продолжительности его раздачи. Разумеется, это возможно только при постоянном потоке корма.

Продолжительность заполнения кормушек  $t$  связана с производительностью раздатчиков корма  $Q$  соотношением

$$t = m / Q,$$

где  $m$  — суммарная вместимость кормушек.

Окончание процесса раздачи можно определить либо по возврату корма в бункер-дозатор, либо по заполнению последней в контуре кормораздатчика кормушки. ТП поения птиц имеет свои особенности, которые обусловлены, с одной стороны, свойствами организма птиц и, с другой — конструкцией оборудования.



Современное оборудование для поения птиц в промышленных условиях очень разнообразно. Это желобковые проточные и непроточные, чашечные, капельные поилки и др. Важнейшая их характеристика — коэффициент использования воды, изменяющийся от 20 до 90 %. Лучшими по этому показателю являются желобковые поилки постоянного уровня и капельные автопоилки с питанием от разделительного бака с автоматическим поддержанием уровня.

Групповые чашечные и непроточные желобковые поилки применяют при содержании птиц на подстилке, насестах и в клеточных батареях горизонтального типа. Эти поилки оснащены встроенными регуляторами уровня воды прямого действия. С целью экономии воды системы поения включаются автоматически только на период светового дня.

### Принципы автоматизации оборудования для кормления и поения птиц

Рассмотрим типовую автоматизированную линию кормления птиц. Линия включает в себя бункер 1 (рис. 3.1) сыпучих кормов, поперечный транспортер 2, продольные транспортеры с кормушками 3 и поворотные станции, при помощи которых образуется замкнутый контур кормораздаточной цепи. Для наполнения бункера 1 используют специальный загрузчик, установленный на шасси автомобиля.

Корм из бункера 1 наклонным транспортером подается в приемник горизонтального поперечного транспортера 2, который доставляет его в бункер клеточных батарей, загружая их последовательно. Когда бункер первой батареи заполнится до верха, корм перекрывает выгрузное окно поперечного транспортера и начинает перемещаться к бункеру второй батареи, затем к третьей и т. д. После наполнения последнего бункера вся линия подачи корма отключается.

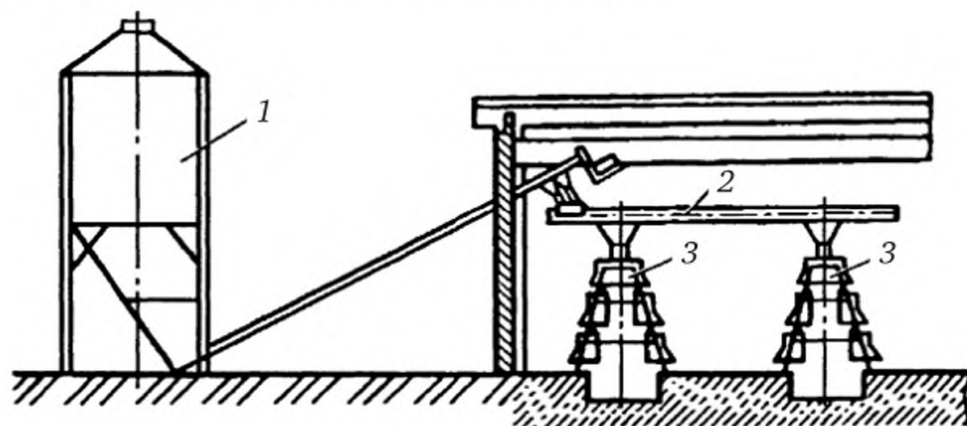


Рис. 3.1. Схема кормления птиц:

1 — бункер; 2 — поперечный транспортер;  
3 — кормушки

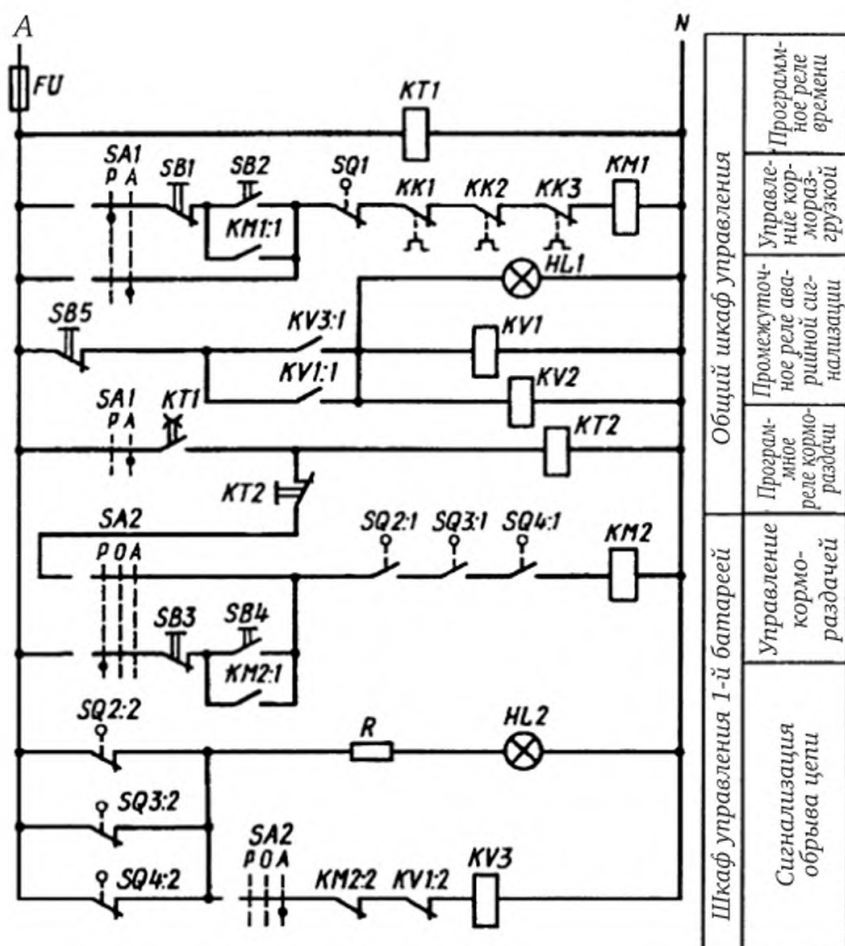
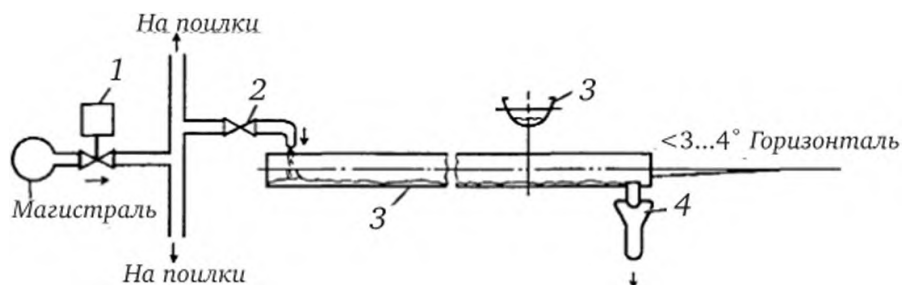


Рис. 3.2. Принципиальная электрическая схема управления линией кормления птиц

На рис. 3.2 показана принципиальная электрическая схема управления загрузкой бункеров клеточных батарей и кормораздачей в одной из них. В зависимости от положения переключателя *SA1* загрузка корма в бункера батарей может быть выполнена в автоматическом или ручном режиме. При работе в ручном режиме пуск оборудования осуществляют нажатием на кнопку *SB2*. Отключение всех механизмов линии загрузки кормов происходит при размыкании контактов конечного выключателя *SQ1*, установленного в последнем бункере.

Команды на включение транспортеров кормораздачи поступают от реле времени *KT1* в моменты, определяемые технологическим регламентом. Продолжительность работы транспортеров определяется настройкой другого реле времени *KT2*, через замыкающие контакты которого проходят команды на автоматический пуск двигателей кормораздачи всех батарей.

При возможном обрыве цепи кормораздачи на любом ярусе одной из клеточных батарей размыкаются контакты конечных выключателей *SQ2:1*, *SQ3:1* или *SQ4:1*, обесточивается пускатель *KM2* и двигатель транспортеров кормораздачи останавливается. Одновременно через контакты *KV1* и *KM2:2* получает питание катушка реле *KV3*, а через контакты *KV3:1* — реле *KV1* и сигнальная лампа *HL1*, установленная в производственном зале.



**Рис. 3.3. Проточная автопоилка для птиц:**

1 — электроклапан; 2 — кран ручного регулирования; 3 — поилка;  
4 — трубопровод

В птичниках с напольным содержанием птиц раздача корма из бункера-дозатора в автокормушках производится канатно-дисковым транспортером по команде реле времени. Последняя автокормушка в контуре кормораздатчика является контрольной, поскольку установленный в ней датчик уровня корма отключает привод транспортера.

Автоматическое управление системой поения птиц с желобковыми проточными поилками заключается во включении или отключении клапана 1 (рис. 3.3) подачи воды в поилки 3 вместе с включением или отключением освещения. В устройствах УПУС-1 для этого предусмотрен специальный размыкающий контакт.

## Тема 3.2

# АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В ПТИЦЕВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

### Технологические основы регулирования микроклимата в птичниках

Проблема управления микроклиматом в птицеводстве весьма сходна с аналогичной проблемой в животноводстве. Однако в птицеводстве имеются некоторые специфические особенности регулирования условий среды, в частности при выращивании молодняка и инкубации яиц.

Молодняк птиц, особенно в раннем возрасте, нуждается в особых условиях содержания.

Температура в зоне обитания молодняка сначала должна поддерживаться на уровне 34...35 °С и постепенно, по мере взросления птиц, снижаться до 20...22 °С. Особые требования предъявляют 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 интенсивно загрязняется, и перерывы в вентиляции очень скоро приводят к гибели птиц, поэтому к ее надежности предъявляют особые требования.

Летом, когда обогрев не требуется, воздухообмен в птичниках регулируют в функции температуры. Рациональный режим вентиляции птичников показан на графике (рис. 3.4).

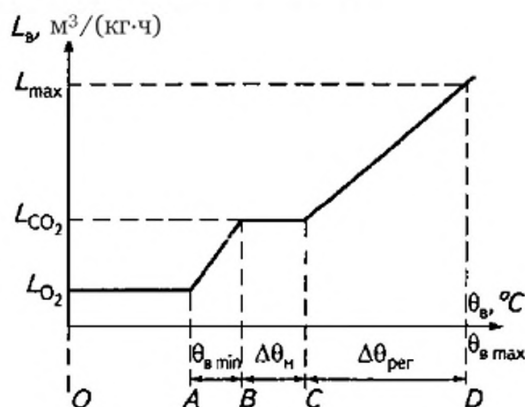


Рис. 3.4. График регулирования вентиляции в птичнике



На участке  $OA$  при температуре ниже допустимой минимальной  $\theta_{\min}$  воздухообмен уменьшают до  $L_{O_2}$ , исключающего кислородное голодание. На участке  $AB$  (между минимальной и номинальной температурой) воздухообмен увеличивают до номинального  $L_{CO_2}$ . На участке  $BC$  номинальной температуры  $\Delta\theta_n$  сохраняется номинальная вентиляция. При повышении температуры сверх номинальной (участок  $CD$ ) вентиляция пропорционально ей увеличивается до максимума.

## **Автоматизация управления вентиляцией птичников**

Для регулирования воздухообмена в птичниках используют станции управления ШАП-5701 и МК-ВАУЗ, аналогичные применяемым в животноводстве. Однако для птичников комплекс «Климат-47М» поставляют с устройством управления «Климатика-1». По принципу действия это устройство сходно с МК-ВАУЗ, но его функциональные характеристики значительно шире.

Наиболее существенные отличия следующие: введено ручное управление; предусмотрена возможность установки четырех датчиков температуры, обеспечивающих выдачу информации об усредненной температуре при переносе температурных полей; предусмотрен четырехполюсный переключатель для установок температуры; введены новые функции сигнализации «Аварийное отключение» и «Срабатывание защиты».

На рис. 3.5 представлена принципиальная электрическая схема устройства «Климатика-1». Устройство представляет собой тиристорный регулятор с цифровой системой управления, обеспечивающей плавное изменение выходного напряжения в зависимости от температуры воздуха в помещении. Сигнал управления формируется системой регулирования, блок-схема которой показана на рис. 3.6.

Сигнал разбаланса вырабатывается измерительным мостом, в плечи которого включены задатчик  $Z$ , термопреобразователь  $ТП$ , резистор  $R$  и переключатель  $D$  измерительных преобразователей. Сигнал, усиленный в усилителе  $У1$ , суммируется с сигналом задания базового напряжения  $U_6$  на входе усилителя  $У2$ . Сигнал  $U_6$  определяет уровень выходного напряжения при сбалансированном измерительном мосте, т. е. при температуре, соответствующей заданной.

Нелинейный элемент  $D1$  ограничивает на требуемом уровне, задаваемом резистором  $R1$ , минимальное значение выходного напряжения, которое соответствует минимальной частоте вращения вентиляторов.

В режиме ручного управления выходное напряжение устанавливают переменным резистором  $R2$ . Выходной сигнал системы регулирования подается на вход цифровой системы импульсно-фазового управления тиристорами (СИФУ), имеющей три канала:  $A$ ,  $B$ ,  $C$  соответственно числу фаз питающего напряжения (рис. 3.5).

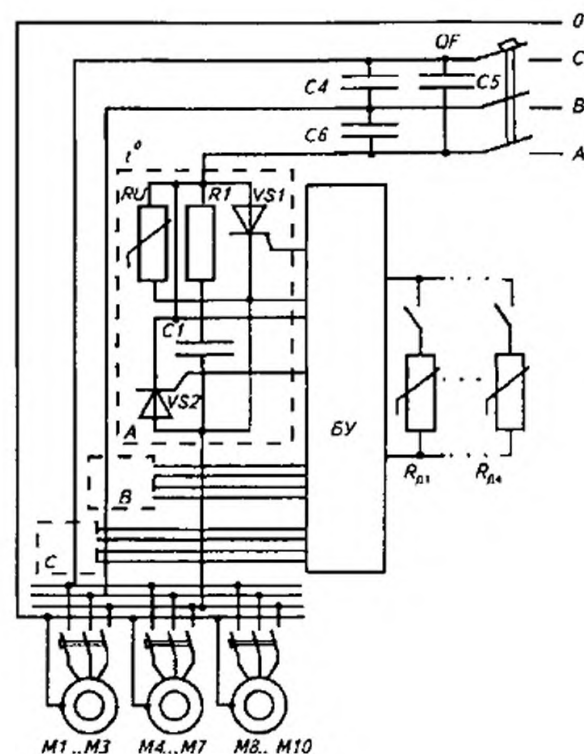


Рис. 3.5. Принципиальная схема устройства управления «Климатика-1»

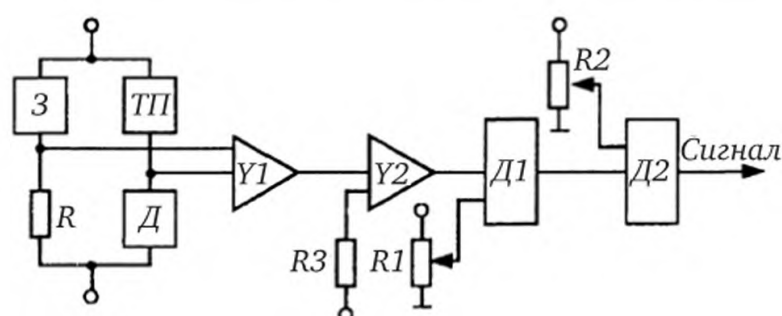


Рис. 3.6. Схема формирования сигнала управления

Смысл метода фазового управления заключается в обеспечении регулируемой задержки во времени момента включения тиристора по отношению к моменту его естественного выключения. Метод реализуется за счет организации регулируемого сдвига фаз между анодным напряжением  $U_n$  и напряжением  $U_y$ , подаваемым на управляющий электрод тиристора (рис. 3.7, а). При этом управляющий сигнал  $U_y$  должен иметь форму импульса с крутым передним фронтом.

Основные элементы СИФУ — аналого-импульсный преобразователь, счетчики, генератор частоты заполнения импульсов и усилители-распределители импульсов. Аналого-импульсный преобразователь представляет собой генератор, вырабатывающий последовательность импульсов, период следования которых соответствует величине сигнала управления (рис. 3.7, б). Число импульсов подсчитывается, начиная с момента, когда напряжение синхронизации проходит через нуль.

При числе импульсов, равном 80, их счет прекращается до момента, когда напряжение синхронизации снова станет равным нулю, а усилители-распределители выработают три сдвинутых по фазе (на угол  $180^\circ$ ) прямоугольных управляющих импульса. Каждый из этих импульсов модулируется частотой, вырабатываемой специальным генератором, и приобретает вид, показанный на рис. 3.7, б, а затем поступает к усилителям, формирующим управляющие импульсы, которые включают соответствующие пары тиристоров в силовом блоке устройства.

В силовой блок станции управления входят шесть тиристоров  $VS1 \dots VS6$  автоматический выключатель  $QF$  и защитные элементы: варисторы  $RV$ , защищающие тиристоры от перенапряжений сети; ЛС-цепи, защищающие их от коммутационных напряжений; конденсаторы  $C4 \dots C6$ , ограничивающие скорость нарастания напряжения при подключении устройства к питающей сети. В схеме устройства предусмотрена защита от обратного чередования фаз питающей сети и бросков напряжения питания в момент включения устройства. Для включения вентиляторов в режиме малых угловых скоростей, когда выходное напряжение устройства меньше необходимого для пуска двигателя, кратковременно увеличивают сигнал управления.

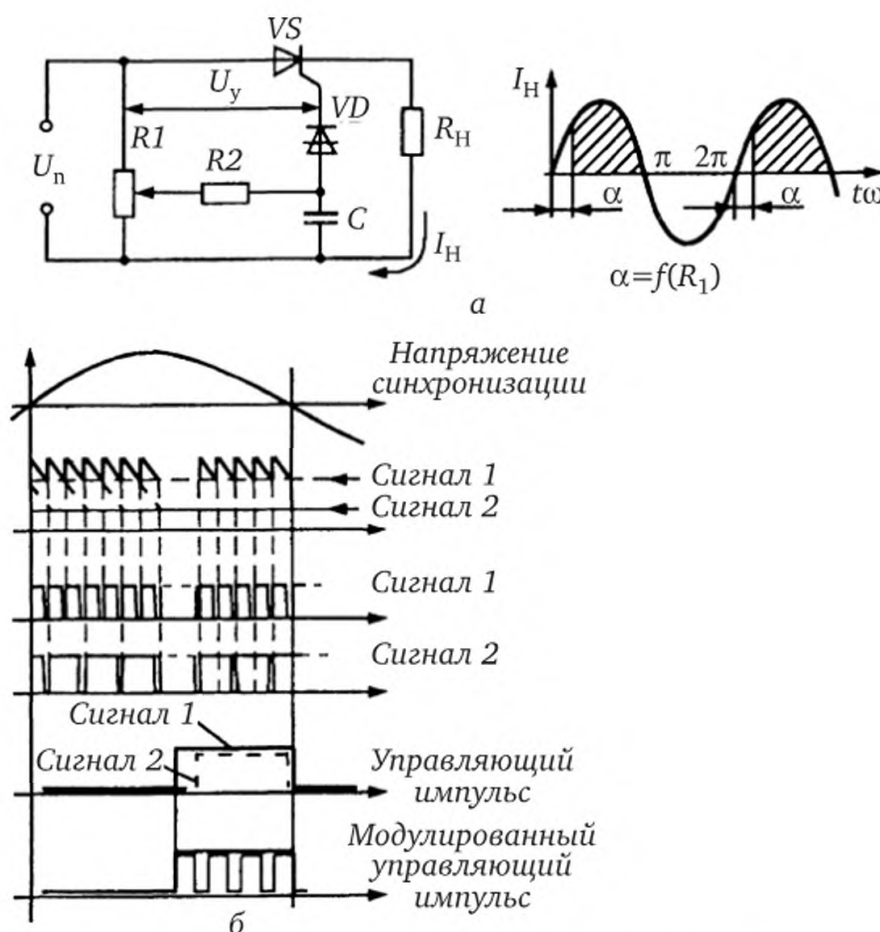


Рис. 3.7. Схема фазового управления тиристором (а) и диаграмма формирования сигнала управления тиристором (б)

## Автоматизация управления влажностью воздуха

В птицеводстве для управления микроклиматом, в том числе и влажностью воздуха, широко применяют комплекты оборудования серии «Климат». Разработаны комплекты с централизованным (типа «Климат-2», «Климат-3») и децентрализованным (типа «Климат-4») теплоснабжением. Первые применяют на крупных птицефабриках, вторые — на небольших птицефермах. Комплект типа «Климат-4» содержит оборудование для отопления (теплогенераторы ТГ-1, ТГ-2,5 или электрокалориферы СФОА), до 20 осевых вентиляторов серии ВО, автотрансформатор АТ-10 и устройство управления МК-ВАУЗ. В комплектах типа «Климат-2» и «Климат-3» воздух обогревается водяными калориферами. Каждый комплект имеет по два приточных отопительно-вентиляционных агрегата (ПОВА), от 15 до 45 осевых вытяжных вентиляторов и станцию управления. ПОВА предназначен для подогрева, увлажнения и подачи свежего воздуха в помещение. Агрегат состоит из вентилятора с электродвигателем, разбрызгивателя, каплеуловителя, напорного бака, калориферов и регулирующего клапана.

Главный недостаток комплектов типа «Климат-4» заключается в том, что обе системы (отопительная и вентиляционная) управляют одной величиной — температурой. Вместе с тем вентиляционная система предназначена (по крайней мере в холодный период) также для удаления диоксида углерода, аммиака и излишков влаги. При уменьшении расхода воздуха, вызванном снижением температуры, в помещении может увеличиться концентрация вредных веществ и влаги. Поэтому зимой система управления должна воздействовать на температуру за счет изменения мощности отопительных устройств, а на концентрацию вредных веществ и влажности — за счет изменения количества и производительности вентиляторов.

Этот же недостаток — управление температурой воздуха за счет изменения воздухообмена — присущ и комплекту типа «Климат-2». Этот комплект может изменять влажность воздуха в помещении в результате включения увлажнительных устройств. Такое управление необходимо в ряде птицеводческих помещений, например в помещениях для содержания цыплят при низкой относительной влажности наружного воздуха. Влажностным режимом в этом случае управляют с помощью двухпозиционного регулятора влажности СПР-104 с калиево-натриевым датчиком влажности. Комплект типа «Климат-3» оснащен трехпозиционным влагорегулятором на основе полупроводникового прибора РВТ-110 с электролитическим неподогреваемым гигристором ЭВЧ.

Принципиальная электрическая схема регулятора влажности СПР-104 изображена на рис. 3.8.

С изменением относительной влажности воздуха изменяется сопротивление первичного преобразователя  $R_M$ , что приводит к рассогласованию измерительного моста регулятора. Сигнал рассогласования подается на вход транзисторного усилителя  $VT1$  и далее — на фазочув-



ствительный каскад VT2, который управляет триггером, собранным на транзисторах VT3 и VT4. Нагрузкой триггера является катушка реле KV, исполнительные контакты которой управляют увлажнительной установкой. Регулятор СПР-104 имеет следующие технические данные: диапазон регулируемой влажности 35...90 % при температуре от -5 до +35 °С, погрешность шкалы  $\pm 3$  %. Датчик следует подключать к регулятору экранированным проводом длиной не более 200 м.

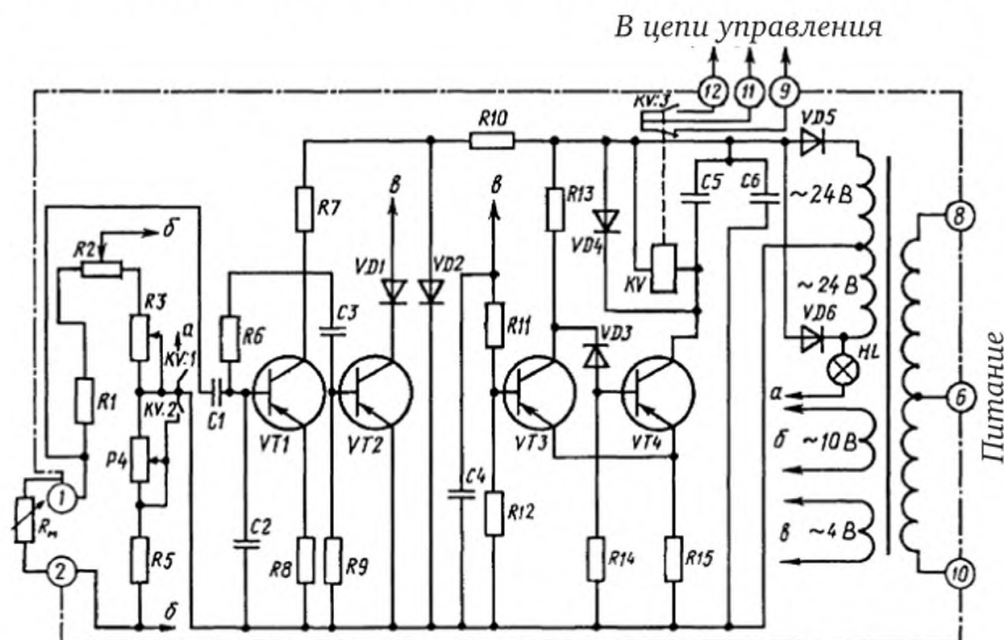


Рис. 3.8. Принципиальная электрическая схема влагорегулятора СПР-104 (клеммы обозначены арабскими цифрами)

## Автоматизация инкубационного процесса

Инкубация яиц повсеместно осуществляется на промышленной основе и на сегодняшний день является одним из наиболее автоматизированных ТП птицеводства. Особенность инкубации заключается в том, что она требует достаточно точного поддержания микроклимата, характеризующегося тремя параметрами: температурой, влажностью и газовым составом. Кроме того, в процессе инкубации эти параметры должны изменяться.

По назначению инкубаторы делят на предварительные, выводные и комбинированные (сочетающие оба процесса).

Универсальный предварительный инкубатор ИУП-Ф-45 вмещает 48 тыс. яиц. Инкубатор состоит из трех одинаковых камер, в каждой из которых размещаются барабан с лотками, вентилятор, системы обогрева, охлаждения, увлажнения, а также аварийного охлаждения и воздухообмена.

Лотки с яйцами поворачиваются за счет поворота барабана на угол  $\pm 45^\circ$  от вертикального положения, выполняемого автоматически каждый час. Циркуляция воздуха внутри каждой камеры обеспечива-

ется работой тихоходного вентилятора, а увлажнение воздуха — за счет испарения воды, подаваемой на ступицу вентилятора и разбрызгиваемой его лопастями при вращении. Охлаждение воздуха в камере достигается циркуляцией воды через радиатор, укрепленный, как и вентилятор, на задней стенке камеры. Вода на увлажнение и охлаждение воздуха подается через соленоидные клапаны, управляемые автоматически. Воздухообмен в камере обеспечивается системой заслонок, объединенных общим приводом от электромагнита, начиная с 11-го дня инкубации начинают открывать заслонки, причем открытие заслонок увеличивается до 60 мм на 18-й день инкубации.

Обогрев воздуха в каждой камере осуществляется четырьмя электронагревателями общей мощностью 4 кВт. Требуемая точность поддержания температуры в диапазоне 36...39 °С очень высокая:  $\pm 0,2$  °С. При понижении температуры на 0,2...0,3 °С ниже заданной включаются электронагреватели. При повышении температуры открывается электромагнитный клапан, подающий холодную воду в радиатор охлаждения.

Для автоматической стабилизации влажности воздуха применен регулятор, а для измерения относительной влажности при неизменной температуре — электроконтактный термометр. При понижении относительной влажности регулятор открывает электромагнитный клапан подачи воды в систему увлажнения.

При температуре воздуха в камере ниже 36,5 °С термоконтатор отключает регулятор влажности и включает аварийную сигнализацию. При температуре выше 38,3 °С термоконтатор отключает нагреватели, включает электромагнит устройства дополнительного охлаждения, сигнальную лампу и звонок. В схеме управления оборудованием инкубатора предусмотрено отключение всех цепей управления при открывании двери и размыкании контактов микровыключателя, а также блокировка механизма поворота лотков при открытых замках барабанов и разомкнутых контактах микропереключателей.

Перед загрузкой каждая камера инкубатора должна быть предварительно прогрета до 37,8 °С. Уставка регулятора температуры должна быть предварительно прогрета до 37,6 °С, а регулятора влажности — до 29 °С. Этот температурный режим не меняют до перекладки яиц на вывод. Температуру воздуха в камере инкубатора контролируют по шкале стрелочного индикатора.

Конструкция шкафа *универсального выводного инкубатора ИУВ-Ф-15* проще, чем предварительного. В нем отсутствует устройство поворота барабана, по-другому выполнено устройство увлажнения воздуха.

В промышленном птицеводстве достаточно широко применяют инкубатор «Универсал-55», предназначенный для инкубации яиц сельскохозяйственных птиц всех видов. Он состоит из двух шкафов. Каждая выводная камера рассчитана на три или шесть инкубационных и не имеет механизма поворота лотков. В остальном устройство инкубационных и выводных камер аналогично.

На рис. 3.9 изображена инкубационная камера с вентилятором 1, который обеспечивает выравнивание температуры по объему камеры и улучшает теплопередачу между воздухом и яйцами. Двумя электронагревателями 2 мощностью по 1 кВт управляют совместно в двух режимах: при полном напряжении сети и при половинном. Увлажнитель 7 имеет отдельный электромагнитный привод, а вода подается через управляемый клапан 6. Приточная 8 и вытяжная 5 заслонки воздухообмена имеют общий электромагнитный привод 4. Для поворота лотков предназначен механизм 3 с моторным электроприводом 9, имеющим два ограничительных конечных выключателя 10. Температура контролируется платиновым датчиком типа ТСП, влажность — мокрым контактным термометром.

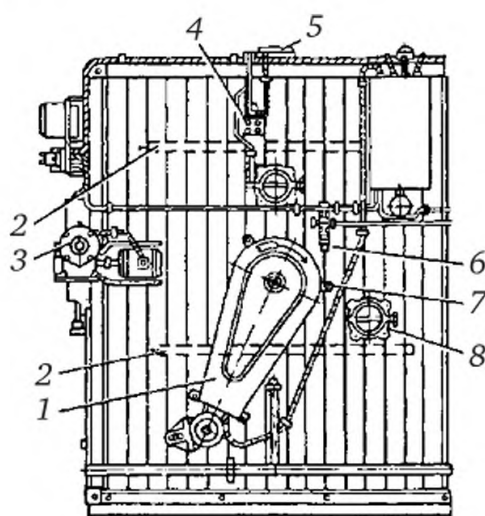


Рис. 3.9. Инкубационная камера:

1 — вентилятор; 2 — электронагреватели; 3 — механизм поворота лотков; 4 — электромагнитный привод; 5 — вытяжная заслонка; 6 — управляемый клапан; 7 — увлажнитель; 8 — приточная заслонка

Температурным режимом управляют при помощи трехпозиционного терморегулятора типа РТИ-35, поворотом лотков — при помощи реле времени, влажность регулируют контактным термометром. Автоматическое управление дублируется ручным. Каждый режим работы устройств и механизмов контролируется световой сигнализацией *HL1...HL4*.

Принципиальная электрическая схема управления инкубационной камерой показана на рис. 3.10. В автоматическом режиме при снижении температуры в камере терморегулятора *AL* (РТИ-3) посылает сигнал на открытие тиристора *VS*. Электрическое напряжение, 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 обеспечивает подачу на нагревательные элементы полного напряжения. 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 включится реле  $KV1$ , которое отключит промежуточное реле  $KV2$ . Контакты реле  $KV2$  отключают терморегулятор  $AL$ , включают соленоид охлаждения  $YA1$  и сигнализацию.

При снижении влажности воздуха (на 3 %) влагорегулятор  $A2$  включает соленоид  $YA2$  и вода подается 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  $KM1$  непосредственно при подаче напряжения на цепи управления и отключается только при открытии дверей конечным выключателем  $SQ$ .

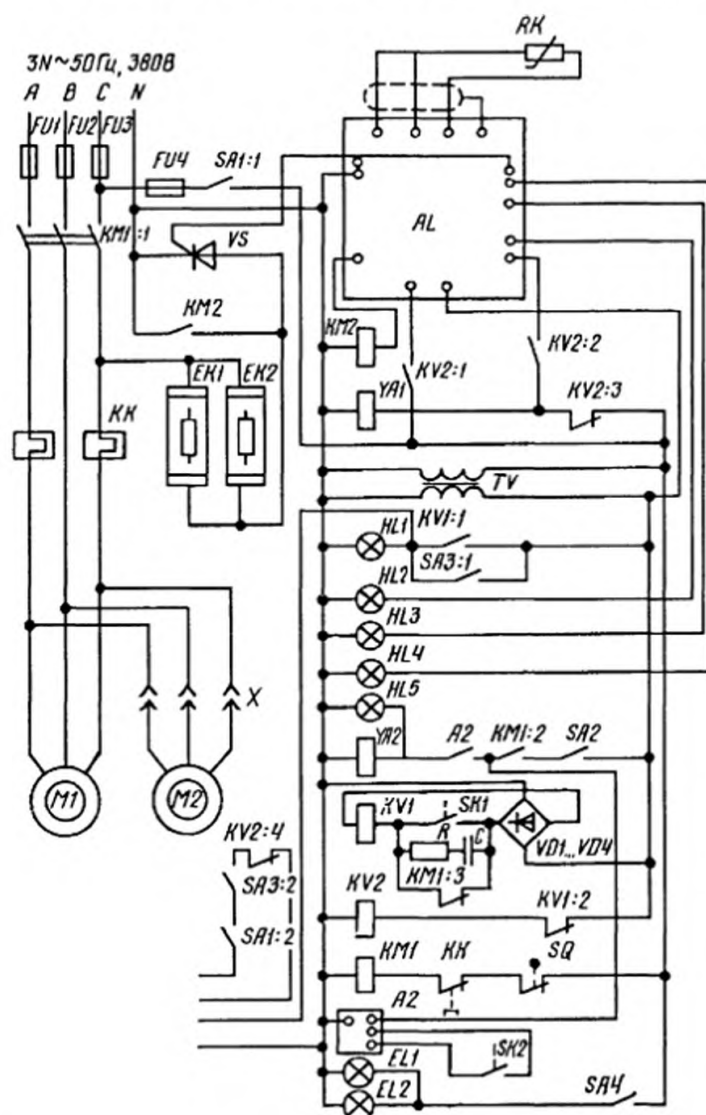


Рис. 3.10. Принципиальная электрическая схема устройства У-55 для управления инкубатором

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 обеспечивает челночный поворот вала на угол  $\pm 45^\circ$ .

Бурное развитие микроэлектроники и процессорной техники обусловило создание новых высоконадежных управляющих устройств для управления микроклиматом в инкубационных камерах. Несомненный интерес представляет устройство БМИ-Ф-15, выполненное на базе микропроцессорного комплекта КР1820. Функциональная схема устройства представлена на рис. 3.11.

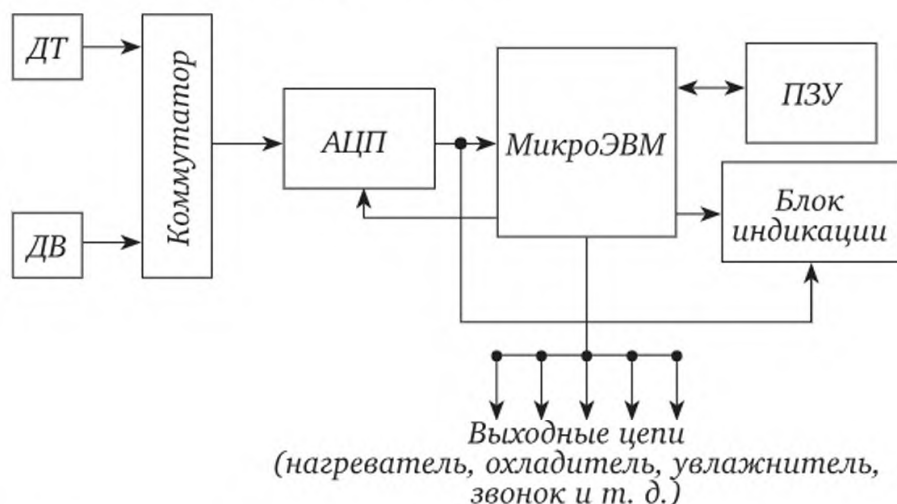


Рис. 3.11. Функциональная схема микропроцессорного устройства для инкубатора

Устройство БМИ-Ф-15 получает информацию о температурно-влажностном режиме от измерительных преобразователей температуры *ДТ* и относительной влажности *ДВ* воздуха. Соответствующие сигналы коммутируются, преобразуются в цифровой код (АЦП) и обрабатываются микроЭВМ в соответствии с информацией, хранящейся в ПЗУ. Цикл опроса датчиков длится 16 с.

При понижении температуры более чем на  $0,5^\circ\text{C}$  нагреватель включается на весь цикл, а подача воды блокируется. Если понижение температуры не столь значительно ( $0,1\ldots 0,5^\circ\text{C}$ ), то нагреватель тоже включается, но на время менее 16 с. Если температура в шкафу выше заданной, то включается охлаждение (тоже на определенное время), но если превышение температуры достигло  $0,5^\circ\text{C}$ , то охлаждение включается на все время цикла. При снижении относительной влажности воздуха менее чем на 5 % увлажнитель в камере инкубатора включается на время не более 5 с. Ровно на 5 с увлажнитель включается, если в течение 32 мин зафиксировано снижение влажности более чем на 5 %.

Описанный алгоритм автоматически вводится в работу только спустя 5 ч с момента пуска инкубатора. В случае отключения вентилятора команды на включение нагревателей, охладителей и увлажнителей блокируются.

## Тема 3.3

# АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ ПТИЧНИКОВ И ОБЛУЧЕНИЕМ ПТИЦ

### Роль светового режима в жизни птиц и методы его обеспечения

Один из важных параметров микроклимата в птичнике — освещенность. Режимы освещенности оказывают заметное стимулирующее влияние на развитие и продуктивность несушек всех видов. Примечательно, что для птиц важна не только фиксированная продолжительность светового дня, но и его динамика — постепенное увеличение или постепенное уменьшение.

Для обеспечения требуемой освещенности птичники строят безоконными и оборудуют искусственным электрическим освещением. Управление освещением, как правило, осуществляется разомкнутым способом, с помощью специальных программных устройств. Целесообразный световой режим в птичнике приведен в табл. 3.1.

**3.1. Рекомендуемая продолжительность светового дня  
для птиц разного возраста**

Молодняк		Несушки		Молодняк		Несушки	
возраст, недели	продолжительность светового дня, ч	возраст, недели	продолжительность светового дня, ч	возраст, недели	продолжительность светового дня, ч	возраст, недели	продолжительность светового дня, ч
1	15	27	9,5	21	6,5	48	15
2	12	28	10	22	7,0	52	16
3	9	32	11	23	7,5	56	17
4	6	36	12	24	8,0	60	19
5...19	6	40	13	25	8,5	64	21
20	6	44	14	26	9,0	68	23

## Автоматические устройства для управления режимами освещения и облучения птиц

Для управления режимом освещения (светового дня) в птичниках используют двухпрограммные устройства суточного цикла типа 2РВМ. При использовании этого устройства программа получается ступенчатой (через 15 минут), а переход на новую ступень выполняется вручную. Указанные недостатки ограничивают применение 2РВМ для управления освещением.

Специальные программные устройства типов УПУС-1 и ПРУС-1 реализуют жестко заданную 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. 3.12, а) имеет часовой механизм 1, программный барабан 3 с ходовым винтом 4 и втулкой 5. Через шестерни 2 часовой механизм вращает программный барабан с частотой 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. Перекатываясь по барабану, контактный ролик попадает на бумажную наклейку, электрическая цепь разрывается и с выдержкой 15 с, задаваемой RS-цепочкой, отключается реле *KV1*, контакты которого отключают освещение с помощью магнитного пускателя *КМ*. Когда ролик попадает на токопроводящую поверхность, с выдержкой времени 3 с, включается реле *KV1*, подающее питание на катушку магнитного пускателя *КМ* включения освещения.

Программное устройство УПУС-2 оборудовано фотореле для согласования естественного освещения с программным 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 отключение освещенности, регулируемое либо изменением числа ламп, либо введением дополнительного сопротивления.

На рис. 3.12, б приведена принципиальная электрическая схема устройства ПРУС-1 для управления освещением с имитацией рассвета и заката. Срабатывание кулачков микропереключателей *КТ1* и *КТ2* этого устройства несколько сдвинуто во времени. *КТ1* срабатывает первым и через реле *KV1* включает цепь питания первой ступени освещения пускателем *КМ1*. Через 2...5 мин срабатывают контакты микропереключателя *КТ2* в цепи реле *KV2*, которое магнитным пускателем *КМ2* включает вторую ступень освещения. Отключение происходит в обратной последовательности.

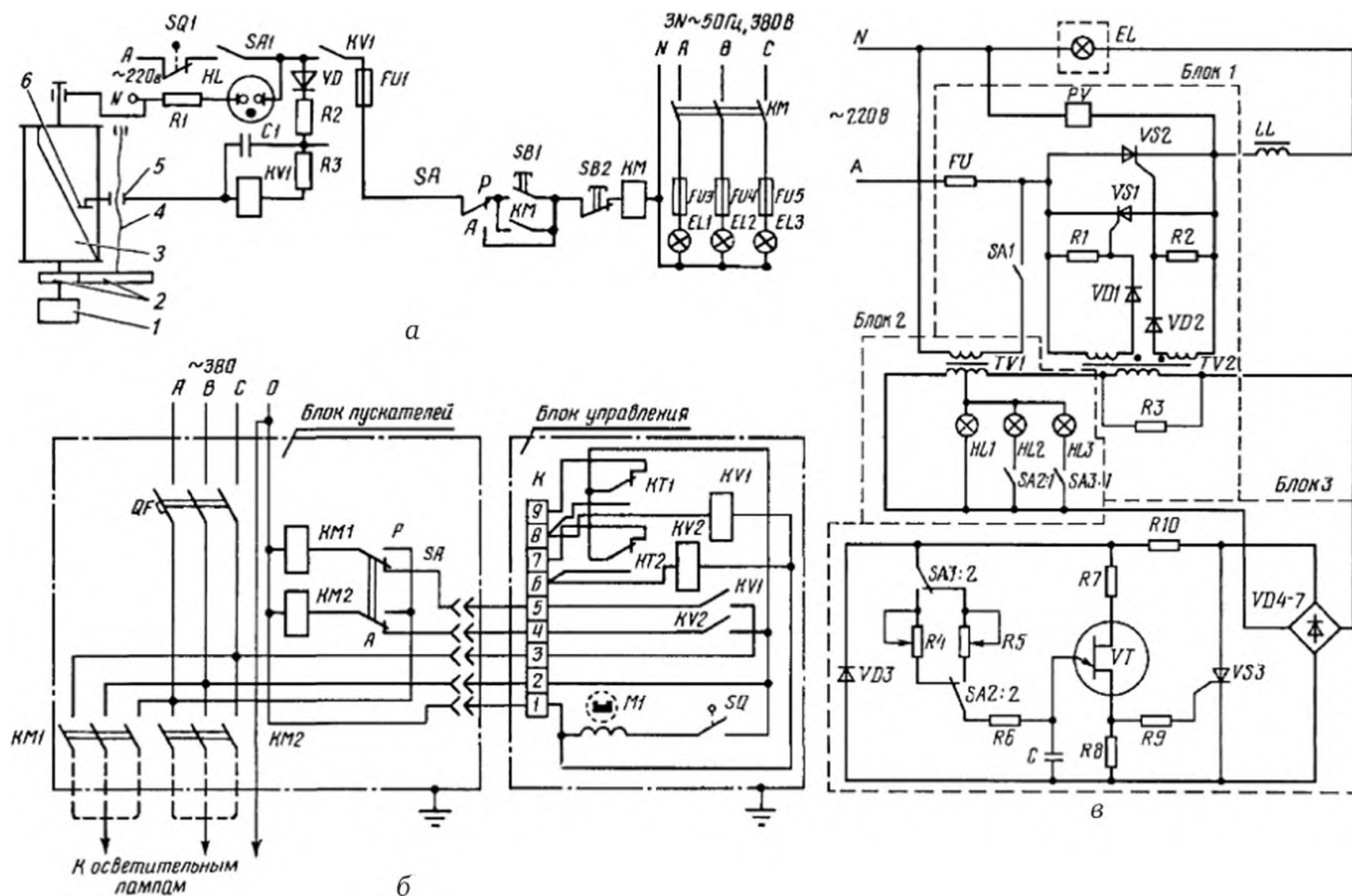


Рис. 3.12. Принципиальные электрические схемы устройств для управления освещением:

а — УПУС-1: 1 — часовой механизм; 2 — зубчатая передача; 3 — программный барабан; 4 — ходовой винт; 5 — втулка; 6 — контактный ролик; б — ПРУС-1; в — ТИРОС-1



В птичниках для выращивания молодняка, особенно мясного поголовья, практикуется снижение интенсивности освещения в промежутках между кормлениями. Кроме экономии энергии, это дает положительный психологический эффект — уменьшается травмирование птиц, повышается прирост их массы.

**Автоматическое устройство на бесконтактных элементах ТИРОС-1** (рис. 3.12, в) применяют для управления интенсивностью электроосвещения. Напряжение на осветительные приборы поступает из сети (А—N) через блок 1, в котором происходит его коммутация тиристорами VS1 и VS2. Блок 3 создает выдержки времени снижения интенсивности освещения, которые настраивают резисторами R4, R5 и переключателями SA2 и SA3.

Устройство ТИРОС-1 применяют дополнительно к устройствам автоматического управления продолжительностью светового дня.

Помимо перечисленных установок для управления световым режимом в птичниках получила распространение **автоматизированная система «Каштан»**, построенная на базе микропроцессорного комплекса. Подсистема «Каштан-С» рассчитана на управление световым режимом в 50 птичниках. Контроллер подсистемы реализует две программы, которые заносят в постоянную память ПЗУ объемом 2 кБ. Оператор с клавиатуры вводит в соответствующий сектор оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) начальную информацию по каждому птичнику: номер стандартного возрастного интервала в технологическом цикле, число суток и начальное приращение (убывание) светового дня в соответствии со стандартным возрастным интервалом. Вся остальная информация для основной породы кур хранится в ПЗУ, а для других пород может быть введена в ОЗУ.

В соответствующие моменты времени микропроцессорная система через коммутатор параллельного интерфейса выдает номер контролируемого объекта, коды команды управления. По этим сигналам в модулях устройств связи с объектом вырабатываются команды включения — отключения систем освещения в птичниках.

## Тема 3.4

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УБОРКИ ПОМЕТА

### Технологические схемы установок для удаления помета

Режим уборки помета зависит от способа содержания птиц. При клеточном содержании помет убирают ежедневно, при напольном — один раз в год. Ежедневную уборку помета осуществляют скребковым транспортером, который перемещается в противоположных направлениях по пометному коробу (рис. 3.13). При использовании скребковых механизмов типа МПС-1М в сочетании с транспортерами ТСП-3Б производительность уборки за один ход составляет 400 кг. При этом скорость движения скребка 0,17 м/с, производительность ТСП-3Б — 3 т/ч.

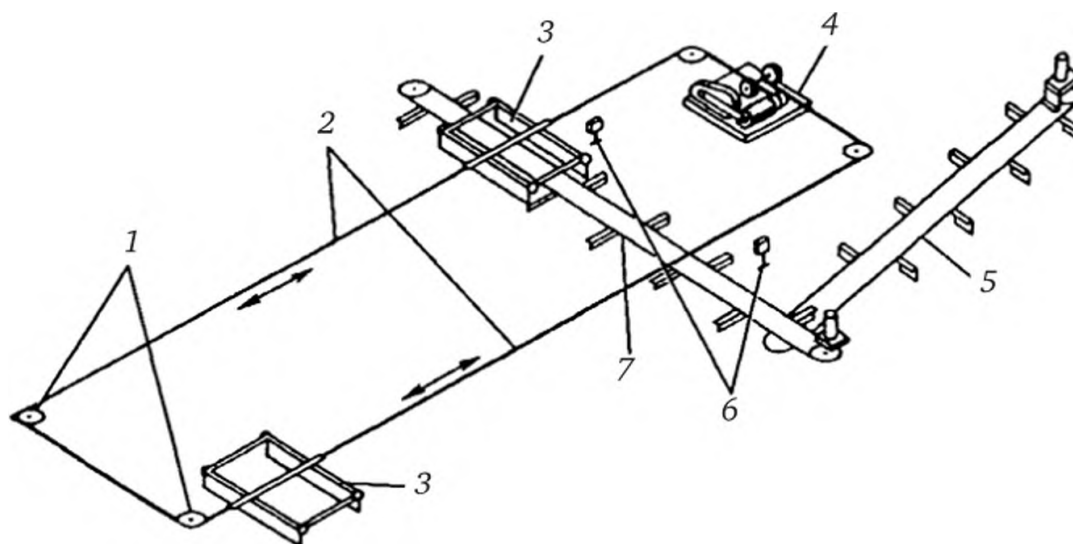


Рис. 3.13. Установка для уборки помета в птичниках:

1 — поворотные устройства; 2 — трос; 3 — скребки; 4 — приводная станция;  
5 — наклонный транспортер; 6 — концевые выключатели; 7 — поперечный транспортер

Для управления уборкой помета в автоматическом режиме применяют суточное программное реле, а в ручном режиме — кнопки SB1, SB2 и SB3 (рис. 3.14). Движение скребков в противоположных направлениях обеспечивают конечные выключатели SQ1 и SQ2.



## Тема 3.5

# АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРА ЯИЦ И УБОЯ ПТИЦЫ

### Технология сбора яиц

Сбор яиц в птичниках обычно механизирован. Вдоль клеток, в которых находятся куры, расположены транспортеры линии сбора яиц. Яйца выкатываются из клеток по наклонной решетке и попадают на прорезиненную ленту, которой они доставляются на накопительный стол. Так как куры несутся в течение всего дня, яйца необходимо убирать в несколько приемов. Механизмы сбора яиц следует включать, когда число яиц на транспортере не превышает максимально допустимого.

При централизованном сборе яиц с многоярусных клеток вместо накопительного стола устанавливают механизм вывода яиц на один уровень. В каскадных клеточных батареях этот механизм устанавливают наклонно.

Принципиальная электрическая схема управления сбором яиц с многоярусных клеток в птичниках (рис. 3.15) предусматривает работу в ручном, наладочном и автоматическом режимах. Режим выбирают с помощью многопозиционного переключателя *SA1*. Тумблерные переключатели *SA2...SA7* используют для дистанционного включения отдельных операций при наладочном режиме, а *SA8* — при ручном управлении.

При включении электродвигателя *M3* поперечного транспортера магнитным пускателем *KM3* срабатывает реле *KV9*, которое своими контактами *KV9:1* и *KV9:2* подготавливает включение электродвигателей *M1* продольных транспортеров первого яруса и *M2* привода щеток очистки лент. Аналогично на втором ярусе двигатель *M4* поперечного транспортера через реле *KV7* заблокирован с электроприводом *M6* продольного транспортера, а через реле *KV10* — с электроприводом *M5* очистки щеток.

### Автоматический учет и сортировка яиц

Для контроля за продуктивностью птиц используют различные счетчики.



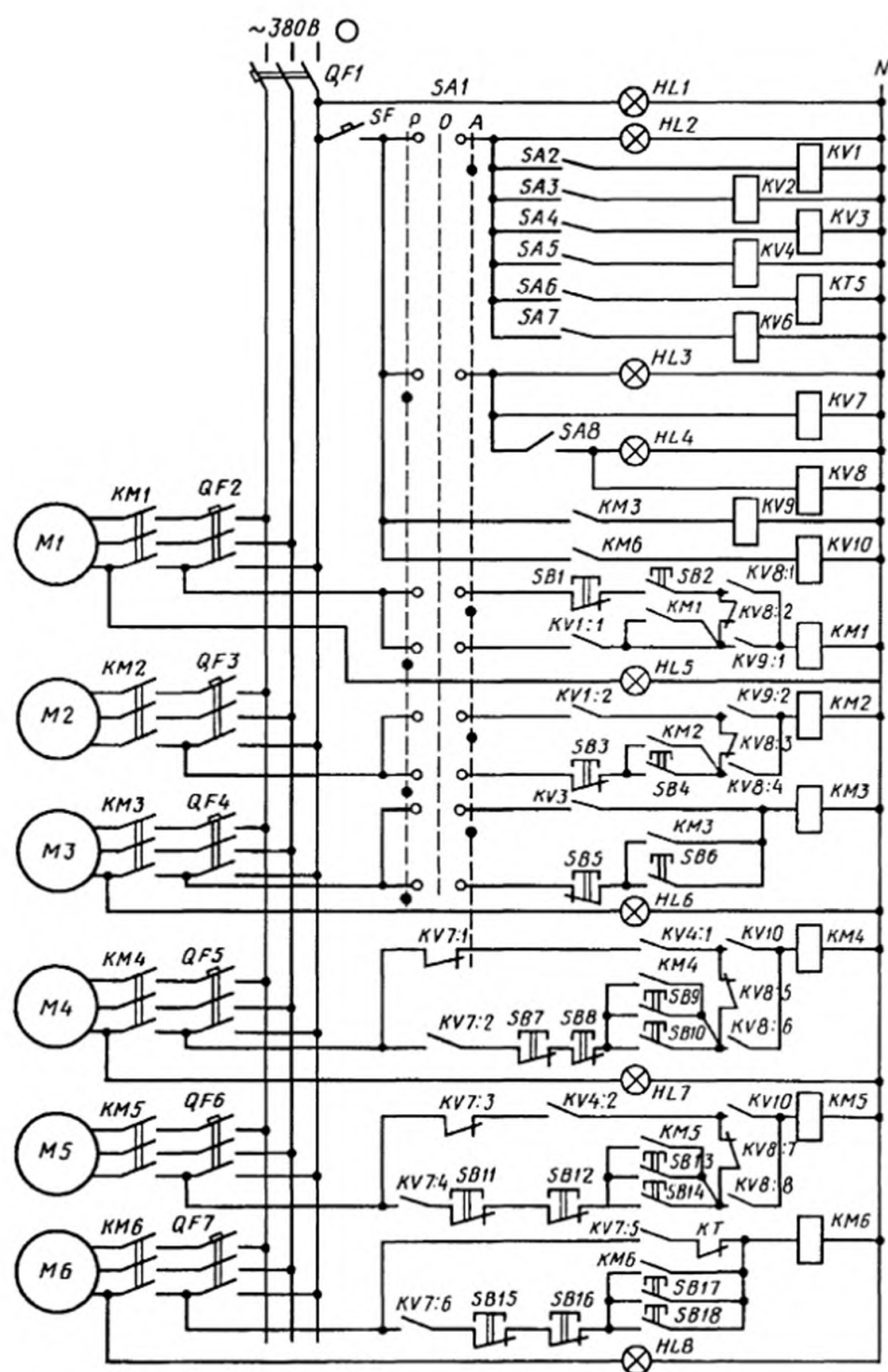


Рис. 3.15. Принципиальная электрическая схема управления сбором яиц в птичнике

Автоматическое взвешивающее устройство представляет собой рычажные весы. При совпадении массы яйца с настройкой весов специальный механизм направляет его в соответствующий приемник. Яйца с внутренними повреждениями обычно сортируют вручную с помощью овоскопа. Эта операция низкопроизводительна и требует высокого внимания оператора. Производительность сортировки может быть существенно повышена, если удаление дефектных яиц выполнять

автоматически. Оператор «метит» дефектное яйцо, подсвеченное снизу и проходящее мимо него в ячейке транспортера (рис. 3.16). Для этого он использует специальный жезл, в наконечник которого вмонтирован пьезокристалл, вырабатывающий электрический сигнал при касании яйца. Сигнал воспринимается группой чувствительных элементов матрицы, укрепленной под конвейерной лентой. Размеры матрицы соответствуют расположению яиц в гнездах конвейерной ленты. Поступившая информация анализируется автоматическим устройством, в результате чего определяются точные координаты дефектного яйца в соответствии с его положением на транспортере. Эти координаты автоматически запоминаются и в дальнейшем используются для удаления дефектных яиц с помощью специального механизма. Прошедшие контроль яйца сортируют по массе и укладывают в гнезда прокладок для дальнейшего транспортирования.

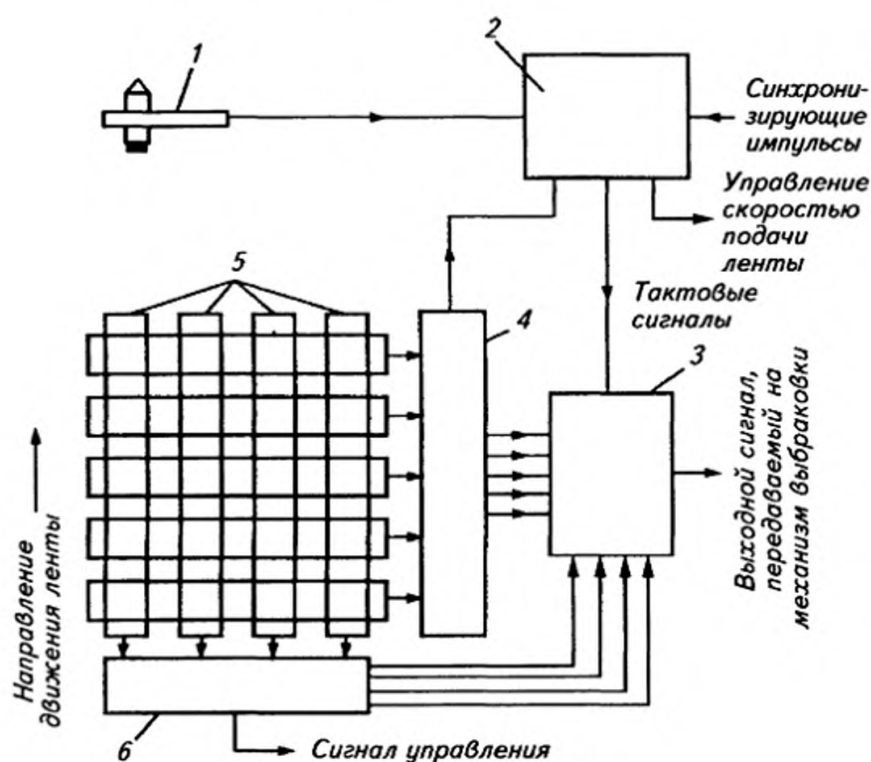


Рис. 3.16. Схема установки для полуавтоматической сортировки яиц:

1 — жезл; 2 — схема управления; 3 — регистровая память;  
4 — дешифраторы поперечных рядов; 5 — матрицы; 6 — дешифраторы продольных рядов

Укладку яиц в гофротару, как наиболее трудоемкую из перечисленных операций, можно автоматизировать. Яйцесборный транспортер подает яйца на роликовый ориентатор, поворачивающий их в одну сторону. Ориентированные таким образом яйца поступают на ячейистый транспортер. После заполнения пяти его ячеек выдвигается заслонка механизма укладки яиц, которая направляет их в тару острым концом вниз. Гофротара смещается на один шаг, и вслед за этим укладывается

следующий ряд. Заполненная гофротара автоматически укладывается в стопу.

Известны системы, автоматически с высокой точностью обнаруживающие такие внутренние дефекты яиц, как кровяные включения. В этих системах яйца фиксируются на движущейся ленте и просвечиваются снизу сильным световым потоком. Прошедший через яйца световой поток измеряется и подвергается оптической фильтрации с целью выделения двух узких и рядом расположенных полос частот. Разность в интенсивностях этих спектральных составляющих свидетельствует о наличии кровяных включений. Системы, действующие на этом принципе, не реагируют на разницу в цвете скорлупы.

### **Автоматизированные технологические линии убоя птиц**

Убой птиц и обработку тушек до товарных кондиций производят в убойных цехах, оборудованных полуавтоматическими линиями. Птиц, предназначенных для убоя, доставляют из птичников в клетках и подвешивают за ноги на цепь подвешного конвейера. Этот конвейер медленно (со скоростью 0,08 м/с) перемещается к месту убоя и обескровливания. После тепловой обработки паром в течение 2 мин тушки проходят поочередно ряд машин для снятия перьев. Следующие этапы обработки тушек — мойка в теплой воде, воскование и предварительное охлаждение. Затем тушки снимают с конвейера, упаковывают в ящики и отправляют в камеру охлаждения.

Убойную линию включают с центрального пульта управления. Последовательность включения в работу отдельных машин осуществляется многоканальным устройством. Из машин обработки тушек пух и перья вместе с водой поступают в специальный цех, где центрифугируются, а затем загружаются в сушильные камеры. После сушки перья упаковывают для реализации. Отходы пуха и перьев, а также непищевые отходы потрошения направляют в цех утилизации, где из них приготавливают кормовые добавки — мясную и мясокостную муку. Переработку перьевых отходов проводят по специальной технологии в две фазы: первая — гидролиз и стерилизация сырья, вторая — сушка и упаковка.

Боевские отходы предварительно варят в специальных котлах при постоянном перемешивании. Сначала в гидравлическом прессе отжимают жир из кишок и других боевских отходов, а оставшуюся после выжимания массу измельчают в дробилке и используют в качестве добавок комбикорма. Влажность готового продукта должна быть 8...10 %.

## Тема 3.6

# ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПТИЦЕВОДСТВА

Оборудование птицеводческих комплексов транспортируют в открытых железнодорожных вагонах или автотранспортом, поэтому составные части его должны быть упакованы в плотные решетчатые ящики.

При подготовке оборудования к хранению после обкатки или непродолжительной эксплуатации все детали необходимо очистить от пыли и старой смазки, поврежденную краску восстановить. Хранить электрооборудование следует в сухих помещениях при температуре воздуха 0...35°C, относительной влажности не более 80 %. Вещества, вызывающие коррозию, должны отсутствовать. Перед длительным перерывом в эксплуатации необходимо отсоединить от сети электрооборудование, снять электродвигатели и редукторы, причем в последних надо заменить масло, снять шкафы управления, конечные выключатели, блоки выключателей цепей, клеммную коробку, приводные цепи, ремни, очистить и положить их на хранение в сухое помещение, слить воду из системы водоснабжения, очистить и промыть баки, кормушки, бункера, поилки, тщательно вымыть и продезинфицировать клеточные батареи.

В процессе эксплуатации оборудования и систем поения и кормораздачи, сбора яиц и уборки помета предусмотрены следующие виды технического обслуживания: ежедневное (ЕТО), периодические ТО-1 и ТО-2.

ТО-1 или ЕТО проводят по возможности один раз в месяц и обязательно после каждой замены партии птицы. ТО-2 выполняют один раз в год в течение месяца общей профилактики птичника.

Рассмотрим основные принципы проверки и регулирования оборудования.

*Система поения.* Первый пуск воды в водопроводные трубы nippleных и микрокашечных поилок и их промывка осуществляются из водопроводной сети, минуя бачок. Для этого надо перекрыть вентиль на трубопроводе и снять заглушку. После промывки системы одеть заглушку и пустить воду в водопроводные трубы только через уравнивательные бачки, перекрыв соответствующие краны. Для вывода воз-



духа из труб необходимо нажать шток последней ниппельной поилки концевой трубы и удерживать его в таком положении до прекращения выделения пузырьков воздуха. В ниппельных поилках может возникнуть течь при попадании посторонних частиц под пробку штока или из-за падения давления воды в системе «бачок — водопроводные трубы» вследствие уменьшения высоты перепада водяного столба при поднятии труб по мере роста птицы. Поэтому необходимо следить, чтобы бачки были закрыты, а перед пуском в эксплуатацию проверять качество воды. Следует помнить, что надежное перекрытие штока корпуса ниппельной поилки пробкой под внутренним давлением воды в водопроводной системе достигается при сохранении разности уровней воды в уравнительном бачке и в водопроводных трубах.

В первые дни выращивания птицы ниппельную поилку следует устанавливать на расстоянии 100 мм от подножной решетки. Последующая регулировка заключается в поднятии решетки-стабилизатора либо наматывании троса (лесок) на блок. Один раз в 8 дней необходимо очищать фильтры в системе баков, следя при этом, чтобы осадок и грязь не попали в водопроводные трубы.

Апробирование системы поения проводят в следующем порядке. Открывают краны, заполняя поилку водой до уровня 25...30 мм от дна. Перелив воды через край и течь поилок в стыках не допускаются. Избыток воды должен сливаться через трубку, вставленную через пробку концевой поилки. Большая неравномерность уровня воды в желобках и микрошашечках свидетельствует о неудовлетворительной установке батареи, что исправляют регулировочными винтами. Очистку желобковых поилок рекомендуется проводить два раза в сутки (утром и вечером), а микрошашечных — один раз в две недели.

*Система кормораздачи.* Перед вводом в эксплуатацию шайбовых раздатчиков необходимо закрыть приспособление для дозировки корма в бункере-дозаторе и проверить наличие в нем инородных тел (каменей, винтов, бумаги и т. д.). После заполнения бункера-дозатора следует включить шайбовый раздатчик и отрегулировать степень заполнения межшайбового пространства: чуть открыть заслонку, подождать, проверить степень заполнения на смотровом участке. Затем повторять эту операцию до тех пор, пока не заполнится 70...80 % межшайбового пространства. Больше заполнять транспортер не следует, так как это приведет к срезанию предохранительной шпонки или срыву (изгибу) шайб.

Натяжение цепи шайбового транспортера регулируют с помощью стяжного винта так, чтобы прогиб между приводным колесом и натяжным роликом (при нажатии пальцем) не превышал 30 мм.

В первые две недели эксплуатации необходимо ежедневно проверять натяжение цепи, а затем — раз в неделю. При большом натяжении цепи ее необходимо укоротить и состыковать с помощью соединительного звена, но при этом обязательно сохранить шаг цепи, так как в противном случае шайбы выйдут из углубления приводного колеса.



При эксплуатации цепных раздатчиков необходимо раз в два месяца проверять натяжение цепи. Цепь считают правильно натянутой, если ее звенья на выходе из бункера-дозатора можно сблизить без особых усилий на 10 мм. Тугое натяжение приводит к интенсивному изнашиванию цепи и поворотных роликов, а слабое — к задеванию цепи о корпус в поворотных углах и обрывам.

Для регулирования уровня корма в кормушках (дозы) у бункера-дозатора должны быть резиновые заслонки. Нормальным положением заслонки следует считать такое, при котором цепь покрыта комбикормом на 8...12 мм. Чтобы исключить склеивание корма при раздаче, необходимо установить предохранительные щитки. Для улучшения эксплуатационных характеристик бункера-дозатора необходимо добиться того, чтобы вода не попадала в комбикорм и размер гранул минеральных кормов не превышал 5 мм.

*Система уборки помета.* Проверяют работу скребков у новых многоярусных батарей в течение двух полных циклов движения. При обратном ходе скребка ножи должны подниматься над настилом, а при рабочем ходе хорошо прилегать к настилу плоскостью ножа. Это достигается регулировкой лезвия.

Одновременно с этим проверяют срабатывание конечных выключателей.

Исходные положения скребков регулируют, изменяя места их крепления к тяговому канату (тросу).

В первые месяцы эксплуатации трос растягивается под действием нагрузки, поэтому его следует подтянуть с помощью натяжных гаек держателей направляющих роликов (одноярусные батареи) или с помощью натяжных винтов блоков (многоярусные батареи). Укорачивают трос только в случае невозможности его подтяжки.

Ежедневно необходимо очищать лезвия ножей, шарниры подвески, упоры скребков от помета, пуха и перьев, проверять отсутствие течи масла из сливной горловины мотор-редуктора.

Один раз в неделю необходимо смачивать настил водой. Один раз в месяц проверяют надежность крепления скребков к тросу и надежность соединения его концов зажимом. Трос и натяжной винт один раз в месяц тщательно смазывают солидолом УС-2, а цепные передачи — маслом АК-15. Один раз в полгода меняют масло в мотор-редукторе. Подшипники обводных блоков, колес, тележек, блоков барабанов заполняют консистентной смазкой перед установкой и проверяют один раз в год.

*Электрооборудование.* После проверки соответствия монтажа электрооборудования проектно-технической документации, требованиям Правил устройства электроустановок и техническим условиям, проверки качества выполненных работ, испытания изоляции распределительной сети, силовых проводок, проводок управления и электрооборудования можно включать электрооборудование. Первый раз его включают только с разрешения лиц, ответственных за состояние механического оборудования.

Подготовка к включению заключается в проведении работ по расконсервации электрооборудования и аппаратуры, в проверке общего состояния электрооборудования, проводок, вращающихся частей приводов, фазировки цепей, уставок, автоматических выключателей и плавких вставок предохранителей, соответствия уставок реле времени выбранному технологическому режиму, схем управления на функционирование без включения электродвигателей.

При расконсервации оборудования необходимо снять с его поверхности защитную консервирующую смазку. Например, рабочие поверхности якоря и сердечника магнитных пускателей защищены от коррозии консервирующей смазкой, и если ее не удалить, то она загустеет, и якоря магнитных пускателей будут залипать, что может привести к аварии.

Измерение сопротивления изоляции и испытание повышенным напряжением следует проводить согласно Правилам устройства и эксплуатации. Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм.

Защита от токов короткого замыкания и перегрузок должна быть отрегулирована по номинальным токам электродвигателей. В автоматических выключателях, осуществляющих подгрупповую защиту от токов короткого замыкания, уставка тепловой защиты должна быть максимальной.

Функционирование схемы управления проверяют, отключив автоматические выключатели. Подавать напряжение рубильником силового шкафа можно только в том случае, когда все органы управления отключены. Конечные выключатели, воздействующие на элементы механического оборудования, проверяют вручную.

Первый раз электродвигатели приводов включают с ненагруженными механизмами. Продолжительность работы на холостом ходу 1 ч. При отсутствии отклонений в режиме холостого хода проверяют работу двигателей под нагрузкой.

Длительность эксплуатации и надежность электрооборудования зависят от квалифицированного обслуживания.

Систематическое обслуживание электрооборудования заключается в проведении внешних осмотров, во время которых проверяют сохранность покрытий, состояние уплотнений, креплений, устраняют неполадки в работе элементов.

При периодических ТО очищают электрооборудование, проверяют состояние изоляции электрооборудования и электропроводок; состояние защитного заземления; соответствие уставок реле времени выбранному технологическому режиму; состояние магнитной и контактной систем магнитных пускателей, промежуточных реле, реле времени и контактных соединений.

Все контактные соединения должны быть плотными и чистыми. При ослаблении или окислении контактов происходит их нагрев. Пыль и грязь с контактов необходимо удалять щеткой, смоченной в бензине или спирте. Зачищать поверхность контактов напильником не реко-

мендуется, им можно счищать лишь бугорки и брызги металла, образовавшиеся при отключении.

При регулировке магнитной системы пускателей нужно иметь в виду, что при напряжении на втягивающей катушке 85 % номинала возможен умеренный шум, характерный для электромагнитов переменного тока. При напряжении 70 % номинала, а также при неплотном прилегании якоря к сердечнику или обрыве короткозамкнутых колец магнитной системы возможно сильное гудение.

При эксплуатации электрооборудования после ремонта необходимо проверять функционирование схемы управления, а также систематически контролировать соответствие электропроводок требованиям правил эксплуатации.

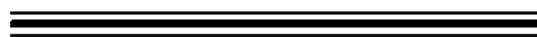
Периодичность систематического обслуживания и профилактического ремонта устанавливает техническая служба предприятия в зависимости от производственных условий, инструкций по монтажу и эксплуатации на отдельные элементы электрооборудования, но не реже одного раза в год.

*Обслуживание средств автоматики* предусматривает систематическое наполнение питателя психрометра дистиллированной водой и своевременную замену его фитиля; проверку и коррекцию хода реле времени механизма поворота лотков; очистку оборудования от грязи и пыли; проверку состояния контактов релейно-контактной аппаратуры. Периодичность технического обслуживания электрооборудования инкубатора «Кавказ» составляет 2 дня, а его трудоемкость — 180 ч в год.

# **Раздел 4**

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ**

### **КОРМОПРОИЗВОДСТВА**





## **Тема 4.1**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ТРАВЯНОЙ МУКИ**

### **Технологические основы автоматизации процесса приготовления травяной муки**

Особое место в рационе питания животных отводится витаминной травяной муке. Травяная мука — продукт механической и тепловой обработки зеленой массы, обеспечивающей сохранность 95 % питательных веществ, содержащихся в растениях. Влажность травяной муки согласно стандарту должна составлять 8...12 %. При этом питательность 1 кг муки из бобовых трав равна 0,7...0,8 корм. ед., а усвояемость питательных веществ достигает 70 %. К сожалению высокотемпературная сушка зеленых кормов связана с большими энергетическими затратами (расход топлива в зависимости от начальной влажности зерна составляет 120...480 кг на 1 т продукции), а качество травяной муки в определяющей степени зависит от соблюдения технологического регламента. В связи с этим надежная и эффективная эксплуатация агрегатов для приготовления витаминной травяной муки возможна только в автоматическом режиме.

Для приготовления травяной муки промышленность выпускает сушильные агрегаты АВМ-0,65Р, АВМ-1,5Р, АВМ-1,5Б и др., работающие на жидком или газообразном топливе (в обозначение добавляют соответственно букву Ж или Г).

### **Технологическая и электрическая схемы агрегата для приготовления травяной муки**

Наиболее высокой степенью автоматизации характеризуется агрегат АВМ-1,5РЖ, технологическая схема которого показана на рис. 4.1. 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, засасываются вентилято-

ром 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 твердые включения (камни, металлические предметы) в камнеуловителе 16.

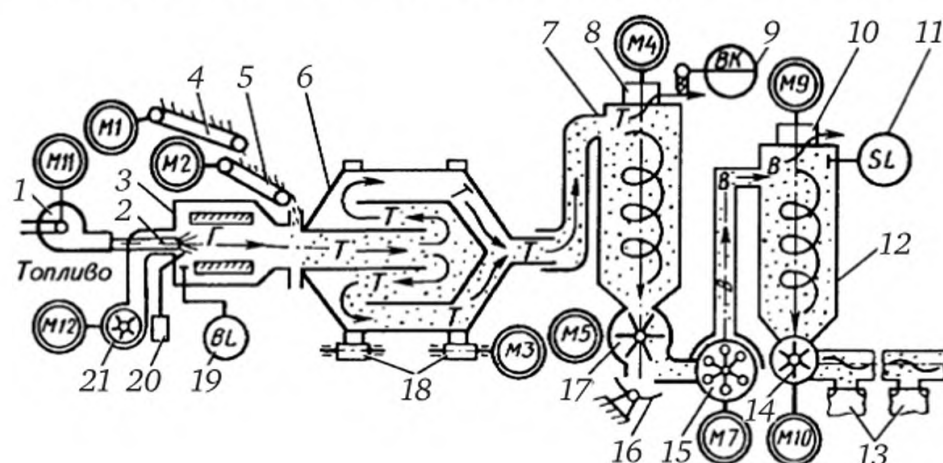


Рис. 4.1. Технологическая схема АВМ-1,5:

- 1 — насос; 2 — камера газификации; 3 — топка; 4, 5 — конвейерные транспортеры; 6 — сушильный барабан; 7 — циклон; 8, 10 — вентиляторы; 9 — термодатчик; 11 — датчик уровня; 12 — циклон-охладитель; 13 — выгрузные люки; 14 — шнек; 15 — дробилка; 16 — камнеуловитель; 17 — дозатор; 18 — ролики; 19 — фотодатчик; 20 — трансформатор зажигания; 21 — вентилятор

Дробилка превращает высушенную массу в муку, которая вентилятором 10 засасывается в циклон-охладитель 12. Из циклона через дозатор и шнек 14 мука направляется к выгрузным люкам 13, у которых прикреплены мешки. Наличие пламени контролирует фотодатчик 19, температуру — термодатчик 9, предельный уровень муки в циклоне-охладителе — датчик уровня 11. Пуск и останов АВМ происходит в следующем порядке.

Переключатель SA (рис. 4.2) вначале подает звуковой сигнал НА, а затем включают реле КВ1. Кнопками «Пуск» SB3...SB19 поочередно включают электродвигатели установок в последовательности, обратной технологическому потоку: двигатель М10 шнека дозатора 14, двигатель М9 вентилятора циклона-охладителя 12, двигатели М7 дробилок 15, двигатели М5 дозаторов 17 циклонов сухой массы, двигатель М4 вентилятора 8, двигатель МЗ сушильного барабана, двигатель М12 вен-

тилятора 21 топки. Чтобы зажечь в топке факел, необходимо вручную открыть вентиль на баллоне со сжиженным газом и кнопкой SB21 включить 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 оператор открывает кран топлива, в результате чего зажигается 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.

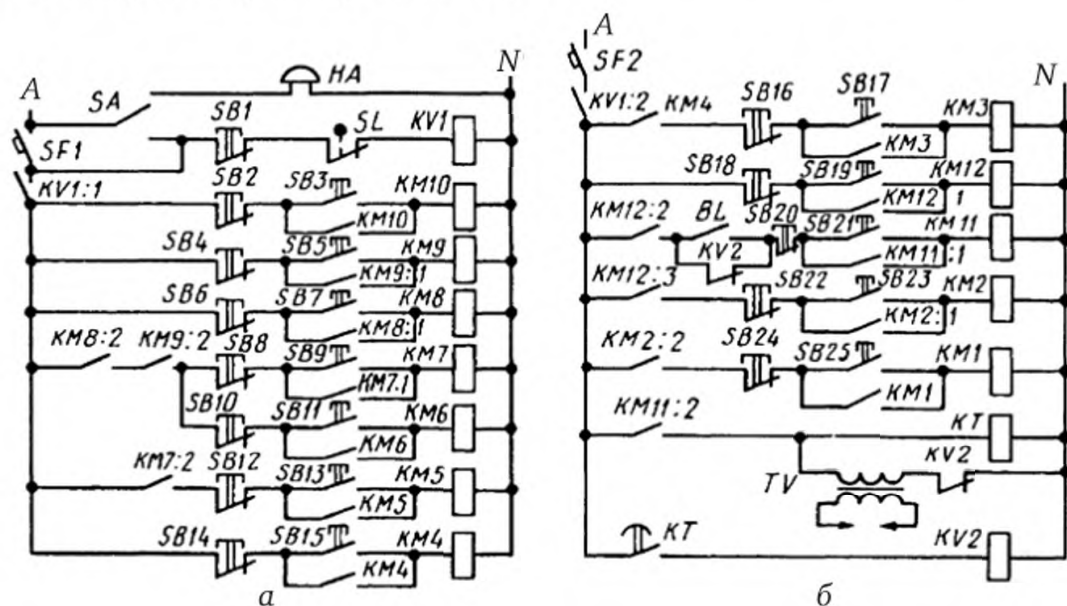


Рис. 4.2. Принципиальные электрические схемы управления механизмами подачи сырья (а) и процессом сушки (б) в агрегате ABM-1,5

При успешном розжиге через некоторое время, когда топка прогреется, 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. 4.3), 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 сни-

жается до минимального значения, при котором контакты термодатчика *BK* возвращаются в исходное положение и при помощи реле *KV1* отключают электромагнит *YA* через реле *KV2*. 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  $75^{\circ}\text{C}$  при помощи контактного термодатчика *SK*, управляющего электромагнитным пускателем *KM* электронагревателя *ЕК*. Давление топлива перед форсункой контролируется манометром *P*. Схемы управления имеют световую сигнализацию о работе всех механизмов и общую аварийную звуковую сигнализацию.

Схема управления агрегатами типа АВМ, работающими на газе, выполняется аналогично, но с учетом особенностей розжига и контроля факела теплогенератора, сжигающего топливо этого вида, а также наличия устройства связи между количеством подаваемого топлива и частотой вращения регулируемого электропривода конвейера.

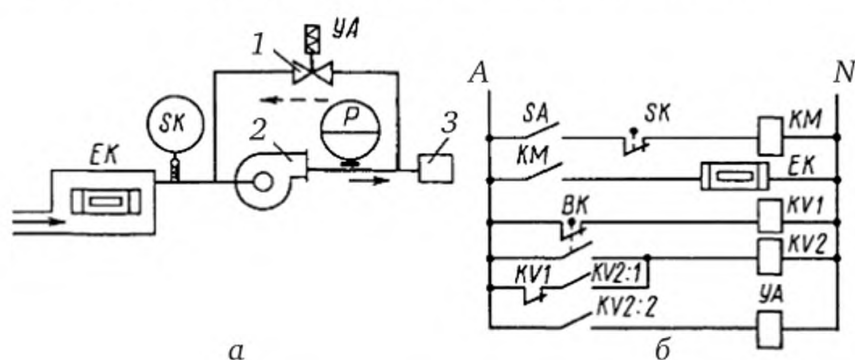


Рис. 4.3. Технологическая (а) и принципиальная (б) схемы управления температурой топлива и теплоносителя:

1 — вентиль; 2 — насос; 3 — форсунка



## **Тема 4.2**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ ГРАНУЛИРОВАНИЯ И БРИКЕТИРОВАНИЯ КОРМОВ**

### **Технологические основы автоматизации гранулирования и брикетирования кормов**

Гранулирование травяной муки и брикетирование кормов обеспечивают большую сохранность питательных веществ в зеленых кормах искусственной сушки, а также уменьшают затраты труда и потери корма при его хранении, транспортировании и раздаче.

Гранулированию подлежит витаминная мука, брикетированию — высушенная травяная резка. Полнорационный корм в гранулированном виде должен содержать весь комплекс питательных веществ, необходимых животным. Вырабатываются гранулы на пресс-грануляторах. Размер гранул находится в пределах 1...10 мм и, так же, как и состав, зависит от вида и возрастной группы животных.

Гранулированный комбикорм в основном готовят на комбикормовых заводах, а непосредственно в хозяйствах — травяную муку.

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 (мелассы, жиров) 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 0,8...10 т/ч и оборудование для производства амидно-концентратных добавок АКД (75 % комбикорма, 20 % карбамида, 5 % бентонита натрия) производительностью до 20 т в смену.



Пресс-гранулятор ОГМ-0,8 входит в комплект «Витагама-1» и состоит из шнекового дозатора, снабженного вариатором скоростей, кулачкового смесителя, прессующего устройства, охлаждающе-сортировочного устройства, электродвигателей и механизма передач. ТП гранулирования кормов на прессе-грануляторе ОГМ-0,8 происходит в такой последовательности. Травяная мука, подаваемая дозатором в смеситель, сдабривается мелассой, водой или обрабатывается паром (рис. 4.4). Увлажненная масса поступает в прессующее устройство, где продавливается через отверстия матрицы в виде спрессованных палочек и отрезается неподвижными ножами на заданную длину. Горячие гранулы поступают в воздушный охладитель, где сушатся в потоке воздуха, выносящем из массы мелкие частицы.

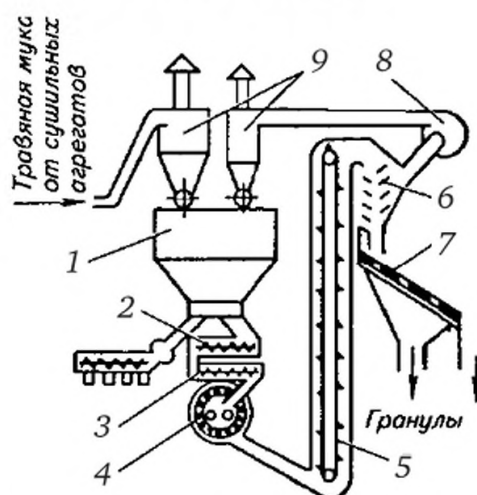


Рис. 4.4. Технологическая схема гранулирования кормов:

- 1 — бункер для травяной муки; 2 — шнековый дозатор; 3 — смеситель;  
4 — пресс; 5 — нория; 6 — воздушный охладитель гранул; 7 — решетная сортировка; 8 — вентилятор; 9 — циклон

Гранулы из охладителя поступают на сортировку, через решетку которой просеивается мелкая крошка, отсасываемая вентилятором в циклон и направляемая на повторное гранулирование. Для обеспечения условий нормального хранения влажность готовых гранул должна быть не более 14,5 %.

При эксплуатации ОГМ-0,8 особенно важна регулировка зазора (0,2...0,5 мм) между прессующими вальцами и матрицей. Регулировку осуществляют рычагом эксцентриковой оси, на которой установлены прессующие вальцы. Длину гранул изменяют, перемещая ножи относительно матрицы. Регулируют также осевые зазоры подшипников валов с помощью регулировочных прокладок или стопорных гаек главного вала и осей вальцов.

Наиболее совершенное оборудование прессования кормов — ОПК-2 производительностью 2 т/ч. Оборудование универсально, т. е. позволяет гранулировать и брикетировать комбикорма и травяную муку, сечку травы и кормовые смеси. Технологическая схема прессования кормов с помощью оборудования ОПК-2 показана на рис. 4.5.

Гранулируемый корм горизонтальным 2 и вертикальным 23 шнеками загружается в накопительный бункер 4, из которого дозатором 3 выводится в смеситель-питатель 22 пресса 20. Одновременно в корм вводится вода или пар.

Увлажненный корм непрерывно вводится в пресс 20 и продавливается в радиальные отверстия кольцевой неподвижной матрицы, формируя гранулы. Выдавливаемые гранулы обламываются и транспортируются ленточным транспортером 19 и норией 18 через камеру предварительного сортирования 14 в охлаждающую колонку 15, где они охлаждаются воздухом, засасываемым вентилятором 11. По мере накопления в охлаждающей колонке 15 гранулы перемещаются вибровыгрузчиком 17 через камеру окончательного сортирования 16 на затаривание.

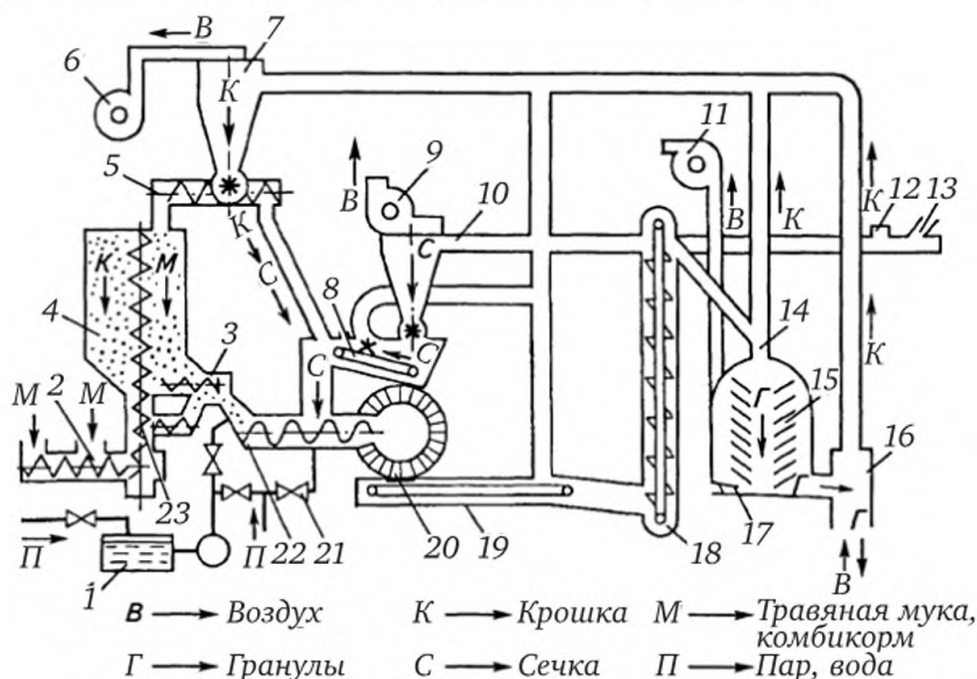


Рис. 4.5. Технологическая схема прессования кормов оборудованием ОПК-2:

- 1 — бак; 2 — горизонтальный шнек; 3 — дозатор; 4 — накопительный бункер;  
 5, 8 — транспортеры; 6, 9, 11 — вентиляторы; 7, 10 — циклоны;  
 12 — шлюзовой затвор; 13 — заборник; 14 — камера предварительного сортирования; 15 — охлаждающая колонка; 16 — камера окончательного сортирования; 17 — вибровыгрузчик; 18 — нория; 19 — ленточный транспортер; 20 — пресс; 21 — паропровод; 22 — смеситель-питатель; 23 — вертикальный шнек

Крошка и несгранулированный 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. Через шлюзовой 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.

## Управление электроприводами оборудования для прессования кормов

В электрической схеме управления оборудованием ОПК-2 предусмотрены включение и отключение 16 асинхронных электродвигателей, их защита и сигнализация о нормальных и аварийных режимах. Для облегчения пуска двигателя *M15* (рис. 4.6) прессы (мощность двигателя 90 кВт) предусмотрено его переключение со схемы «звезда» на схему «треугольник». Суммарная мощность остальных двигателей не превышает 50 кВт. Электродвигатели подключаются к сети автоматами *QF1...QF15*; цепи управления защищены автоматами *SF16* и *SF17*.

Пуск и остановку электроприводов осуществляет оператор при помощи постов *SB1...SB20*. Для экстренного отключения всего оборудования предназначена кнопка *SB*.

Режим работы выбирают при помощи переключателя *SA2*: в положении 1 «Смеси» работают все электродвигатели и брикетируют кормовые смеси; в положении 2 «Сечка» брикетируют травяную муку или комбикорм. Этим же переключателем схему переводят в режим наладки (на рис. 4.7 цепи переключения, используемые при наладке, а также цепи сигнализации не показаны).

Переключателем *SA1* устанавливают вид увлажнения при прессовании корма: положение 1 — «Вода», 2 — «Пар». Тумблером *S* и реле *KV2* включают вторичные цепи. Переключателями *SA4* и *SA6* устанавливают ручной или автоматический режимы работы соответственно вибровыгрузчика 17 (см. рис. 4.5) спрессованного корма и вентиля *УА3*, 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 оператор осуществляет в последовательности, показанной на временной диаграмме рис. 4.7. Перед пуском включают все автоматы, переключателем *SA* выбирают заданный режим работы отдельных узлов. А затем кнопочными постами поочередно включают агрегаты. Например, при гранулировании корма ставят: *SA3* — в положение 3 «Мука», *SA1* — в положение 1 «Вода», *SA4* и *SA6* — в положение А, *SA5* — в положение В, соответствующее транспортированию крошки транспортером 5 в бункер 4. Тумблером *S* включают реле *KV2*, которое запитывает остальные цепи управления и сигнализации. При этом открывается электромагнитный вентиль воды *УА3*. Затем кнопками *SB4*, *SB2*, *SB14*, *SB20*, *SB16*, *SB8* и *SB10* последовательно включают соответственно вертикальный шнек бункера 4 (см. рис. 4.5), шнек

загрузки 2, норию 18 и транспортер брикетов 19, пресс 20, дозатор 3, вентилятор 11 охладителя. Электродвигатель M15 пресса при помощи реле выдержки времени КТ вначале магнитным пускателем КМ16 включается по схеме «звезда», а затем магнитным пускателем КМ17 переключается на схему «треугольник». Блок-контактами КМ17:3 включается магнитный пускатель КМ14 электропривода обламывателя гранул. После пуска при помощи заслонки дозатора 3 и вентилей воды вручную устанавливают по амперметру А номинальную нагрузку пресса 20.

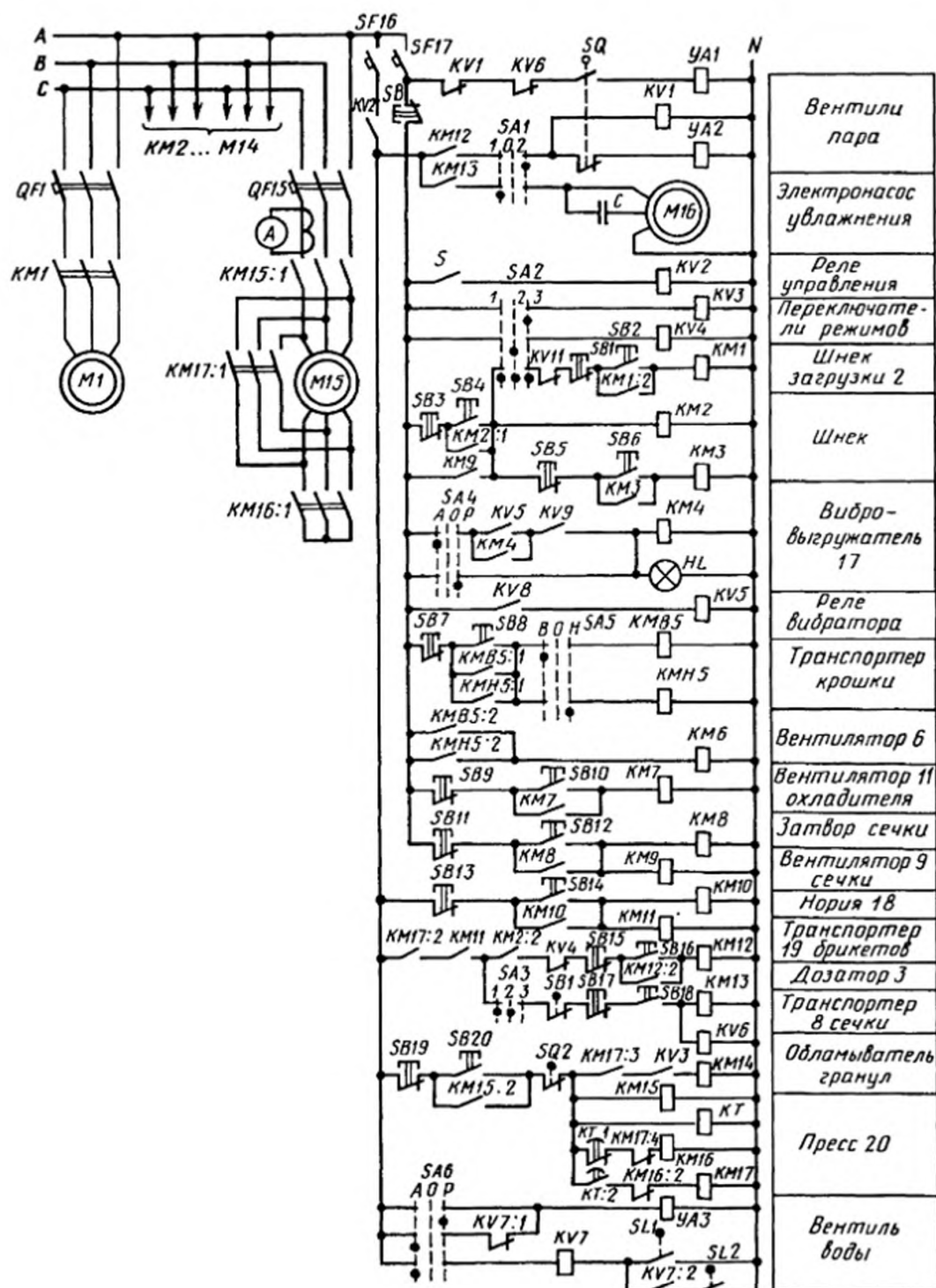


Рис. 4.6. Принципиальная электрическая схема управления оборудованием ОПК-2



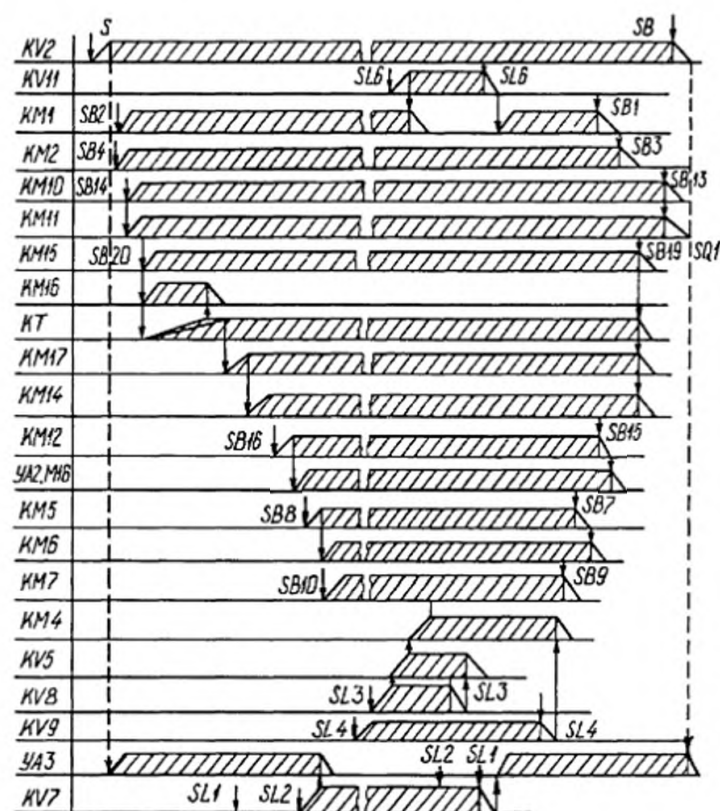


Рис. 4.7. **Временная диаграмма работы оборудования ОПК-2**

Если по каким-то причинам уровень сырья в бункере 4 превышает заданное значение, то срабатывает датчик уровня *SL6* и включает 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 вибровыгрузчика 17. Разгрузка гранул вибратором продолжается до снижения уровня гранул, при котором датчик *SL4* через реле *KV9* отключает вибратор. Уровень воды на 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* последовательно отключают соответственно вентилятор охладителя, транспортер крошки и вентилятор сортировки, дозатор, шнек загрузки, шнек бункера, пресс, норию.

При брикетировании травяной сечки или кормосмеси упомянутыми выше переключателями выбирают соответствующий режим и кнопками управления включают агрегаты в следующем порядке: шнек бункера 4, шнек загрузки 2, норья 18, пресс 20, транспортер сечки 8, затвор и вентилятор 9 сечки, затвор соломы 12, транспортер крошки, вентиляторы 6 сортировки и 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 пресса. Если смеситель-питатель 22 забивается сечкой, то от давления сечки срабатывает конечный выключатель *SQ1* и отключает транспортер 8.

## **Тема 4.3**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОЗИРОВАНИЯ И СМЕШИВАНИЯ КОРМОВ**

### **Способы дозирования кормов**

Важным фактором повышения качества кормов и их рационального использования является автоматизация процесса дозирования. Дозирование кормов осуществляется в специальных устройствах, называемых дозаторами, которые классифицируют прежде всего по назначению: для сыпучих кормов, корнеклубнеплодов, грубых и сочных стебельчатых кормов, жидких кормов, добавок и кормовых смесей.

Способ дозирования может быть массовым или объемным, порционным или непрерывным. При массовом порционном дозировании можно точно составить рецепт рациона, и поэтому его применяют в линиях по приготовлению премиксов, белково-витаминных добавок и комбикормов. Массовое непрерывное дозирование менее точное, чем объемное, и поэтому его применяют реже.

Объемное непрерывное дозирование применяют в линиях по переработке кормов, при загрузке измельчителей в кормоцехах и составлении простых и полнорационных кормовых смесей.

Объемное полнорационное дозирование применяют в линиях по производству комбикормов.

### **Функциональные схемы дозаторов для объемного и весового дозирования кормов**

По конструкции различают объемные и массовые дозаторы. По характеру работы они могут быть порционного или периодического действия. Непрерывное дозирование осуществляют ленточные, барабанные, вибрационные и шнековые дозаторы. Порционные дозаторы объемного дозирования имеют тарированные емкости. Для массового дозирования в простейшем случае используют обычные весы, а в комбикормовом производстве — специальные весы-дозаторы.

Основное требование к дозаторам — соблюдение заданной точности отмеривания или взвешивания. На рис. 4.8 показаны наиболее распространенные схемы дозаторов.

Барабанный дозатор служит для дозирования основных сыпучих компонентов комбикорма. Его ячеистый барабан составлен из шести смещенных по винтовой линии секций, размещенных на общем валу. Вал барабана приводится в действие с помощью кривошипно-кулисного механизма. Вращающийся вал привода посредством системы рычагов и тяг приводит в движение шатуны, оборудованные собачками. Собачки поочередно входят в зацепление с храповым колесом вала барабана и вращают его. Производительность дозатора можно регулировать, переставляя каретку и тем самым изменяя амплитуду колебаний шатунов, закрепленных на общем валу.

Дозаторы можно устанавливать отдельно или в системе группового привода. Отдельные дозаторы отключаются при выводе собачек из зацепления с храповым механизмом.

Тарельчатые дозаторы (рис. 4.8, е) имеют рабочий орган в виде диска 12, с которого продукт при вращении диска снимается скребком 13. Производительность дозатора регулируют, перемещая манжету 14 на выходной горловине бункера или изменяя количество сыпучего продукта.

Производительность такого дозатора зависит от частоты вращения диска и глубины погружения скребка в слой продукта.

Шнековые дозаторы (рис. 4.8, в) применяют для дозирования сыпучих продуктов в тех случаях, когда дробящее воздействие шнека на продукт можно не учитывать. Производительность этих дозаторов регулируют, изменяя частоту вращения шнека или положение заслонки подачи. Производительность шнекового дозатора определяют по формуле оценки производительности шнекового транспортера.

Вибрационные дозаторы имеют лоток, приводимый в колебательное движение от вибродвигателя, эксцентрикового колебательного механизма или другого привода (пневмопривода и др.). Для жидких кормов и добавок можно применять расходомеры с насосами.

Особенность дозирования жидких компонентов — необходимость предварительного подогрева из-за их высокой вязкости. Исходя из этого, в устройствах для ввода жидких компонентов предусмотрено два отдельных контура управления: разогревом и дозированием. Контур управления разогревом не имеет существенных особенностей связанных с характеристиками нагреваемых сред. Как правило, используют П-регулятор (иногда прямого действия), управляющий положением регулирующего клапана на линии подачи или отвода греющего теплоносителя.

Среди конструкций расходомеров вязких жидкостей следует отметить устройство для дозирования кормового жира. Поток вязкой жидкости, пройдя через фильтр и обогреваемый пневматический клапан, поступает в измерительную камеру, где находится специальный ротор,



приводимый во вращение потоком жидкости. Количество прошедшей через камеру жидкости определяется частотой вращения ротора, каждый оборот которого сопровождается отсеканием определенного объема жидкости, заключенной между ротором и корпусом измерительной камеры. Частоту вращения ротора измеряют частотно-индукционным преобразователем, сигнал которого масштабируется и подается на указатель текущего расхода, интегрирующий блок, измеряющий количество прошедшего через прибор компонента комбикорма, и на задатчик дозы, с помощью которого оператор задает требуемое количество жидкости. Процесс дозирования может быть так же повторен простым нажатием кнопки «Пуск».

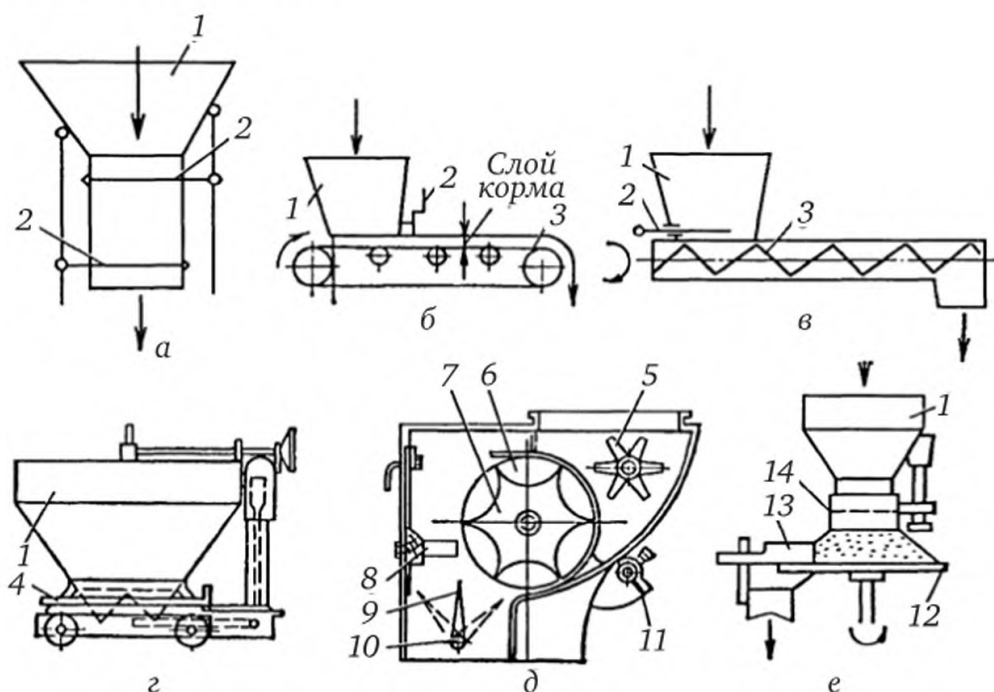


Рис. 4.8. Схемы дозаторов:

а — объемного порционного; б — ленточного объемного; в — шнекового объемного; г — массового; д — барабанного объемного (ДП-1); е — тарельчатого;  
 1 — бункер; 2 — заслонка; 3 — транспортер-дозатор; 4 — платформа весов;  
 5 — побудитель подачи; 6 — секции дозатора; 7 — ячеистая катушка;  
 8 — магниты; 9 — перекидной клапан; 10 — ось клапана; 11 — вал привода дозатора; 12 — диск; 13 — скребки; 14 — манжета

Для измерения расхода электропроводящей жидкости можно использовать индукционный расходомер. Основой конструкции этого прибора является отрезок трубы из немагнитного материала, помещенный в магнитное поле. При протекании в трубе электропроводящей жидкости создается ЭДС, пропорциональная средней скорости  $v$  движения потока:

$$E = Bvl,$$

где  $B$  — магнитная индукция поля, Тл;  $l$  — длина участка трубопровода, находящаяся в магнитном поле, м.

Наводимую в потоке ЭДС измеряют при помощи двух электродов, монтируемых на внутренней поверхности трубы в плоскости нейтрали магнитного поля. Расход жидкости рассчитывают с точностью до 1,5 % по известным плотности, скорости движения и диаметру трубопровода на специальном вычислительном устройстве.

Один из жидких компонентов комбикорма — меласса. Установка для ее ввода в комбикорм состоит из подогревателя, насоса, индукционного расходомера, дозатора и разбрызгивателя. При работе установки поплавковый регулятор поддерживает постоянный уровень мелассы в нагревательном баке и, что особенно важно, дозирует ее пропорционально расходу комбикорма, так как валы насоса-дозатора мелассы и шнекового питателя-смесителя комбикорма имеют общий привод. При этом конструкция насоса-дозатора предусматривает возможность ручного регулирования его производительности, а автоматическая блокировка — автоматический останов при опорожнении нагревательного бака мелассы или бункера-смесителя комбикормов.

В случае переполнения нагревательного бака насос, подающий в него мелассу, останавливается и через некоторое время реверсируется. С этого момента начинается откачка мелассы, заполняющей трубопровод, назад в хранилище. Последняя операция необходима для исключения кристаллизации неподвижного продукта в трубах.

## **Технологии смешивания кормов**

Смешивание кормов и их компонентов — важная составляющая операция ТП кормоприготовления. Смешивание происходит в смесителях, конструкции которых должны соответствовать виду смешиваемых продуктов. По способу действия различают смесители противоточного и параллельно-поточного смешивания в соответствии с направлением подачи ингредиентов. Наиболее распространены смесители параллельно-поточного действия. По форме рабочих органов смесители могут быть шнековыми, барабанными, лопастными и др.

На рис. 4.9 представлены некоторые схемы кормосмешивающих устройств. Наиболее распространен смеситель периодического действия ВШС-2, который применяют для смешивания различных кормовых компонентов, находящихся в сухом или полувлажном состоянии. Рабочий орган этого смесителя — вертикальный шнек, приводимый в движение от электродвигателя. В сложном движении под воздействием шнека продукт перемешивается до получения однородной массы.

Однородной считают смесь, в любом объеме которой содержатся все ее компоненты. Идеальной считают смесь, в любом объеме которой содержатся все ее компоненты в заданном соотношении. Получение идеальных смесей весьма сложно, поэтому в ряде случаев довольствуются только наличием всех компонентов в пробах смеси.

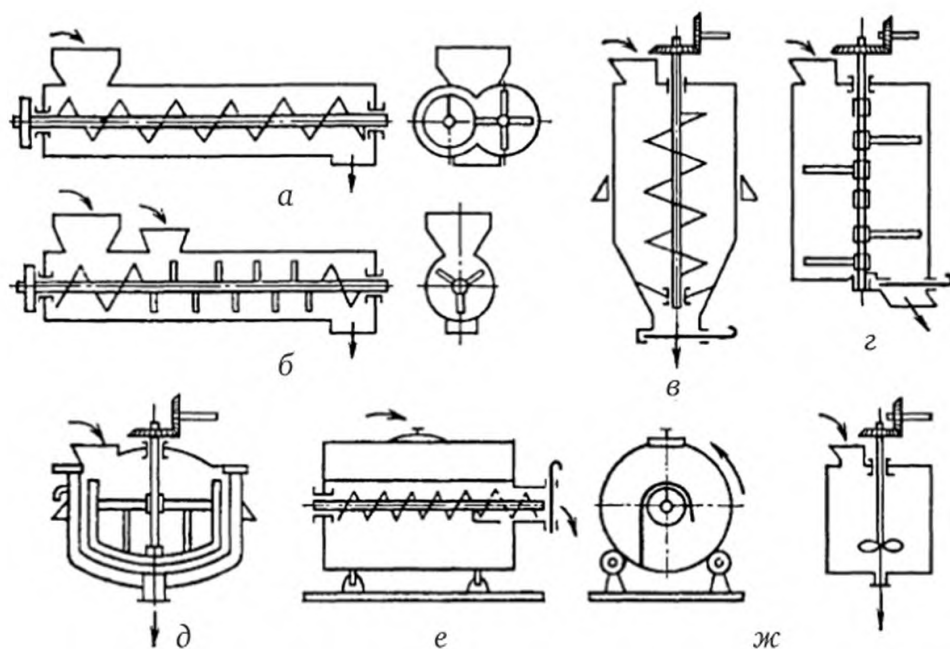


Рис. 4.9. Схемы типичных кормосмесителей:

а, б — горизонтальные непрерывного действия; в — шнековый вертикальный периодического действия; г, д — лопастные периодического действия; е — барабанный периодического действия; ж — пропеллерный для жидких смесей

Двухвальный смеситель для сыпучих продуктов состоит из закрытого короба с двумя валами, на которых по винтовой линии установлены перемешивающие лопатки. Для лучшего перемешивания корма при продвижении его к окну выгрузки две лопатки ставят под углом  $50^\circ$  к оси вала. Третью лопатку ставят под углом  $20^\circ$  к оси в противоположном направлении для создания противоточного перемешивания. Производительность смесителя регулируют, изменяя угол установки лопаток.

Агрегат для приготовления заменителей молока АЗМ-0,8 состоит из смесителя-запарника, приемного бункера, шнека-питателя, лопастной мешалки, насоса-эмульгатора, бачка для жировых добавок, системы паро- и водоподводящих труб с кранами и арматурой, электродвигателей, редукторов, смонтированных на общей раме, пусковой аппаратуры и контрольно-измерительных приборов.

Смеситель-запарник выполнен в виде двухстенного бака с водяной рубашкой для охлаждения продукта. В бак наливают воду из бункера, подают шнеком мучные компоненты и смесь перемешивают. В смесь подают пар и доводят ее температуру до  $90^\circ\text{C}$ . Через 5...7 мин подачу пара отключают и периодически в течение часа включают мешалку. В смесь добавляют обезжиренное молоко (обрат) и пропускают охлажденную воду через водяную рубашку бака. Охлажденную до  $50...60^\circ\text{C}$  смесь обогащают при помощи насоса-эмульгатора добавками растительных и животных жиров, антибиотиками и биостимуляторами. Готовый заменитель цельного молока направляют в поилки для телят.

Вместимость смесителя-запарника 800 л, продолжительность цикла процесса приготовления заменителя цельного молока 3,5...4 ч, мощность электродвигателей шнека мешалки и насоса-эмульгатора соответственно 2,8 и 4 кВт, масса 800 кг.

### **Автоматизация смесителей кормов**

Рассмотрим автоматизацию смесителей кормов на примере комплекса оборудования, включающего в себя группу массовых дозаторов разной производительности с соответствующим набором питателей и смесителей периодического действия. Питатель 2 (рис. 4.10) подает основные компоненты кормов (ячмень, кукурузу, пшеницу и др.) в центральный дозатор. Питатели 1 и 3 подают белковые компоненты (мясокостную, рыбную, травяную муку) и биологически активные вещества (микродобавки, мел, соль и т. д.) в дозаторы меньшей производительности. После открытия заслонок 4 содержимое дозаторов высыпается в смеситель 5. Комплексом массового дозирования можно управлять вручную, дистанционно и автоматически. Ручное управление в основном наладочное и осуществляется с пульта 8. Дистанционное управление осуществляется оператором с пульта 10. При этом массу каждого компонента задают вручную, после чего выбирают и включают нужный питатель. Затем, после набора дозы, включают следующий и так далее до окончания всей программы дозирования.

Автоматическое управление реализуется в соответствии с заложенной в специальном устройстве 11 программой. При включении дозатора в работу согласно программе включается на большую скорость соответствующий питатель и начинается загрузка весов 3 (масса контролируется кодирующим устройством, встроенным в головку весов). После набора 95 % заданной массы электродвигатель питателя переключается на пониженную частоту вращения (с 93 до 32 мин<sup>-1</sup>) и далее происходит точная досыпка 5 % дозы. Затем включается следующий питатель и так до окончания программы набора всех компонентов корма, после чего ковш весов опорожняется через шибер (заслонку) 4, управляемый пневмоприводом 6.

Самый сложный элемент комплекса — система управления массовым дозированием (рис. 4.11). Она включает в себя вводное устройство А, фотоэлектрический указатель 13 массы, устройство управления 6 и выходное устройство 8, объединяющее пускозащитную аппаратуру приводов питателей и смесителя.

Поясним назначение отдельных элементов системы.

Устройство 12 считывания программы (УСП) выдает в блок 1 сумматоров по проводам 0...10 код  $P_3$  команды на набор заданной массы очередного компонента корма в виде комбинации электрических сигналов. Это же устройство вырабатывает команду на разгрузку весов для блока 4 управления.



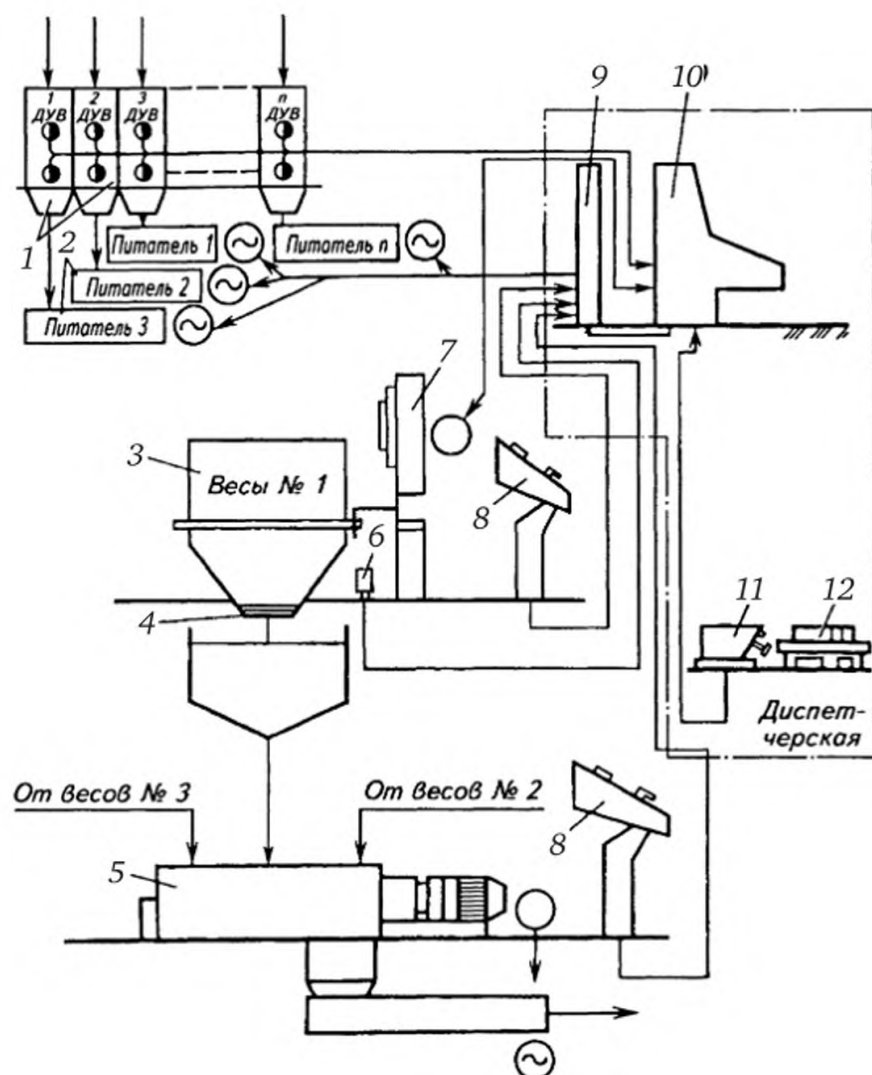


Рис. 4.10. Технологическая схема автоматизации комплекса массового дозирования и смешивания компонентов комбикормов:

1 — дозатор; 2 — питатели; 3 — весы; 4 — заслонки; 5 — смеситель; 6 — пневмопривод; 7 — блок управления; 8 — пульт ручного управления; 9 — блок сбора и обработки информации; 10 — пульт дистанционного управления; 11 — устройство считывания программы; 12 — устройство программирования

Фотоэлектрический указатель 13 массы преобразует поворот кодового диска, укрепленного на одной оси со стрелкой циферблатного указателя, в комбинацию электрических сигналов  $P_{\phi}$  также в виде кода, который подается на блок 2 индикации.

Блок 1 сумматоров представляет собой электронное арифметическое устройство параллельного действия, осуществляющее операцию  $P'_3 = P_3 - P_d$ , где  $P_d$  — код досыпаемой массы, задаваемый оператором с пульта. Результат операции  $P'_3$  подается на блоки 2 индикации и 3 контроля. Блок сумматоров вырабатывает также сигналы «Грубо» и «Точно», определяемые набором тумблеров перехода каждого питателя на пониженную скорость. Тумблерами, расположенными на панели «Предварение», оператор задает поправку  $P_d$  на динамическое усилие столба

компонента корма, движущегося по трубе от питателя до весов после остановки питателя. Блок 2 индикации сравнивает фактическую массу компонента — сигнал  $P_\phi$  с заданной — сигнал  $P'_3$  и при их равенстве выдает сигнал  $P_\phi = P'_3$ , а также сигналы «Есть 0 шкалы» и «Нет 0 шкалы» на блок 4 управления, который формирует выходные сигналы «Грубо», «Точно», «Разгрузка», поступающие на релейную панель 8.

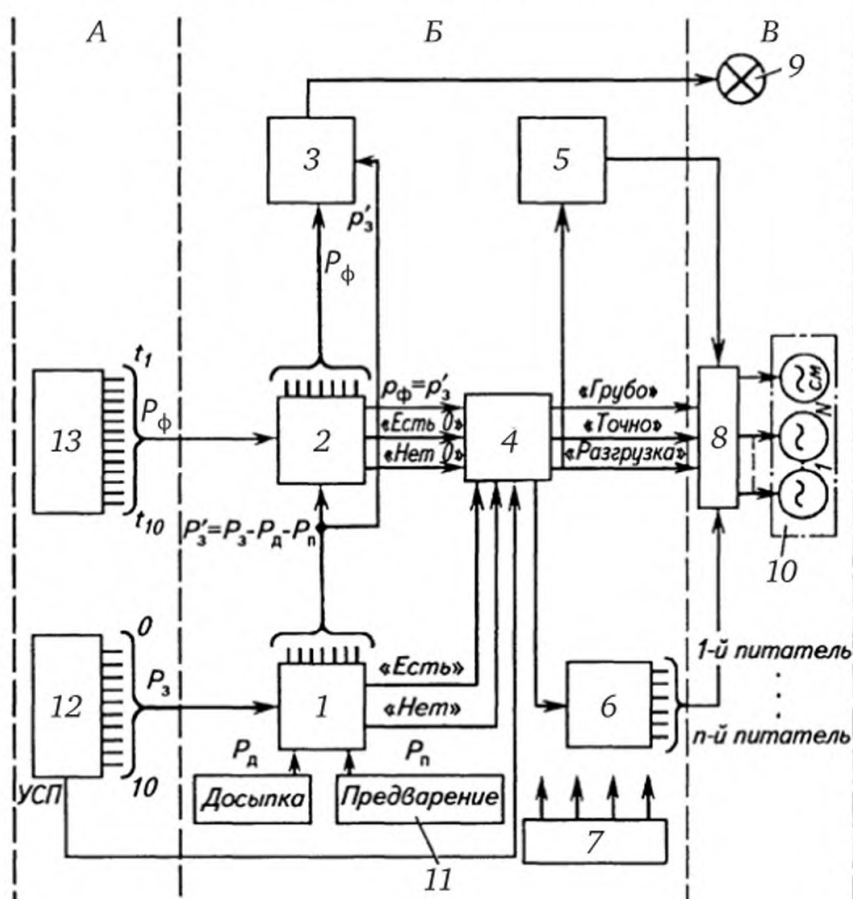


Рис. 4.11. Структурная схема управления массовым дозированием:

1 — блок сумматоров; 2 — блок индикации; 3 — блок контроля; 4 — блок управления весами; 5 — блок управления смесителем; 6 — блок выбора питателей; 7 — блок питания; 8 — выходное устройство; 9 — сигнальные лампы; 10 — электродвигатели питателей; 11 — панель управления; 12 — устройство считывания программы; 13 — фотоэлектрический указатель массы

Блок 6 выбора питателей получает от блока 4 тактовые импульсы, обеспечивающие поочередное включение электродвигателей 10 питателей. Блок 5 управления смесителем по команде «Разгрузка» от блока управления через ту же релейную панель управляет электродвигателем смесителя. Блок 3 контроля и сигнализации служит для обнаружения сбоев в работе, индикации фактической массы и сигнализации общего состояния системы.

В усовершенствованном многокомпонентном массовом дозаторе в качестве первичных преобразователей используют силовые тензорезисторные датчики. В остальном система тензометрического дозирования аналогична рассмотренной.

## Тема 4.4

# АВТОМАТИЗАЦИЯ КОРМОПРИГОТОВЛЕНИЯ

### Технологические основы автоматизации приготовления концентрированных кормов

На животноводческих фермах концентрированные корма растительного происхождения, отходы пищевой промышленности, кормовые жиры, витаминные и другие добавки перед скармливанием скоту подвергают механической и (или) тепловой обработке.

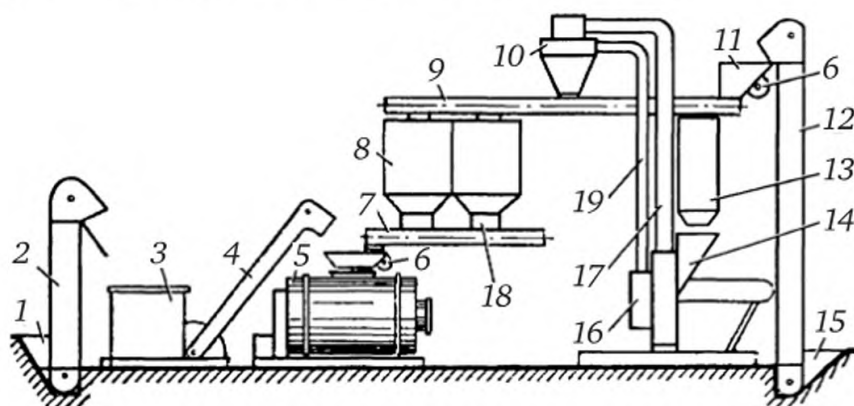


Рис. 4.12. Функциональная схема приготовления кормов:

- 1 — завальная яма; 2 — овощная нория; 3 — мойка-корнерезка; 4 — транспортер мойки; 5 — запарник; 6 — магнитный сепаратор; 7, 9 — шнеки; 8 — бункер для дробленого корма; 10 — циклон; 11 — ковш; 12 — зерновая нория; 13 — приемный бункер; 14 — дробилка; 15 — загрузочный ковш; 16 — вентилятор дробилки; 17 — обратный воздуховод; 18 — дозаторы; 19 — кормопровод

В основном концентрированные корма готовят по следующим схемам:

- 1) очистка — измельчение — дрожжевание — дозирование — смешивание;
- 2) очистка — измельчение — дозирование — смешивание — брикетирование;
- 3) очистка — проращивание.

Бобовые корма после очистки замачивают. По второй и третьей схемам в основном приготавливают комбикорма.

Рабочие схемы служат для выбора технологического оборудования. Пример схемы технологического процесса: прием зерна — загрузка

в бункер — выгрузка и транспортировка к очистительным устройствам — очистка от примесей — транспортировка в бункер — выгрузка и дальнейшая транспортировка — дробление — транспортировка в бункер для хранения — выгрузка — дозирование — смешивание — выдача готового корма.

На рис. 4.12 показана схема приготовления кормовой смеси из зерновых и корнеплодов.

### **Автоматизация поточных линий переработки корне- и клубнеплодов**

Технология приготовления грубых кормов заключается в их измельчении и смешивании с другими компонентами, технология приготовления комбикормов — в измельчении, дозировании и смешивании с различными компонентами растительного и животного происхождения.

Поточная технологическая линия приготовления корма для заданного поголовья и конкретной почвенно-климатической зоны определяет технологическую схему кормоцеха. При этом линию комплектуют как серийными машинами, так и машинами специальной разработки. Типичное оборудование такого типа — комплект оборудования для приготовления рассыпных кормосмесей КОРК-15.

Комплект предназначен для ферм молочно-товарных (900...2000 голов) и откормочных (до 5000 голов крупного рогатого скота) и включает в себя пять поточных технологических линий (рис. 4.13).

Работают отдельные поточные технологические линии кормоцеха следующим образом. Грубый корм из транспортных средств выгружают в лоток питателя-загрузчика 13, свободный конец которого приподнимается двумя гидроцилиндрами, в результате чего корм поступает на конвейер питателя, подающий его к измельчающему барабану и отбойному битеру. Измельченный и дозированный корм поступает на промежуточный транспортер 12, а с него — на сборный транспортер 11. Количество корма, подаваемого на промежуточный транспортер, регулируют вручную, изменяя скорость движения полотна конвейера. Аналогично и силос из транспортного самосвального средства выгружают в лоток питателя-загрузчика 7, а затем через дозирующие битеры — на скребковый транспортер 2 и далее — на сборный транспортер 11. Концентрированный корм загружают устройствами, состоящими из корпуса, неподвижной тарелки и вращающихся скребков, которые захватывают и сбрасывают корм с тарелки на винтовой конвейер 4, подающий его на сборный транспортер 11.

Корнеклубнеплоды доставляют в цех самосвальными мобильными средствами или стационарными транспортерами из корнеплодохранилища, заблокированного с кормоцехом. Корм выгружают на транспортер 5, доставляющий его в измельчитель-камнеуловитель 7, где он очищается, измельчается и поступает в бункер-дозатор 8,



а затем — на сборный транспортер 11. Все компоненты рациона загружают на сборный транспортер послойно и с него они поступают в измельчитель-смеситель 10 для доизмельчения, смешивания и обогащения мелассой и карбамидом, поступающим из оборудования 6. Готовая смесь из измельчителя-смесителя 10 транспортером 9 выгружается в кормораздатчик.

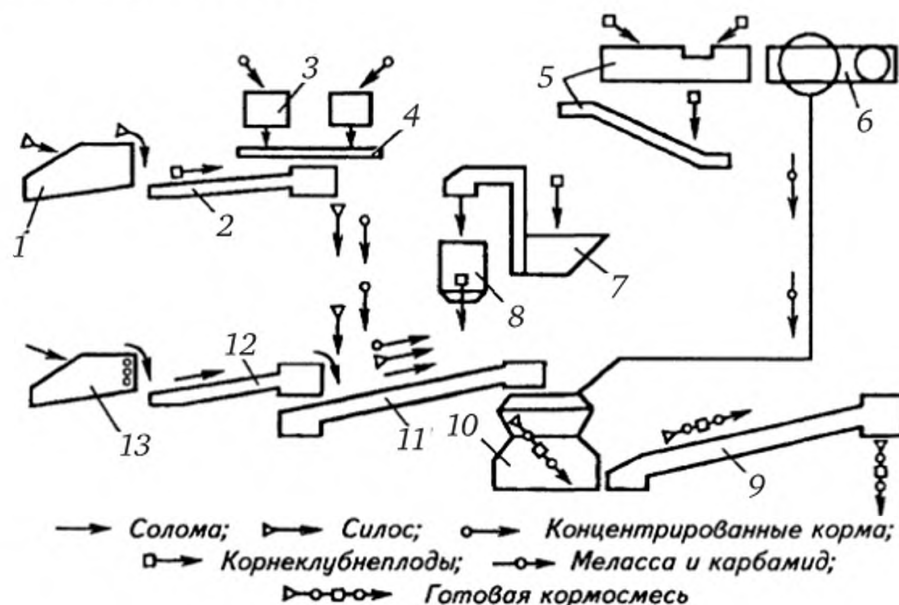


Рис. 4.13. Функциональная схема кормоцеха КОРК-15:

- 1 — питатель-загрузчик силоса; 2 — скребковый транспортер силоса;  
 3 — бункеры-дозаторы концентрированных кормов; 4 — винтовой конвейер; 5 — транспортеры корнеклубнеплодов; 6 — оборудование для мелассы и карбамида; 7 — измельчитель-камнеуловитель; 8 — дозатор корнеклубнеплодов; 9 — выгрузной транспортер; 10 — измельчитель-смеситель кормов; 11 — сборный транспортер; 12 — транспортер грубых кормов; 13 — питатель-загрузчик грубых кормов

Система управления оборудованием кормоцеха обеспечивает полуавтоматический режим, при котором все машины поточной технологической линии включаются в очередности, обусловливаемой ТП приготовления корма.

## Автоматизация приготовления концентрированных кормов

Широко распространенными технологическими операциями, составляющими технологический процесс приготовления концентрированных кормов, являются измельчение фуражного зерна, зеленой массы, мойка и измельчение корнеклубнеплодов.

Для измельчения фуражного зерна и грубых кормов используют дробилки разной конструкции. В качестве примера рассмотрим безрешетную дробилку ДБ-5, функциональная схема которой изображена на рис. 4.14.

Подлежащее измельчению зерно шнеком 8 загружается в бункер 9, уровень в котором автоматически поддерживается с помощью двух датчиков. Подачу зерна на измельчение регулируют заслонкой 10 и осуществляют за один неполный оборот ротора 12. При этом продукт дробления по кормопроводу воздушным потоком перемещается в фильтр 6. Достаточно измельченное зерно, прошедшее решетный сепаратор 4, представляет собой готовый продукт и выгружается шнеком 2. Оставшаяся часть возвращается в дробильную камеру, причем количество этого продукта устанавливает оператор с помощью регулирующей заслонки 5 (в крайнем правом положении заслонки весь материал идет на выгрузку без разделения на фракции). Одна часть запыленного воздуха возвращается в дробильную камеру, а другая часть, пройдя фильтр 6, выбрасывается в атмосферу.

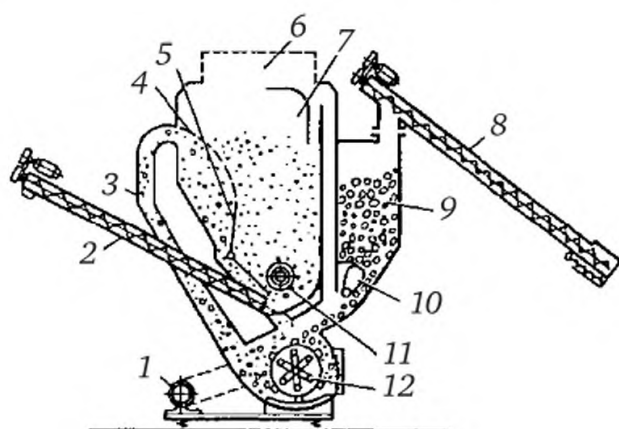


Рис. 4.14. Функциональная схема дробилки ДБ-5:

1 — двигатель; 2, 8 — шнеки; 3 — воздуховод; 4 — сепаратор; 5, 10 — заслонки; 6 — фильтр; 7 — камера; 9 — бункер зерна; 11 — ворошилка; 12 — ротор

Схема управления дробилкой (рис. 4.15) обеспечивает последовательный пуск электродвигателей выгрузного шнека ( $M1$ ) и затем дробилки ( $M2$ ), причем с целью снижения пускового тока электродвигатель дробилки переключается со схемы «звезда» на схему «треугольник». Загрузочный шнек пускается нажатием кнопки  $SB6$  при незаполненном бункере дробилки и работает до замыкания контактов  $SL1$  мембранного датчика верхнего уровня зерна в бункере. Повторный пуск шнека происходит также автоматически после опорожнения бункера и замыкания контактов датчика нижнего уровня  $SL2$ . Производительность дробилки регулируется автоматически в зависимости от силы тока, потребляемого ее электродвигателем  $M2$ , с помощью регулирующей заслонки, перемещаемой исполнительным механизмом  $M4$  по команде регулятора загрузки  $AP3$ .

При значительных перегрузках двигателя и перерывах в электропитании электромагнитная муфта  $YC$ , соединяющая заслонку и ИМ, отключается, заслонка падает под действием собственного веса и подача зерна в дробильную камеру прекращается. Схема управления дробилкой предусматривает также наладочный режим (устанавлива-

ется переключателем SA2), в процессе которого последовательно включают механизмы, проверяют направления вращения валов, работу датчиков уровня и блокировки. При наладке дробилки устанавливают номинальную силу тока двигателя (задание регулятору), зону нечувствительности и длительность паузы между импульсами включения привода заслонки.

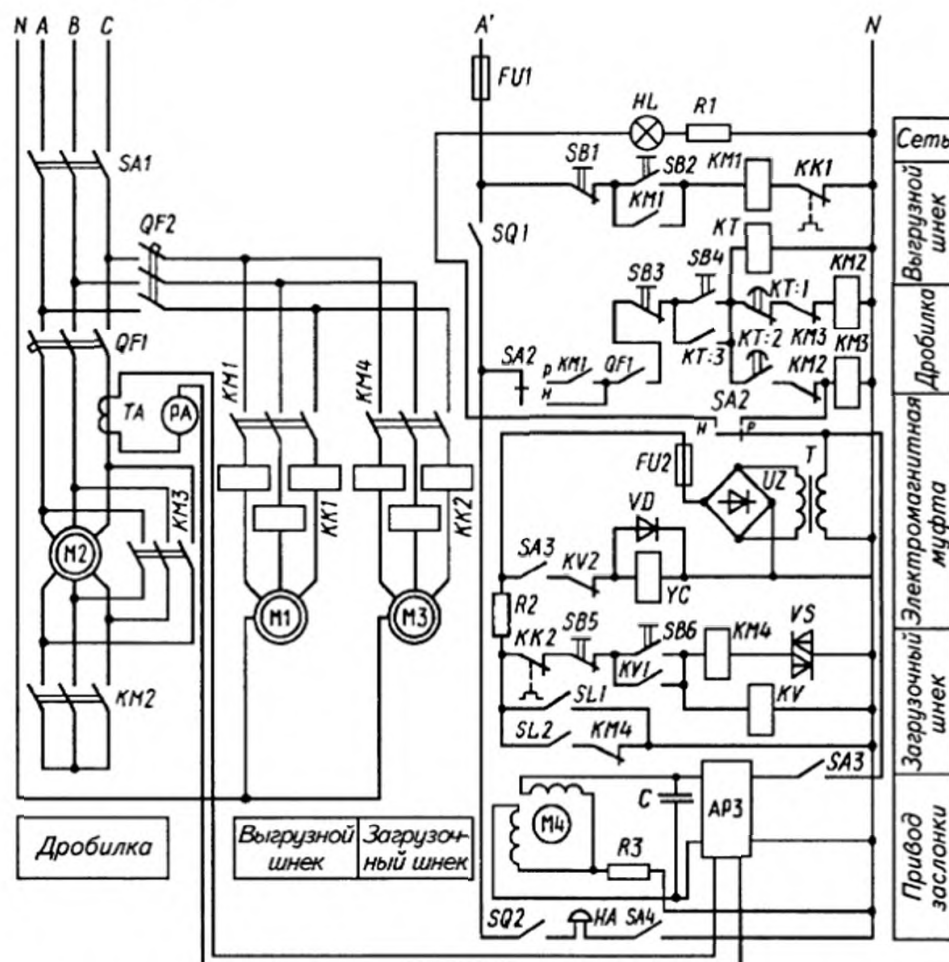


Рис. 4.15. Принципиальная электрическая схема управления дробилкой ДБ-5

Полное открытие заслонки, свидетельствующее о снижении загрузки дробилки, сигнализируется сиреной.

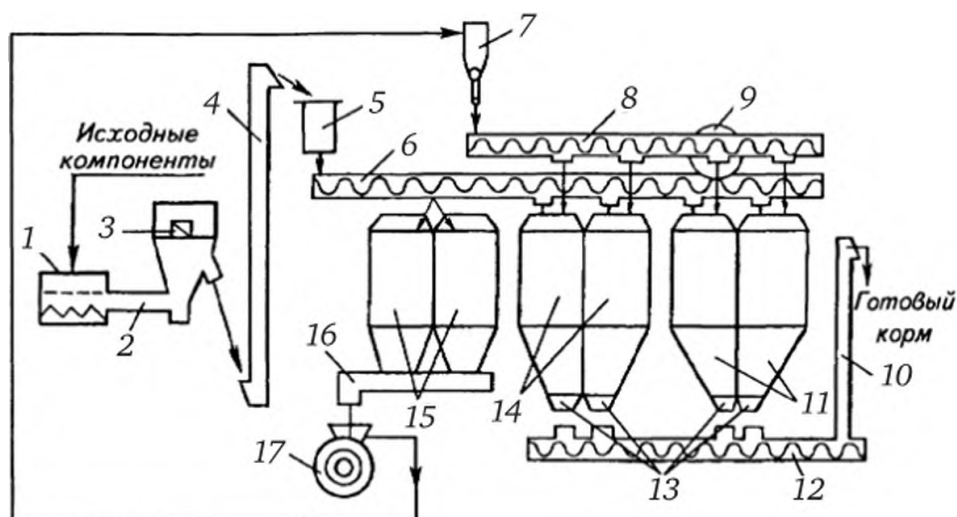
Для измельчения сена и соломы применяют измельчители штифтового, ножевого или молоткового типа. Подлежащий измельчению корм подается в загрузочный бункер, который, вращаясь, сбрасывает его под молотки ротора дробильной камеры. Измельченная масса выносится из камеры воздушным потоком, создаваемым молотками ротора.

В случае перегрузки двигателя дробилки на короткое время отключается электромагнитная муфта, бункер останавливается и подача корма в дробилку прекращается. После снижения загрузки дробилки подача корма на ротор возобновляется. Если перегрузка двигателя дробилки длится более 20 с, электродвигатель привода бункера отключается.

## Тема 4.5

## Технология поточных линий кормоцехов

Оборудование комбикормовых цехов (ОКЦ) предназначено для производства полнорационных рассыпных комбикормов на сельскохозяйственных предприятиях и комбикормовых заводах. В хозяйствах применяют ОКЦ трех типоразмеров производительностью 15, 30 и 50 т комбикормов за смену. Оборудование сконпоновано в одном или двух (ОКЦ-50) блоках: зерновом и мучном.



**Рис. 4.16. Технологическая схема комбикормового агрегата ОКЦ-15:**

- 1 — решетный стан; 2 — загрузочная горловина; 3 — смеситель;  
4 — нория; 5 — магнитная колонка; 6, 8, 12 — шнеки;  
7 — циклон; 9 — щеточный барабан; 10 — выгрузной шнек; 11, 14,  
15 — зерновые бункеры; 13 — дозаторы; 16 — дозирующий шнековый  
транспортёр; 17 — дробилка

Задача комбикормовых цехов сельскохозяйственных предприятий — максимально использовать местное сырье (фуражное зерно, травяную муку, пищевые отходы и т. д.) и белково-витаминные добавки промышленного производства.

Устройство всех ОКЦ и технология приготовления комбикормов во всех цехах аналогичны. Фуражное зерно из транспортерных средств или транспортером из зерносклада подается на решетный стан 1 (рис. 4.16), где оно очищается от крупных примесей, а затем, пройдя



смеситель 3, норией 4 подается на магнитную колонку 5, в которой очищается от металлических примесей. Далее фуражное зерно распределяется шнеком 6 по двум секциям зернового бункера 15, а затем дозирующим шнековым транспортером 16 направляется на измельчение в дробилку 17.

Зерновая дерть воздушным потоком дробилки 17 направляется по трубопроводу через циклон 7 в шнек 8, в котором установлено просеивающее устройство. На валу шнека закреплен щеточный барабан 9, а на нижней части кожуха шнека — решето. Просеивающее устройство разделяет дерть на две мучные 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 БДВ из бункеров 11 и 14 выгружаются дозаторами 13, которые установлены в нижней части каждой секции бункера. Дозаторы 13 выдают компоненты в шнек 12 в заданной рецептурной пропорции. Шнеки 12 и 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, поворачивая специальный лимб храпового механизма привода и тем самым изменяя частоту вращения дозатора от 0,24 до 17,7 мин<sup>-1</sup>.

### **Автоматическое управление оборудованием кормоцехов**

Дистанционное управление работой оборудования осуществляют с помощью схемы, показанной на рис. 4.17. Автоматическими включателями QF5...QF9 и QF10 на схему подают напряжение. Переключатель SA1 имеет три положения: P — «Работа», O — «Отключено», H — «Режим наладки». Оборудование пускают в работу в следующем порядке. Устанавливают 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) нории 4 и шнека 3, 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 бункеры 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. Загрузку дробилки контролируют по показаниям амперметра PA.

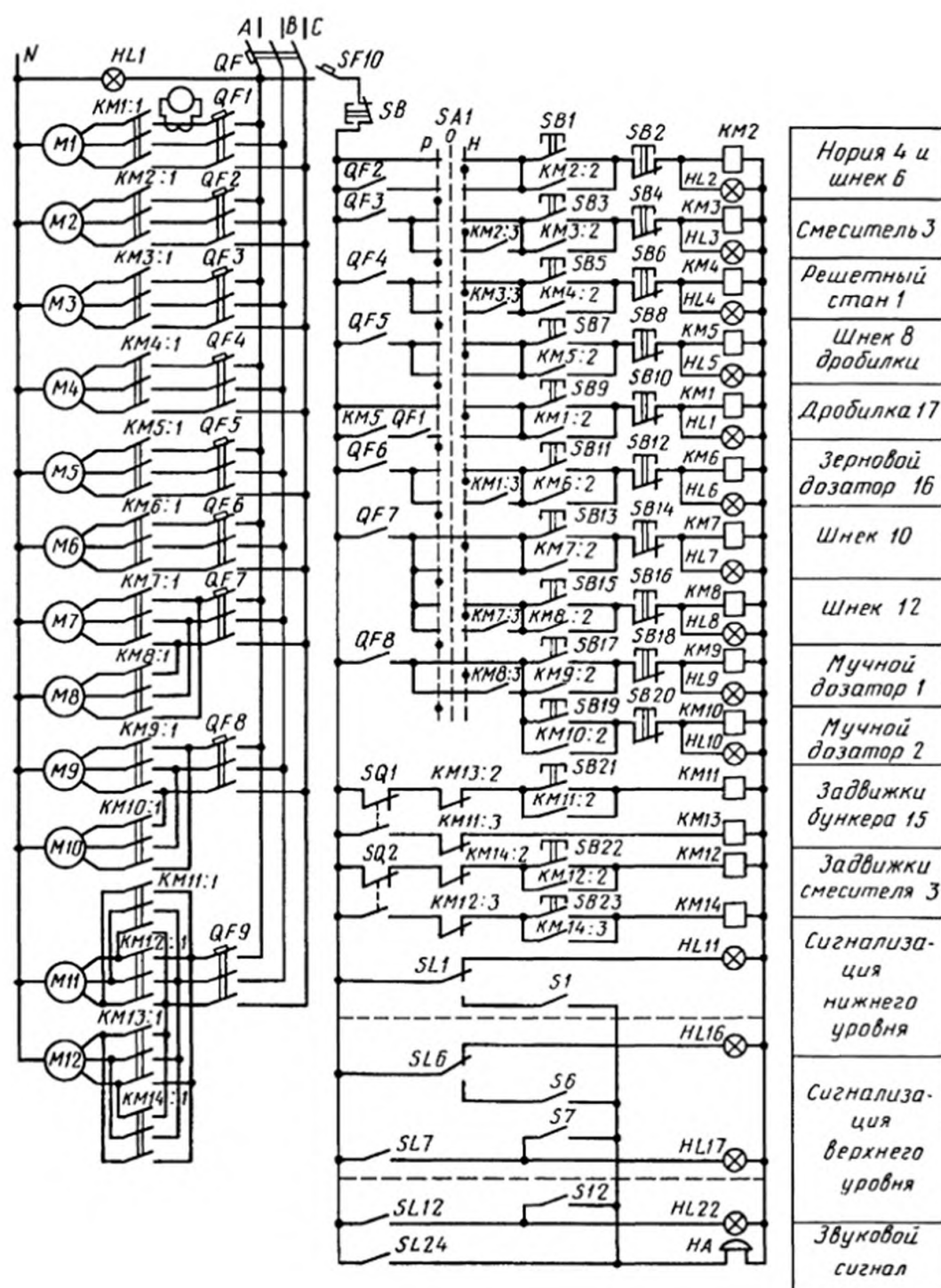


Рис. 4.17. Принципиальная электрическая схема управления электрооборудованием комбикормового цеха ОКЦ-15 (обозначение позиций то же, что и на рис. 4.16)

Смешивание исходных компонентов и выгрузка готового комбикорма происходят при включении кнопками SB13 и SB15 электропривода M7 (3 кВт) вертикального шнека 12. Электроприводами M9 и M10 (по 2,2 кВт) дозаторов 13 выгрузки компонентов в шнек 12 управляют кнопками SB7...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 материала 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 отключают тумблерами *S1...S12*. В экстренных случаях все машины останавливают кнопкой *SB*.

## Тема 4.6

# ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КОРМОПРОИЗВОДСТВА

Надежность и эффективность работы технологического оборудования кормоцехов во многом зависят от его правильного использования, хорошей организации технического обслуживания и ремонта. Техническое обслуживание и ремонт следует проводить в соответствии с разработанным положением о техническом обслуживании и ремонте машин и оборудования в животноводстве, в котором определены виды, содержание и организация работ.

Техническое обслуживание машин и оборудования выполняют при эксплуатации, хранении и транспортировке. В процессе эксплуатации проводят ежесменное (ЕТО) и периодические (ТО-1) и (ТО-2) обслуживания. При ЕТО контролируют готовность рабочих органов к работе. Его выполняют перед началом смены. Допускается выполнять часть операций ЕТО в перерывах и в конце смены.

Периодические технические обслуживания проводят для проверки технического состояния машин и оборудования и соответствия их правилам эксплуатации. Их выполняют в перерывах технологических процессов приготовления кормов: ТО-1 — один раз в месяц; ТО-2 — один-два раза в год.

*Приводные цепи.* При обслуживании технологического оборудования приводные цепи очищают от пыли и грязи, проверяют их натяжение. Для контроля натяжения используют следующие значения провисания цепи при межцентровом расстоянии 1 м:

Шаг цепи, мм	15,875	19,05	25,4	31,75	38	41,3
Провисание, мм	15	20	25	30	35	40

При сильном загрязнении приводные цепи промывают в керосине или дизельном топливе, просушивают в течение 30 мин, а затем выдерживают в масле при температуре около 40 °С.

*Приводные клиновые ремни.* При обслуживании ременных передач контролируют натяжение ремней. При этом значения стрелы прогиба



клиновых ремней при межцентровом расстоянии шкивов 1 м не должно превышать 10...15 мм при усилии нажатия 30 Н.

*Шестерни, звездочки, шкивы.* Техническое обслуживание этих деталей сводится к осмотру их состояния, очистке от грязи и пыли. При износе зубьев шестерен и звездочек их заменяют новыми.

*Подшипники.* При обслуживании проверяют крепление корпусов, состояние и качество смазки, нагрев подшипников во время работы. Температура нагрева подшипников не должна превышать 60...65 °С. Смазывают подшипники два-три раза в месяц в зависимости от продолжительности их работы в сутки. Промывают подшипники один раз в год, при этом проверяют уплотнение и масленки.

*Редукторы.* Очищают от пыли, грязи и остатков корма. Проверяют уровень масла и при необходимости доливают его. Проверяют износ зубьев шестерен и размер радиального зазора. Один раз в год меняют масло в картере редуктора.

*Измельчитель-камнеуловитель ИКМ-5.* При ЕТО проверяют (визуально) состояние и крепление заземляющего провода, очищают рабочие органы от грязи, пыли и остатков корма, проверяют и при необходимости подтягивают резьбовые соединения, крепления ножей и ножевого диска.

При ТО-1 проверяют и подтягивают крепление скребков транспортера, проверяют и регулируют натяжение цепей транспортера, зазор между скребками транспортера и кожухом. Смазывают измельчитель в соответствии с таблицей смазки. Через каждые 480...510 ч работы заменяют масло в редукторе.

*Измельчитель ИКГ-30Б.* При ЕТО очищают наружные и внутренние поверхности от остатков корма и загрязнений, при необходимости подтягивают гайки креплений штифтов измельчающего аппарата, проверяют и подтягивают резьбовые соединения измельчителя, при необходимости регулируют натяжение цепей приводов. Проверяют отсутствие течи масла из редуктора. Осматривают заземляющий провод.

При ТО-1 дополнительно к операциям ЕТО проверяют натяжение цепей верхнего и нижнего транспортеров питателя, при необходимости регулируют натяжение клиновых ремней. Проверяют измельчитель на холостом ходу. Подкрашивают поверхности с поврежденным покрытием, заменяют масло в редукторе (один раз в 6 мес.).

*Дробилка зерна.* ЕТО заключается в проверке крепления осей дробильных молотков на роторе и корпусов подшипников электродвигателя, а также натяжения передаточных устройств. Вал электродвигателя следует прокрутить вручную на 1,5...2 оборота и убедиться в отсутствии заедания. Прокрутить дробилку вхолостую и убедиться в отсутствии посторонних шумов и стуков.

При ТО-1 проверяют износ дробильных молотков и поворачивают их на неизношенную рабочую грань или заменяют на новый комплект. Проверяют износ решета, при необходимости заменяют его.

*Смеситель картофеля С-7 и С-12.* При ЕТО следует очистить наружные поверхности от остатков корма и грязи, проверить крепление узлов, деталей и при необходимости подтянуть его. Проверить исправность запорной арматуры, систему управления выгрузки шнеком и задвижкой, плотность прилегания смотрового люка. Смазать подвижные соединения согласно карте смазки. Очистить и промыть паропровод. Включить смеситель, проверить показания манометра, наличие течи масла из редуктора и утечки пара из парораспределителя. Закрывать люк котла, подать пар под давлением и простерилизовать смесительную камеру в течение 30 мин.

При ТО-1 очистить внутреннюю поверхность смесителя, лопастные мешалки и выгрузной шнек от остатков корма, проверить состояние и крепление лопастей на валах мешалки и исправность шнека, при необходимости подтянуть прижимные фланцы или заменить асбестовые уплотнители. Промыть зубчатые колеса, звездочки и шкивы в керосине и просушить. Проверить плавность и надежность зацепления полумуфта и при необходимости отрегулировать их. Проверить состояние стального троса, обводных роликов системы управления выгрузным шнеком, уровень масла в приводе механизма управления выгрузным шнеком и задвижкой, а также в корпусе редуктора. При необходимости долить масло. Проверить состояние и натяжение приводных и клиновых ремней и приводной цепи выгрузного шнека. Подкрасить поверхность смесителя с поврежденным покрытием. Заменить масло в корпусе механизма управления выгрузным шнеком и задвижкой и в редукторе (один раз в 6 мес.).

*Агрегаты для сушки кормов типа АВМ.* При ЕТО следует проверить состояние наружных поверхностей, крепление подшипников узлов и всех ограждений. Очистить электродвигатель и приборы электрошкафа от загрязнений. Открыть топливную аппаратуру, проверить направляющий желоб, шамотные вставки, а также наличие кокса в топке и топливной аппаратуре. Проверить уровень масла в баке гидросистемы (масло должно быть видно под сеткой фильтра) и при необходимости долить. Проверить затяжку соединений запорных устройств и герметичность гидросистемы, а также надежность закрытия дверки дробилки и прижатия решета. Очистить отборщик тяжелых частиц, а при необходимости трубу системы отвода сухой массы и барабан. Снять крышку смотрового окна и проверить состояние крыльчатки вентиляторов циклонов отвода и охлаждения муки; при необходимости очистить крыльчатку лопаткой, которая входит в комплект инструмента.

Во время работы необходимо следить за показаниями приборов; проверять, нет ли течи масла из редуктора привода барабана; контролировать постоянство рабочих параметров; следить за подачей компонентов, нагревом подшипников и электродвигателей. Температура нагрева корпусов подшипников не должна превышать температуру окружающей среды более чем на 60 °С.

При ТО-1 (один раз в месяц). Выполнить операции ЕТО. Определить состояние электродов зажигания и при необходимости очистить их. Отрегулировать зазор между электродами, который должен быть равен 5 мм. Проверить состояние фотоголовки прибора контроля пламени, а при необходимости очистить или заменить сгоревшие фоторезисторы. Слить отстой из топливного фильтра. Проверить состояние сегментов уплотнения топки и соединительной трубы за барабаном, состояние направляющего желоба, натяжение полотна транспортера и конвейера и при необходимости отрегулировать. Проверить уровень масла в мотор-редукторах, в редукторе привода барабана и при необходимости долить масло. Проверить состояние решета и молотков дробилки, крепление скребков транспортера и конвейера, натяжение клиноременных и цепных передач, полотна транспортера и конвейера. Отрегулировать частоту вращения барабана (от максимальной до минимальной). Проверить состояние дозатора системы отвода сухой массы и системы отвода и охлаждения муки. Очистить все цепи и скребки от грязи.

Осмотреть электрошкаф и очистить от пыли установленные в нем аппараты, проверить затяжку винтов, заземление агрегата, состояние контактных соединений электроаппаратуры и проследить за тем, чтобы контакты не имели перекосов и одновременно не касались один другого. Проверить герметичность закрытия электромагнитного вентиля, состояние крыльчаток вентилятора теплогенератора, циклонов системы отвода сухой массы и системы отвода муки. Проверить битеры транспортера и конвейера-питателя зеленой массы, выгрузного шнека и винтового транспортера. Смазать узлы агрегата согласно карте смазки.

*Оборудование для гранулирования типа ОГМ.* ЕТО заключается в контрольном осмотре всех узлов и механизмов перед пуском в работу и уходе за роликами матрицы и другими узлами в процессе работы. Перед пуском необходимо проверить надежность крепления всех разъемных соединений, натяжение приводных ремней и цепей, уровень масла в редукторах и степень налипания переувлажненной муки на ротор и стенки смесителя. При необходимости долить масло в редукторы. Налипшую массу удалить через специальное окно в корпусе смесителя.

Проверить надежность системы подачи жидкости, уровень муки в бункере и состояние сит сортировальной установки. При проверке системы подачи жидкости нужно снять распылитель, в случае необходимости прочистить в нем отверстие и вновь поставить на место. Затем открыть кран, включить дозатор, нажать на заслонку механизма отключения и проверить, отключен ли магнитный клапан подачи жидкости в смеситель. Магнитный клапан должен срабатывать и при остановке электродвигателя дозатора.

Если гранулируемый продукт занимает всю коническую часть бункера, а коловорот находится в наклонном положении, то необходимо

вручную через люк в бункере поставить коловорот вертикально. В противном случае возможна поломка шарнира коловорота.

При работе необходимо постоянно следить за креплением всех узлов, болтовых соединений, крепящих сортировальную установку и циклоны к шлюзовым затворам. После 3...4 ч работы гранулятора смазать подшипники прессующих роликов и эксцентриковых втулок вала сортировки и проверить контакт роликов с матрицей.

При ТО-1, кроме операций ЕТО, надо переставить матрицу и ролики другой стороной, тщательно промыть ролики и фильтрующий элемент масляного насоса пресса. После 2...3 мес. работы промывку роликов проводят чаще (после 5...6 смен) или меняют манжеты.



**Раздел 5**  
**АВТОМАТИЗАЦИЯ**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ**  
**ПРОЦЕССОВ**  
**В ПОЛЕВОДСТВЕ**

---

---

## **Тема 5.1**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗЕРНОПУНКТОВ**

### **Технологическая схема зерноочистительного сушильного комплекса**

Производственный процесс в полеводстве объединяет такие ТП, как предпосевная подготовка семян, обработка почвы, посев и уход за растениями, уборка урожая, его транспортирование и послеуборочная обработка, хранение продукции. В свою очередь все перечисленные ТП представляют собой совокупность целенаправленных операций, выполняемых мобильными и стационарными машинами и агрегатами.

Наиболее сложными ТП являются очистка и сушка зерна. Необходимость послеуборочной обработки зерна обусловлена тем, что поступающий из комбайна зерновой ворох наряду с зерном содержит до 30 % сорных и до 5 % солоmistых примесей, а влажность зерна в зависимости от климатических условий значительно отличается от допустимой (14 %) и иногда достигает 30 %.

Для послеуборочной очистки и искусственной сушки зерна на сельскохозяйственных предприятиях используют стационарные зерноочистительно-сушильные пункты. Эти пункты оснащают зерноочистительными агрегатами типа ЗАВ и очистительно-сушильными комплексами типа КЗС производительностью 10...100 т/ч и вентилируемыми бункерами вместимостью до 100 т. Для очистки и сортирования зернового вороха используют воздушно-решетные и триерные машины, для сушки — зерносушилki шахтного или барабанного типа и установки 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 пункты 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 обработки зерна в 2...3 раза по сравнению с использованием этих же машин в разрозненном виде.

Зерноочистительные агрегаты серии ЗАВ выпускают производительностью 10, 20, 40, 50, 100 т/ч. Они предназначены для районов с относительно сухим климатом, в которых влажность зерна из комбайнов не превышает 18 %.

Зерноочистительно-сушильные комплексы (КЗР-5, КЗС-10Ш, КЗС-20Ш, КЗС-40Ш, КЗС-50, КЗС-10Б и КЗС-20Б) используют в увлажненных зонах, в которых при уборке влажность зерна превышает 18 %. В зонах с влажностью зерна при уборке 18...20 % комплексы оборудуют бункерами активного вентилирования БВ-12,5, БВ-25, БВ-50. В зонах с избыточной влажностью на комплексах, в марках которых указана буква Ш, устанавливают шахтные зерносушилki СЗШ-8 и СЗШ-16 производительностью 2,4 и 8 т/ч на сушке продовольственного зерна.

Агрегаты и комплексы поточных линий электрифицированы и автоматизированы. В агрегатах типа ЗАВ 6...16 электродвигателей суммарной мощностью 16...47 кВт, а в комплексах типа КЗС — 22...34 электродвигателя суммарной мощностью 65...150 кВт. На агрегатах и комплексах установлены приборы контроля и регулирования технологических параметров: датчики уровня сыпучих материалов, температуры теплоносителя на входе в зерносушилку и выходе из нее, 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 технических средств разработаны пульты 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 в линии;

- возможность ручного включения и отключения любой машины при наладке без соблюдения технологических блокировок;

- 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 сушилki;

- световую сигнализацию о включении и отключении всех двигателей машин и механизмов, о предельных уровнях зерна в сушилках и технологических емкостях, об отклонении температуры теплоносителя от заданного значения.

Кроме световой предусмотрена аварийно-предупредительная сигнализация, которая срабатывает при аварийной остановке какой-либо машины, при переполнении технологических емкостей, а также при погасании пламени в топке.

Технологические и электрические схемы автоматизации зернопункта рассмотрим на примере наиболее распространенного зерноочистительно-сушильного комплекса КЗС-20Ш. Автоматизация других агрегатов и комплексов выполнена аналогично.

Комплекс КЗС-20Ш предназначен для послеуборочной обработки зерновых, зернобобовых и крупяных культур. Комплекс состоит из зерноочистительного и сушильного отделений. Зерноочистительное отделение включает в себя завальную яму 17 (рис. 5.1), 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 резервный 18. Все машины и пульта управления смонтированы на блоке бункеров, которые одновременно являются их несущей конструкцией и емкостями для промежуточного хранения обрабатываемого зерна.

Сушильное отделение представляет собой сушилку СЗШ-16 с двумя шахтами (10 и 12), пять норий (7, 9, 11, 13, 15), охлаждающие колонки (8 и 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 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 охлаждающие колонки 8 и 14 для охлаждения наружным воздухом, а затем норией 7 направляется в воздушно-решетные машины 4 для дальнейшей очистки и транспортерами 2 — на триерные блоки 1 — для сортирования. Очищенные семена и отходы поступают в соответствующие секции блока бункеров. 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 самотеком 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 охлаждающую колонку 14. Охлажденное зерно шлюзовым затвором выгружается из колонки 14 и направляется



норией 7 в резервный бункер 18, а затем загрузочной норией 5 подается на очистку.

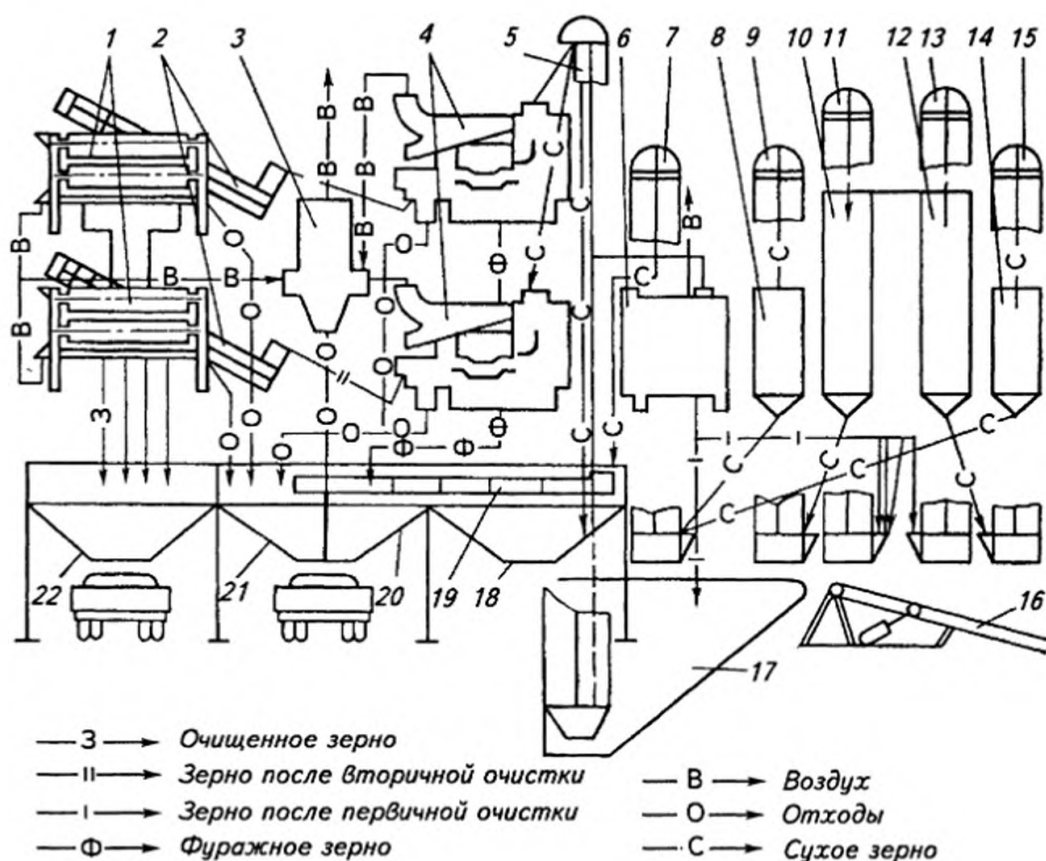


Рис. 5.1. Технологическая схема комплекса КЗС-20Ш:

1 — триерный блок; 2 — передаточные транспортеры; 3 — централизованная аспирационная система; 4 — воздушно-решетные машины; 5 — загрузочная двухпоточная нория; 6 — машина предварительной первичной очистки; 7, 9, 11, 13, 15 — нории; 8, 14 — охлаждающие колонки; 10, 12 — шахты зерносушилки; 16 — автомобилеподъемник; 17 — завальная яма; 18 — резервный бункер; 19 — транспортер отходов; 20 — бункер фуража; 21 — бункер отходов; 22 — бункер очищенного зерна

В воздушных каналах от зерна отделяются легкие примеси и по системе воздуховодов выносятся в осадочную камеру централизованной аспирационной системы 3, где примеси выводятся в секцию отходов, а очищенный воздух вентилятором выбрасывается наружу. В воздушно-решетных 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 воздушно-решетных машинах.

В зависимости от назначения и степени засоренности зерна триерные блоки настраивают на параллельную или последовательную работу цилиндров. Чистые семена и фракции очистки системой зернопроводов направляются в соответствующие бункеры.

## Автоматизация линии обработки зерна

Принципиальная электрическая схема управления очистительным отделением комплекса КЗС-20Ш показана на рис. 5.2.

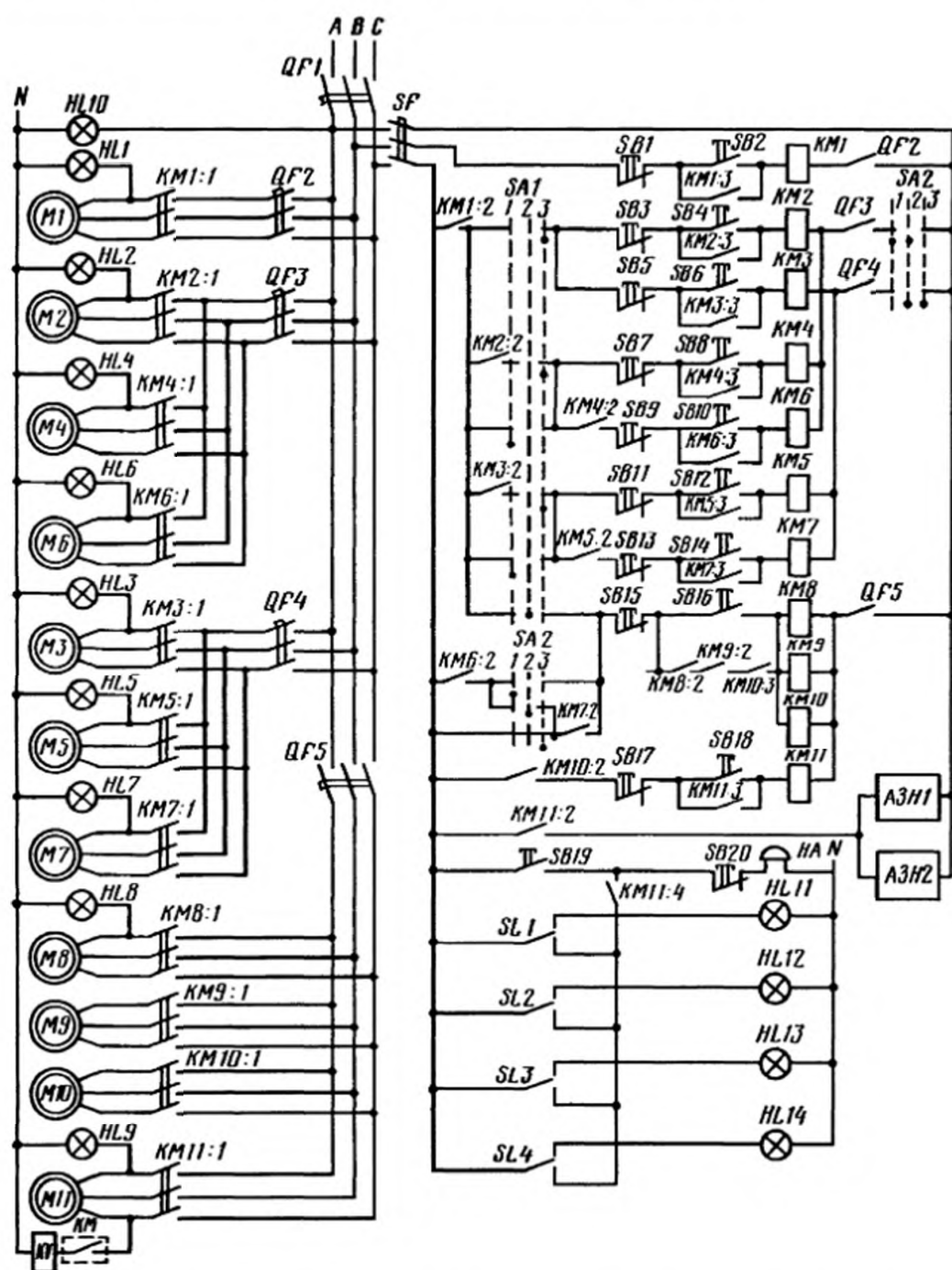


Рис. 5.2. Принципиальная электрическая схема управления и сигнализации очистительно-сушильного комплекса КЗС-20Ш

В зависимости от количества и засоренности зерновой массы устанавливают в соответствующее положение переключатели SA1 и SA2, задавая режим работы оборудования по семи различным вариантам: при переводе переключателя SA1 в положение 3 возможна работа всех машин предварительной, воздушно-решетной и триерной очистки,

а также отдельная работа первой или второй линии 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* находится в положении 2, работает также машина предварительной очистки.

Чтобы предотвратить завал зерна при пуске и остановке машин, последовательность пуска электроприводов машин должна быть противоположна движению зерна. В качестве примера рассмотрим работу схемы при включении машин по основному варианту, когда включаются все машины.

Сначала включают автоматы *QF1...QF5*, переключатель *SA1* переводят 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. После этого кнопками *SB4* и *SB6* включают электроприводы *M2* и *M3* (каждый мощностью 2,2 кВт) двух блоков триеров 1. Передаточные транспортеры 2 и воздушно-решетчатые 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*, *A3H2* открываются автоматически (от блок-контактов *KM11:2*). Машины останавливают 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.

## Тема 5.2

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗЕРНОСУШИЛОК

### Технологические основы автоматизации сушки зерна

В поточных линиях послеуборочной обработки зерна в основном используют шахтные зерносушилки, отличающиеся от барабанных хорошей управляемостью.

Шахтная зерносушилка СЗШ-16 состоит из двух параллельно расположенных шахт, двух охлаждающих камер, вентиляторов и воздуховодов. Загрузка сырого зерна и перегрузка пересушенного в охлаждающие камеры обеспечивается четырьмя порциями.

Шахта сушилки состоит из двух секций, поставленных одна на другую. Внутри шахты расположены 14 рядов коробов, по восемь коробов в каждом ряду. К наружным стенкам шахт присоединяют всасывающие воздуховоды вентиляторов, подача сушильного агента производится в диффузор, образованный пространством между шахтами. Над каждой шахтой установлен подсушильный бункер, излишек зерна из которого сыпается в бункер нории для сырого зерна.

Зерно из шахт выгружается непрерывно действующим устройством через восемь лотков.

Охлаждающая камера состоит из двух вертикальных цилиндров с перфорированными стенками и конусным дном, шлюзового затвора и вентилятора. Эффект охлаждения создается за счет движения наружного воздуха через стенку наружного цилиндра, слой зерна во внутренний цилиндр и оттуда — в атмосферу.

Зерносушилки характеризуются большим количеством входных и выходных параметров. Основные выходные параметры процесса — влажность  $w_{з.к}$  (рис. 5.3) и температура  $\theta_{з.к}$  на выходе из зерносушилки, а также некоторый показатель  $\mathcal{E}$ , определяющий эффективность работы зерносушилки (производительность, стоимость обработки или другой технико-экономический критерий). При этом текущее значение  $\theta_{з.к}$  не должно быть более  $\theta_{\max}$  во избежание ухудшения качества продукта (снижения всхожести и т. п.). К числу выходных параметров агента, непосредственно влияющих на основные регулируемые параметры  $w_{з.к}$  и  $\theta_{з.к}$ , относят также и температуру сушильного агента  $\theta_a$ .



В качестве регулирующих воздействий используют изменение подачи топлива  $G_T$  и зерна  $G_3$ . Остальные входные параметры, в том числе начальные влажность  $w_{3,н}$  и температура  $\theta_{3,н}$  зерна, расход сушильного агента  $L_a$  и его влажность  $\phi_a$ , относятся к группе возмущающих воздействий.

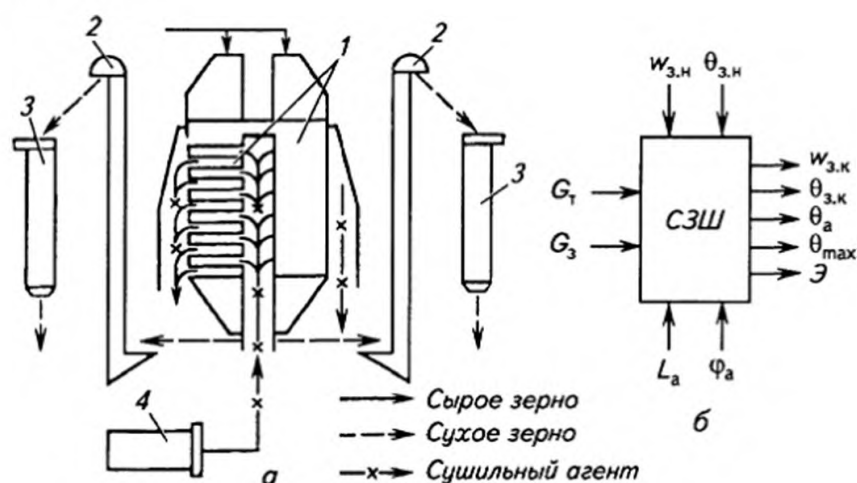


Рис. 5.3. Функциональная (а) и параметрическая (б) схемы шахтной зерносушилки:

1 — шахты зерносушилки; 2 — норрии; 3 — охлаждающие колонки; 4 — теплогенератор;  $w_{3,к}$ ,  $\theta_{3,к}$  — влажность и температура зерна на выходе;  $\theta_{max}$  — максимально допустимая температура зерна;  $L_a$ ,  $\theta_a$  и  $\phi_a$  — расход, температура и влажность сушильного агента;  $G_T$ ,  $G_3$  — подача топлива и зерна;  $\theta_{3,н}$ ,  $w_{3,н}$  — температура и влажность зерна на входе;  $\mathcal{E}$  — критерий эффективности процесса

Шахтная зерносушилка как объект автоматизации характеризуется сложностью взаимных связей между входными регулирующими и возмущающими воздействиями и регулируемыми параметрами.

Управление зерносушилкой должно быть оптимальным с точки зрения выбранного показателя эффективности  $\mathcal{E}$ . Поскольку зерносушилка действует в едином технологическом потоке и оптимальное управление ею должно соответствовать наиболее эффективной работе предприятия, то искомый показатель следует выбирать из совокупности частных показателей (критериев) и в первую очередь таких, как критерий максимума производительности сушилки и отклонений влажности конечного продукта от кондиционных норм. Эти показатели связаны между собой, так как повышение производительности приводит к увеличению конечной влажности.

### Автоматическое регулирование температуры сушильного агента, максимально допустимой температуры зерна и его влажности

Автоматическое регулирование температуры сушильного агента  $\theta_a$  осуществляется изменением подачи топлива в форсунку топки (рис. 5.4)

или подачи наружного воздуха вентилятором. Передаточная функция объекта  $W_1(p)$  по каналу  $G_T \rightarrow \theta_a$  характеризуется относительно небольшой постоянной времени (260 с) и запаздыванием (60 с).

Чувствительный элемент регулятора может быть установлен непосредственно после топки. Тогда регулирование температуры сушильного агента по зонам сушки осуществляют изменением подачи наружного воздуха.

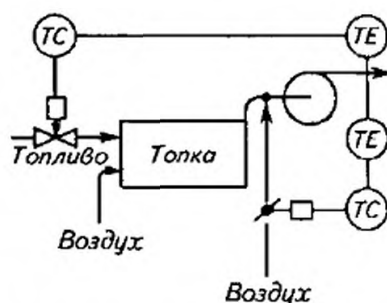


Рис. 5.4. Функциональная схема автоматизации управления температурой сушильного агента

Задание регулятору целесообразно корректировать в зависимости от начальной влажности зерна  $w_{з.н}$ . Это можно делать автоматически или вручную, но не чаще, чем измерять влажность поступающего зерна (примерно 1 раз в 1,5 ч).

Автоматическое регулирование максимально допустимой температуры нагрева зерна  $\theta$  происходит за счет поддержания температуры сушильного агента в последней зоне сушки, точнее в предпоследнем ряду коробов сушильной камеры, вследствие изменения подачи наружного воздуха (рис. 5.5).

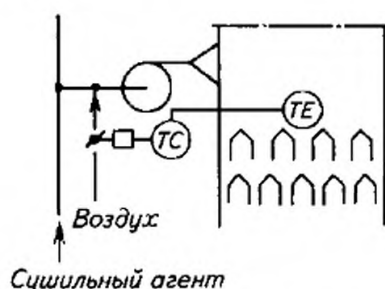


Рис. 5.5. Функциональная схема автоматизации управления максимальной температурой нагрева зерна

Автоматическое регулирование влажности зерна  $w_{зк}$  обеспечивается изменением производительности сушки  $G_k$  за счет изменения положения выпускного механизма (рис. 5.6). Передаточная функция  $(p)$  объекта по каналу  $G_k \rightarrow w_{зк}$  характеризуется большой инерционностью (постоянная времени 1500...1800 с, запаздывание 600...1320 с), поэтому в условиях активно действующих возмущающих воздействий следует принять ПИ-закон регулирования. Еще больший эффект следует ожидать от использования системы самонастройки регулятора к изменяющимся условиям, вызванным переменными факторами работы, главным образом начальной влажностью зерна.

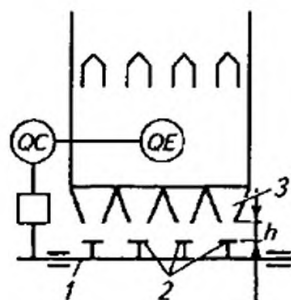


Рис. 5.6. Структурная схема системы регулирования конечной влажности зерна:

1 — каретка; 2 — полки; 3 — выходные лотки

В качестве регулирующего воздействия можно использовать изменения расхода сушильного агента  $L_a$ , но при этом будет изменяться также и производительность сушилки.

Обычные требования к регулирующим органам (достаточный диапазон изменения регулирующего воздействия и линейность характеристик) в данном случае обеспечить не просто. Наилучшие возможности в этом плане имеет выпускной механизм сушилки СЗШ-16А, расположенный в нижней части шахты. Он представляет собой каретку 1 (см. рис. 5.6) с закрепленными на ней полками 2, перекрывающими сечение выходных лотков 3 шахты. Производительность сушилки регулируют, изменяя зазор  $h$  между полками и выходными лотками. При этом предполагается, что подача зерна в приемный бункер сушилки превышает его расход, в результате чего часть зерна возвращается самотеком в исходный бункер. Многократное перемещение зерна транспортирующими механизмами приводит к их нерациональной загрузке и, главное, травмирует зерно. Указанных недостатков лишена система автоматической стабилизации уровня зерна в приемном бункере с помощью двухпозиционного регулятора, управляющего норией загрузки. Для контроля уровня на приемном бункере установлены два датчика мембранного типа.

Конечную влажность зерна можно контролировать с помощью диэлько- или кондуктометрического влагомера. При этом необходима коррекция показаний прибора в зависимости от температуры зерна. Комбинированный преобразователь, измеряющий влажность и температуру, устанавливают в потоке зерна ниже зоны нагрева. Измеритель влажности включают в мостовую схему, питаемую переменным напряжением частотой более 1 МГц. Сигнал разбаланса мостовой схемы корректируется в зависимости от температуры зерна, усиливается и может быть использован для изменения производительности сушилки. Результаты измерения влажности зерна на входе в сушилку могут быть использованы в системе комбинированного регулирования для коррекции управляющего воздействия.

Градуировочные характеристики измерительного преобразователя влажности зерна зависят от его вида. Алгоритм коррекции хранится в запоминающем устройстве влагомера. Обслуживающее влагомер

вычислительное устройство способно хранить данные по каждому режиму сушки, включая расход топлива, производительность сушиллки и др.

На сельскохозяйственных предприятиях широко применяют также барабанные зерносушиллки СЗПБ-2, СЗПБ-4 и СЗСБ-8 производительностью соответственно 2, 4 и 8 т/ч.

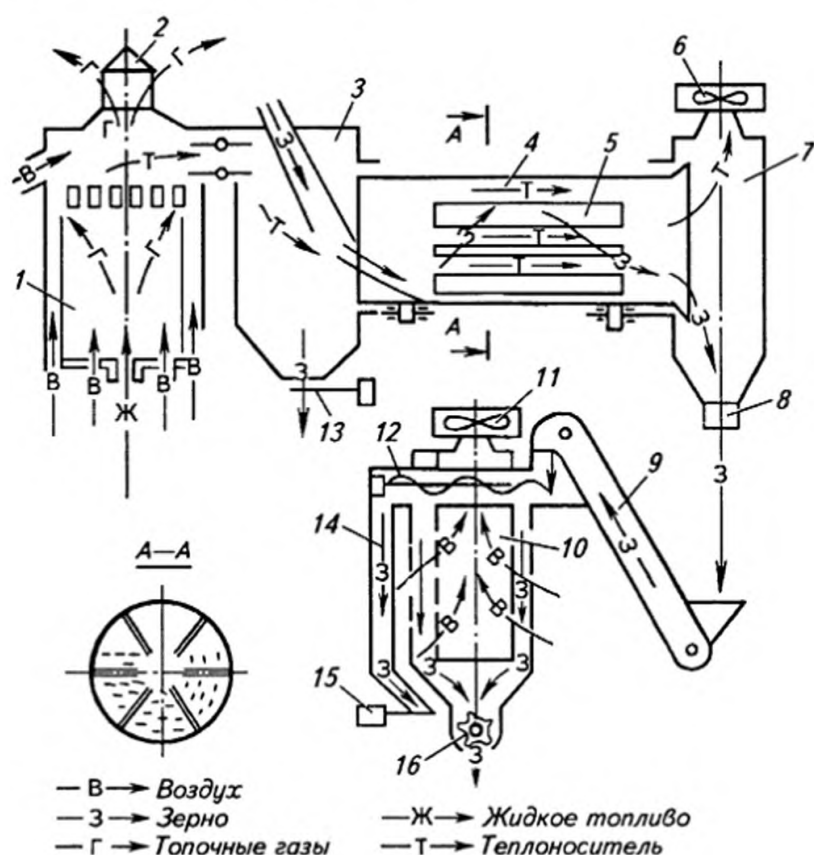


Рис. 5.7. Технологическая схема зерносушиллки СЗСБ-8:

1 — топка; 2 — газоудалительная труба; 3 — загрузочная камера; 4 — сушильный барабан; 5 — подъемные лопатки; 6 — вытяжной вентилятор; 7 — разгрузочная камера; 8, 16 — шлюзовые затворы; 9 — элеватор; 10 — охлаждающая колонка; 11 — вентилятор; 12 — шнек; 13 — клапан-мигалка; 14 — зернослив; 15 — клапан с контактным датчиком

Рассмотрим технологическую схему зерносушиллки СЗСБ-8, которую включают в состав комплексов послеуборочной обработки зерна типа КЗС-20Б. Эта сушиллка включает в себя топку 1 (рис. 5.7), загрузочную камеру 3, сушильный барабан 4 с подъемными лопатками 5, разгрузочную камеру 7, элеватор 9, охлаждающую колонку 10 со шнеком 12. Механизм сушильного барабана приводится в действие 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 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 шлюзовой затвор 8 направляется элеватором 9 в охлаждающую колонку 10. В охлаждающей колонке зерно перемещается сверху вниз и при помощи вентилятора 11 продувается наружным воздухом и охлаждается. В верхней части колонки расположен горизонтальный шнек 12 для подачи и разравнивания зерна. Излишнее зерно при загрузке колонки попадает в зернослив 14, на конце которого закреплен клапан 15 с контактным датчиком. От контактного датчика и датчика верхнего уровня зерна включается шлюзовой затвор 16, который выпускает порцию зерна. Выпуск зерна прекращается в момент срабатывания датчика минимального уровня, установленного в верхней части охлаждающей колонки.

Теплоноситель получают в топке 1 при сжигании жидкого топлива (керосина или смеси из 75 % керосина и 25 % моторного топлива) и нагрева топочными газами воздуха, подаваемого в топку. Побочные газы удаляются через трубу 2, отработанный теплоноситель выбрасывается в атмосферу вентилятором 6.

Принципиальная электрическая схема управления двумя зерносушилками СЗСБ-8, входящими в комплект КЗС-20Б, показана на рис. 5.8. Она состоит из цепей дистанционного пуска и останова агрегатов, управления топкой, световой и звуковой сигнализации. Автоматами *QF1*, *QF2* и переключателем *SA1* выбирают заданный вариант работы оборудования: работа только первой или второй зерносушилki или их совместная работа (переключатель *SA1* будет находиться соответственно в положении 1, 2 или 3). Перед пуском зерносушилki включают автоматы *SF1*, *SF2*, подающие напряжение в схему управления, и кнопкой *SB2* включают магнитный пускатель *KM16*. Блок-контакты *KM16:3* через реле *KV3* включают предупредительный звуковой сигнал *HA*, который после пуска агрегатов снимают кнопкой *SB21* через реле *KV1...KV3*.

Рассмотрим работу схемы при пуске первой зерносушилki. 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 *YA1* подачи топлива. При появлении пламени в топке срабатывает фотореле *KV5*, которое включает реле *KV4*. Последнее становится на самоподпитку через контакт *KV4* и отключает реле *KT1*.

Если в течение 15 с в топке пламя при пуске не вспыхивает, то реле *KT1* на 165 с после пуска шунтирует цепь *R* и этим вызывает срабатывание реле *KV5*, а затем реле *KV4*. Реле *KV4* одним контактом отключает реле времени *KT1*, а другим контактом разрывает одну из двух цепей питания магнитного пускателя *KM2*. Реле *KT1*, расшун-

тируя 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. Аналогично действует схема при погашении пламени в топке по любым причинам. Повторный пуск зерносушилки оператором возможен только после устранения причин погасания пламени.

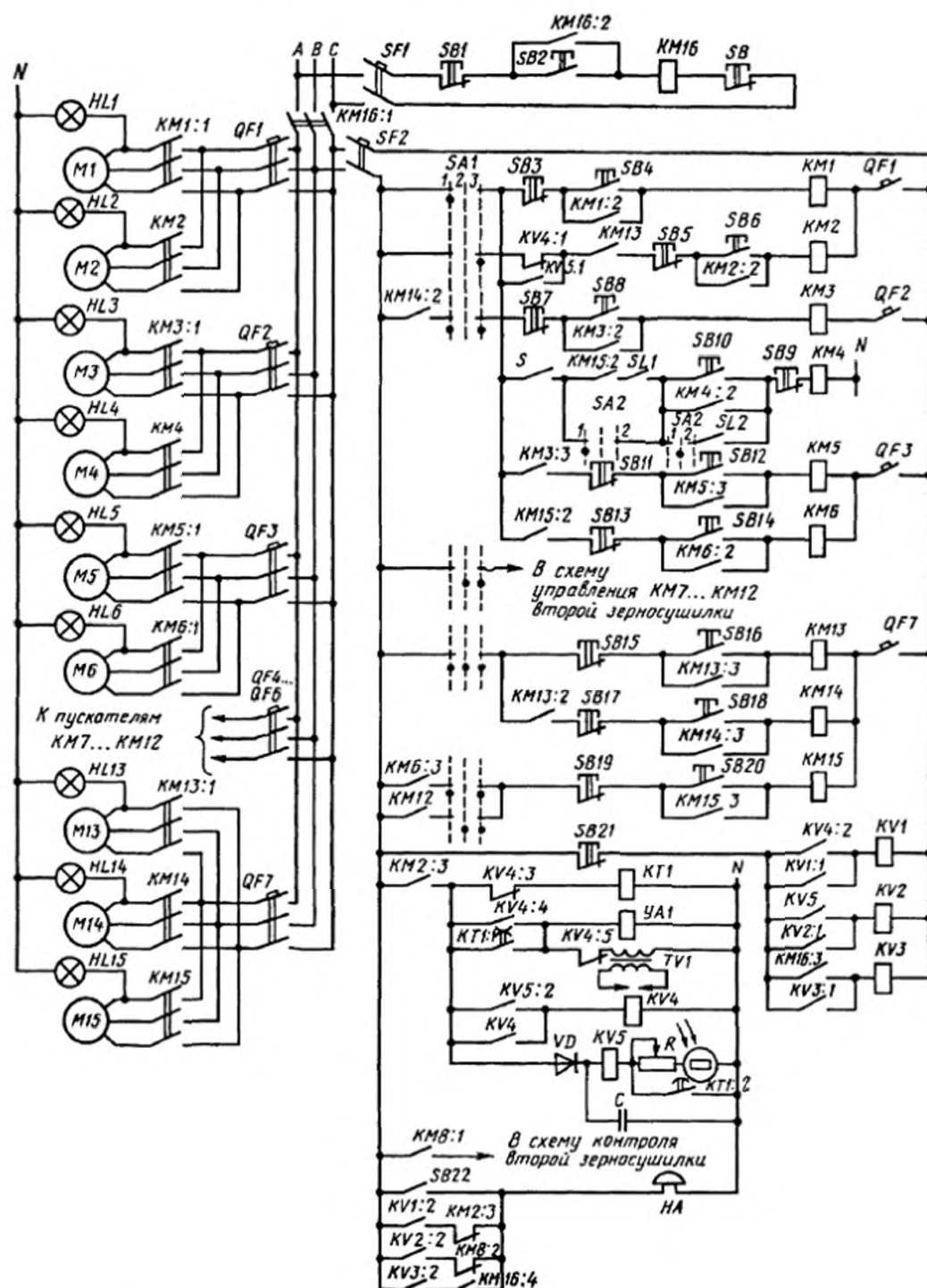


Рис. 5.8. Принципиальная электрическая схема управления барабанными зерносушилками СЗСБ-8

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* посредством кнопок *SB16...SB20* включают соответственно электроприводы двухпоточных норий: *M13* — охлаждающих колонок, *M14* — разгрузочных сушилок и *M15* — промежуточных норий. Мощность каждого электродвигателя норий равна 2,2 кВт. Только после включения разгрузочной нории сушилок можно включить кнопкой *SB8* электропривод *M3* разгрузочного устройства 8 сушилки.

Аналогично включают и отключают электродвигатели *M7...M12* второй зерносушилки.

Электроприводом *M4* разгрузочного устройства 16 охлаждающей колонки 10 можно управлять вручную или при помощи кнопок *SB9* и *SB10* или автоматически при помощи датчиков уровня зерна (в последнем случае переключатель *SA2* ставят в положение 2).

Нижний и верхний уровни зерна в охлаждающей колонке контролируют датчики уровня *SL1* и *SL2*. Если уровень зерна достигает 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.

Для остановки зерносушилки оператор поочередно отключает оборудование в последовательности, обратной пуску, при помощи кнопок «Стоп»: *SB19...SB1*. В экстренных случаях одновременно все машины останавливают кнопкой *SB* или *SB1*.

## Тема 5.3

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЧИСТИТЕЛЬНЫХ И СОРТИРОВАЛЬНЫХ МАШИН

### Современные технологии очистки и сортировки зерновой массы

Очистку и сортировку зерновой массы в потоке выполняют, как правило, в процессе предварительного и окончательного сепарирования на воздушно-решетной машине.

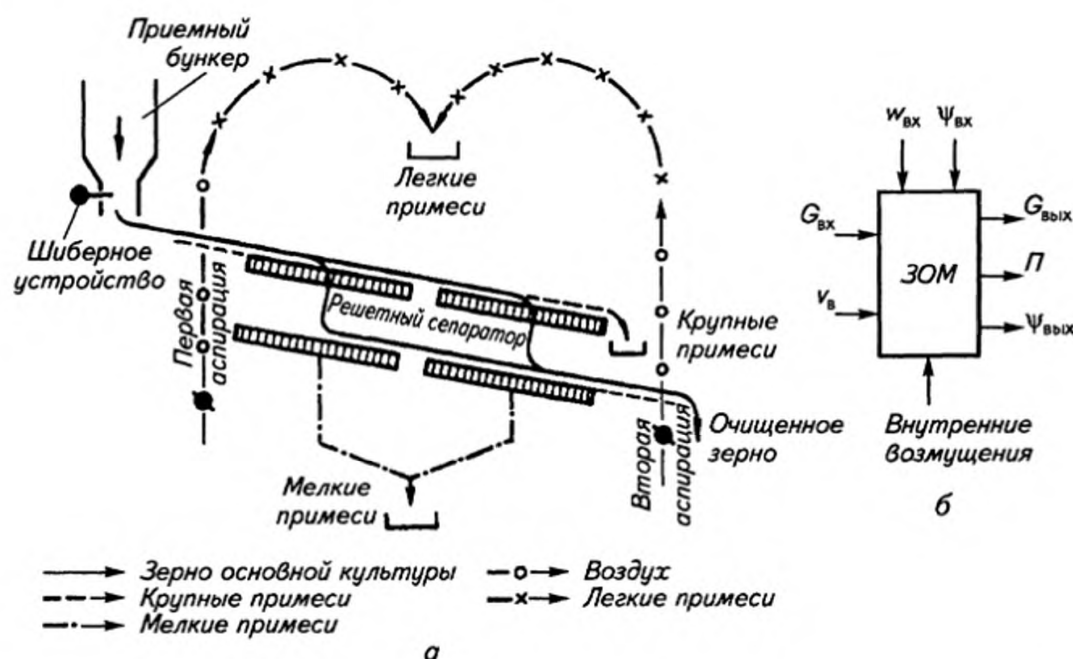


Рис. 5.9. Функциональная (а) и параметрическая (б) схемы воздушно-решетной зерноочистительной машины ЗОМ:

$G_{вх}$ ,  $G_{вых}$  — масса зерна соответственно на входе и выходе;  $v_{в}$  — скорость движения воздуха;  $w_{вх}$  — влажность зерна;  $\psi_{вх}$ ,  $\psi_{вых}$  — чистота зерна соответственно на входе и выходе;  $\Pi$  — потери зерна

Зерновая масса из приемного бункера питателем подается в канал первой аспирации (рис. 5.9, а), где воздушным потоком отделяются и выводятся из машины легкие примеси. Затем зерновая масса поступает на решетный сепаратор из четырех колеблющихся решет, распо-



ложенных попарно одно над другим и под некоторым углом к горизонтали. Верхние решета (сортировальные) — проходные, т. е. зерно основной культуры через них просеивается, а крупные примеси скатываются (идут сходом) и удаляются из машины. Нижние решета (подсевные) выделяют из потока мелкие примеси, удаляемые из машины, а зерно основной культуры идет сходом, проходит через воздушный клапан второй аспирации, где освобождается от мелких примесей, и очищенное покидает машину. Работа зерноочистительной воздушно-решетной машины характеризуется производительностью и потерями зерна  $\Pi$ , т. е. содержанием полноценного зерна в отходах (рис. 5.9, б). Основные регулирующие воздействия — изменение подачи зерна  $G_{вх}$  и скорости движения воздуха  $v_{в}$  в аспирационных каналах. К возмущающим воздействиям относятся влажность  $w_{вх}$  и чистота  $\psi_{вх}$  поступающей зерновой массы.

Опыт эксплуатации свидетельствует о том, что регулирующее воздействие  $G_{вх}$  влияет на решетный и воздушный сепараторы, а регулирующее воздействие  $v_{в}$  — только на воздушный сепаратор.

## Автоматизация очистительных и сортировальных машин

Современные технические средства позволяют существенно усовершенствовать контроль параметров очистки и сортировки зерна, а также обеспечить качественное управление этими технологическими процессами. Например, потери зерна можно контролировать с помощью индикатора, выполненного в виде пьезоэлектрического элемента и наклеенного на текстолитовую мембрану. При ударе зерна в мембрану пьезоэлемент вырабатывает быстрозатухающий электрический сигнал. Его амплитуда и длительность зависят от силы удара, что позволяет ему не реагировать на удары легких фракций (половы, соломы). Индикатор имеет выходы на стрелочный прибор и светозвуковую сигнализацию. Его преобразователи устанавливают в местах выхода крупных и легких отходов.

Загрузка воздушно-решетной машины вторичной очистки может быть стабилизирована работой системы автоматического регулирования (САР), воздействующей на шиберное устройство промежуточного бункера зерна. Загрузку машины измеряют расходомером зерна  $PЗ$  (рис. 5.10), лоток которого перемещает плунжер дифференциального трансформаторного измерительного преобразователя  $ДР$ .

Принцип действия системы регулирования чистоты зерна в следующем. Обработываемое зерно поступает в зерноочистительную машину  $ЗОМ$  из промежуточного бункера  $ПБ$  через шибер  $ШУ$  и расходомер регулятора загрузки  $PЗ$ . Регулятор стабилизирует загрузку машины на уровне, установленном задатчиком  $ЗД$ . Периодически, через заданные промежутки времени, программным устройством включается анализатор чистоты зерна. Его пробоотборник  $ПО$  отбирает из потока

зерна на выходе из машины пробу и помещает ее в весоизмерительное устройство ВУ. По достижении заданной массы пробы в работу включается сепаратор СП. Чистое зерно взвешивается ВУ, и результат сравнивается с заданным значением, соответствующим кондиционному зерну. Если масса пробы ниже (выше) заданной, то загрузка машины уменьшается (увеличивается) за счет соответствующей коррекции задания регулятору загрузки. Описанный алгоритм коррекции периодически повторяется по команде программного устройства ПУ.

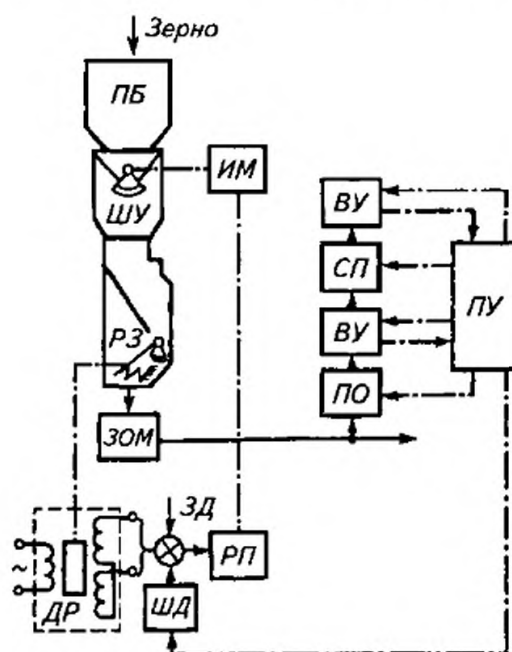


Рис. 5.10. Функциональная схема регулирования загрузки и чистоты продукта зерноочистительной машины ЗОМ:

ПБ — промежуточный бункер; ШУ — шиберное устройство; РЗ — расходомер зерна; РП — регулирующий прибор; ИМ — исполнительный механизм; ДР — датчик расходомера; ПО — пробоотборник; ВУ — весоизмерительное устройство; СП — сепаратор; ПУ — программное устройство; ШД — шаговый двигатель; ЗД — задатчик

## Тема 5.4

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АКТИВНОГО ВЕНТИЛИРОВАНИЯ ЗЕРНА

### Технологические основы процесса активного вентиляции зерна

Активное вентилирование заключается в продувании зерновой массы холодным или подогретым воздухом и используется для сушки семенного зерна, временного хранения (консервирования) зерна и аэрации зерна при длительном хранении. К сожалению 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 консервирования, предупреждает самосогревание, охлаждает и подсушивает зерновые насыпи.

Круглосуточное вентилирование необходимо при влажности зерна выше 20 %. В дождливую погоду проводят периодическое вентилирование зерна подогретым воздухом в течение 1,5 ч через каждые 4...6 ч.

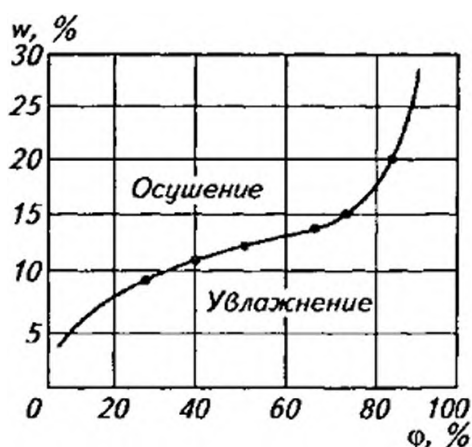


Рис. 5.11. Зависимость равновесной влажности зерна  $w$  от относительной влажности воздуха  $\phi$

Активное вентилирование — разновидность конвективного способа сушки, отличающегося тем, что процесс протекает при высоких тем-

пературах и медленном обезвоживании продукта. Воздушный поток, пронизывающий толстый слой зерна, поглощает влагу до тех пор, пока не наступит гигроскопическое равновесие двух сред — зерна и воздуха. Поэтому конечная влажность зерна зависит от влажности нагнетаемого в его массу воздуха. Так, кондиционная влажность пшеницы 14 % может быть получена при относительной влажности вентиляционного воздуха не более 65 %.

«Мягкие» режимы сушки способствуют благоприятному протеканию биологических процессов в массе зерна, повышают энергию прорастания и ускоряют послеуборочное дозревание, что особенно важно для семенного зерна.

В основе сушки вентилированием лежит зависимость так называемой равновесной влажности зерна  $w$  от относительной влажности воздуха  $\phi$  (рис. 5.11). Из-за гигроскопических свойств зерно увлажняется при относительной влажности воздуха выше равновесной и подсушивается при его влажности ниже равновесной. Для уменьшения относительной влажности воздуха его подогревают: на каждый градус нагрева относительная влажность воздуха снижается примерно на 5 %. При сушке воздух обычно подогревают на 10...12 °С.

### **Автоматическое управление процессом активного вентилирования зерна**

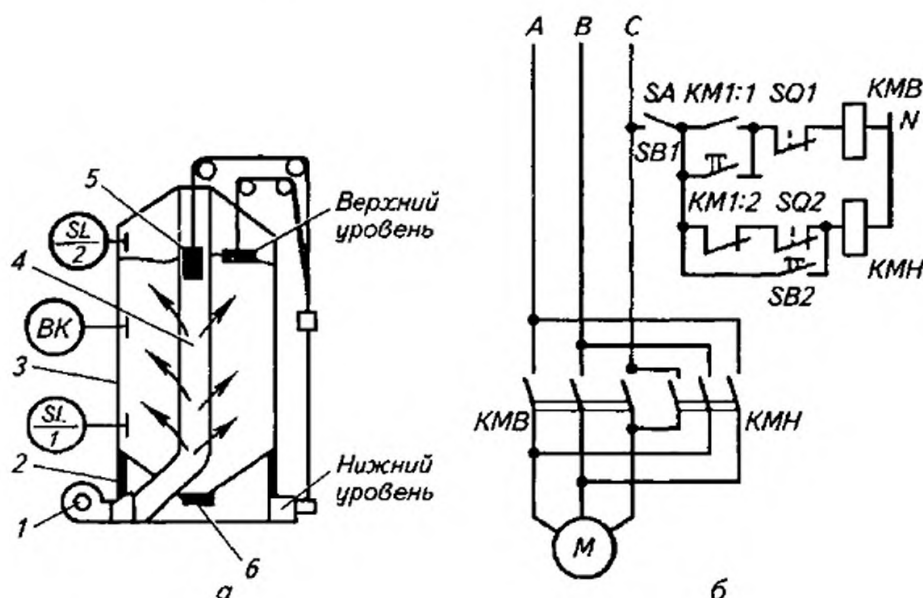
Для активного вентилирования зерна атмосферным воздухом используют вентилируемые бункеры типа БВ и др. Вентилируемый бункер имеет цилиндрическую форму и выполнен из штампованных перфорированных секций. Несколько бункеров объединяют в группу. Зерно засыпают между внутренним и внешним цилиндрами.

Автоматизация бункеров активного вентилирования зерна предусматривает автоматическое управление загрузкой бункеров, воздухо-распределением в бункере, температурой и влажностью зерна и продуваемого воздуха. Нория загружает зерно в бункер 3 (рис. 5.12, а), в котором происходит вертикальное и радиальное воздухо-распределение. В центре бункера установлена перфорированная воздухо-распределительная труба 4, внутри которой от электропривода перемещается поршень-заглушка 5. Разгружается бункер самотеком через люк 6. Вентилятор 1 прогоняет воздух через электрокалорифер 2 и подает его в массу зерна.

Автоматическая система управления воздухо-распределением воздействует на электропривод  $M$  (рис. 5.12, б), 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 перемещает поршень вверх, пока не разомкнутся контакты конечного



выключателя *SQ1*. Окончание загрузки и отключение нории вызывает замыкание блок-контакта *KM1:2* в цепи включения катушки *KMN* реверсивного пускателя привода загрузки. Теперь загрузка опускается до тех пор, пока датчик 6 положения не коснется зерна и, разомкнув свои контакты *SQ2*, не отключит катушку *KMN*. При помощи кнопок *SB1* и *SB2* можно дистанционно управлять электроприводом и загрузкой, связанной с ним тросом.



**Рис. 5.12. Функциональная схема бункера активного вентилирования (а) и принципиальная электрическая схема управления поршнем-заглушкой (б):**

1 — вентилятор; 2 — электрокалорифер; 3 — бункер;  
4 — воздухораспределительная труба; 5 — поршень-заглушка; 6 — люк

Для управления загрузкой, температурой и влажностью зерна предназначена схема, представленная на рис. 5.13.

Переключатели *SA1* и *SA2* могут быть установлены в два положения: *C* — сушка, *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 электродвигатель *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  $M2$  вентилятора (переключатели  $SA1$  и  $SA2$  находятся в положениях соответственно  $C$  и  $A$ ).

Влажность воздуха на входе в слой зерна и на выходе из него контролируют влагомерами с контактными датчиками *B1* и *B2*, которые замыкаются при повышенной относительной влажности воздуха соответственно на входе в бункер и выходе из него. 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 количество влаги, выносимое 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  $KT$  с выдержкой времени, достаточной для выноса влаги из зерна к датчику  $B2$ .

Электронагревательные элементы  $EK$  калорифера включаются только при работающем вентиляторе, когда влажность воздуха на входе в зерно достаточно высокая. В этом случае замыкаются контакты  $B1$  влагомера и реле  $KV1$  включает магнитный пускатель  $KM3$  калорифера. Калорифер отключается 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  $SK$ . Когда температура зерна достигает максимально допустимого значения, замыкаются контакты  $SK$ , и магнитный пускатель  $KM2$  включает вентилятор. При этом для снижения (до 65 %) относительной влажности воздуха его пропускают через электрокалорифер. Вручную оборудованием бункера управляют кнопками  $SB1...SB6$ , предварительно установив в положение  $P$  переключатель  $SA2$ .

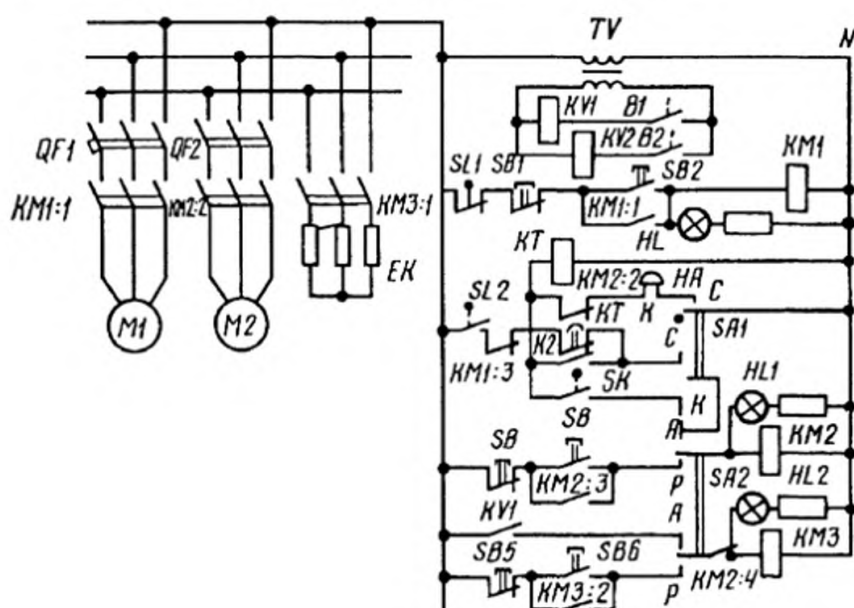


Рис. 5.13. Электрическая схема бункера активного вентилирования зерна

## Тема 5.5

# АВТОМАТИЗАЦИЯ МОБИЛЬНЫХ МАШИН В ПОЛЕВОДСТВЕ

### Особенности автоматизации мобильных сельскохозяйственных машин

Машины и агрегаты, непрерывно перемещающиеся при выполнении технологических процессов, называются мобильными. Это автомобили, тракторы, комбайны 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 мобильных сельскохозяйственных машинах широко используют разнообразные средства автоматики, к которым относятся:

- приборы для контроля температуры, уровня топлива, охлаждающей и тормозной жидкости, давления масла и частоты вращения двигателей внутреннего сгорания; регуляторы частоты вращения и мощности, температуры охлаждающей жидкости и масла в смазочной системе двигателей внутреннего сгорания;

- автоматические защитные устройства, предохраняющие рабочие органы машин от поломок при встрече с препятствиями или ограничивающие тяговые усилия и крутящий момент на валу машины;

- автоматические устройства для отвода рабочих органов от стволов деревьев, столбов и кустов для машин, работающих в плодоводстве и виноградарстве;

- тягово-сцепные устройства для автоматического присоединения и отсоединения рабочих машин и тяговых;

- сигнализаторы о заполнении сборных емкостей продуктом или о забивании рабочих органов материалом (например, для бункеров, шнеков и соломотрясов комбайнов);

- автоматы для формирования тюков сена или соломы в пресс-подборщиках, вязальные аппараты жаток-сноповязалок, прессующие механизмы рулонных пресс-подборщиков и др.

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. Так, разработаны и внедрены следующие САУ, предназначенные для:

- вождения тракторов при вспашке, посеве и посадке растений;
- поддержания постоянства глубины вспашки; ориентировки трактора и рабочих органов сеялки и культиватора при посеве и междурядной обработке пропашных культур и виноградников;
- вождения зерноуборочного комбайна по краю нескошенной хлебной массы при уборке 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 оснащают 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 предельных значениях контролируемых параметров или возникновении аварийного режима средства автоматики предупреждают обслуживающий персонал или останавливают ТП.

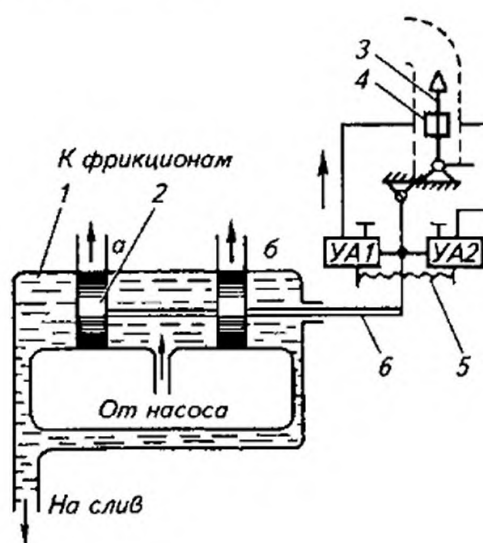


Рис. 5.14. Схема устройства для вождения трактора по копиру:  
1 — золотник; 2 — поршень; 3 — копир; 4 — контакты;  
5 — пружина; 6 — окно



## Системы автоматического вождения тракторов

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. Актуальность разработки таких систем обусловлена в первую очередь тем, что при работе на повышенных скоростях тракторист быстро устает, и его способность соблюдать все агротехнические требования ТП снижается.

При создании систем автовождения оказалось целесообразным работу трактора разбить на три этапа: выезд в поле и возвращение с него, движение по рабочей длине гона и повороты в конце гона для заезда на новый гон. Наибольший этап по затратам и объему выполняемой работы связан с нахождением трактора на гоне, поэтому предложено несколько методов автовождения трактора при его работе: копирование предыдущего прохода; программирование траектории; дистанционное управление; управление по естественным ориентирам; управление по искусственным ориентирам.

Метод копирования может быть использован на большинстве полевых работ: пахоте, севе, культивации, уборке, т. е. тогда, когда агрегат должен проходить каждый раз один и тот же путь по равноотстоящим друг от друга траекториям. Первый гон тракторист прокладывает при ручном управлении трактором, а затем по борозде от плуга или специально организованным маркером движется копир, закрепленный впереди трактора. Этот копир выдает сигналы на изменение траектории движения трактора в соответствии с направлением борозды.

Принцип действия системы автовождения по копиру поясняет рис. 5.14. 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 гидроцилиндру, который отключает левый фрикцион. Вследствие этого трактор начинает поворачиваться влево до размыкания контактов 4, электромагнит УА1 отключается и поршни 2 золотника 1 пружиной 5 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 чего после нескольких проходов маршрут движения сильно искривляется, а поэтому возрастают затраты энергии на непрерывные небольшие повороты трактора. Кроме того, копир при наезде на местные



препятствия выскакивает из борозды, после чего трактор начинает двигаться произвольно.

При реализации метода программного автовождения траектория движения задается специальным программным устройством. Технически осуществить программное автовождение весьма сложно из-за необходимости высокой точности соблюдения траекторий движения. Например, на гоне длиной 500 м погрешность работы программных устройств на пахоте должна быть не более 0,02 % (10 см отклонения) а при квадратно-гнездовой посадке — 0,004 % (2 см), что практически недостижимо. Следовательно, программное вождение эффективно 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 или по радиосвязи. На практике было применено дублерное вождение машиной, когда тракторист кроме своего трактора управлял соседним по каналу связи. Хотя этот метод сокращает численность трактористов, но усложняет их работу из-за одновременного управления двумя тракторами.

Методы, использующие естественные и искусственные ориентиры (рис. 5.15), наиболее удобны при строго заданных маршрутах движения — при выезде тракторов на полевые станы и возврате, вывозке навоза с ферм, доставке кормов, обработке пропашных культур, садов и виноградников. 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 создают специально, прокладывая кабели на обрабатываемых полях, организуя местные радиополя и т. д.

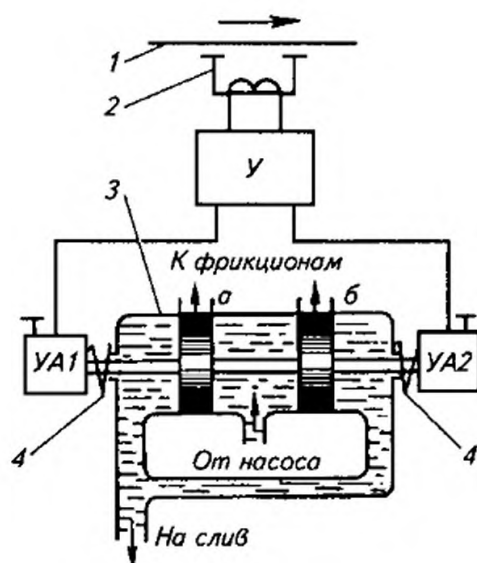


Рис. 5.15. Схема устройства для вождения трактора по проволоке:  
1 — проволока; 2 — датчик; 3 — золотник; 4 — пружины

Наиболее полно опробован метод вождения по электромагнитному полю, создаваемому проводами. Для этого под почвой прокладывают провода и по ним пропускают высокочастотные токи (десятки килогерц), которые создают вокруг провода 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 и поперек его прокладывают отдельный проводник, через который пропускают ток другой частоты. Создаваемое этим током электромагнитное поле служит сигналом для разворота трактора на угол  $180^\circ$  (при челночной обработке поля).

На рис. 5.15 показан принцип автовождения трактора по проволоке. Система автоматического вождения построена 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 электромагниты УА1 или УА2 гидравлического золотника 3. Золотник управляет гидроцилиндрами боковых фрикционов трактора так же, как на схеме рис. 5.14.

Из-за сложности систем управления и ряда других причин автовождение пока широко не применяют.

### **Автоматическое управление глубиной вспашки**

Системы автоматического управления глубиной вспашки используют при работе трактора с прицепными и навесными плугами. Эти САУ предназначены для контроля и стабилизации глубины обработки почвы. Среди многих известных методов управления глубиной до практического применения доведены силовой, высотный и комбинированный.

Силовой метод основан на пропорциональности тягового сопротивления плуга глубине вспашки. При увеличении или уменьшении тягового сопротивления специальная пружина, установленная между трактором и плугом, отжимается или разжимается и перемещает поршень управляющего золотника. Вследствие этого при помощи гидроцилиндра происходит выглубление или заглубление лемехов плуга до тех пор, пока не будет достигнуто заданное тяговое усилие. Одновременно этот метод позволяет стабилизировать нагрузку трактора и поддерживать ее в пределах экономичной работы.

Следует отметить, что силовой метод удовлетворительно действует только на однородных почвах и при постоянной скорости движения трактора, т. е. когда тяговое усилие зависит от глубины хода лемеха.

На неоднородных почвах целесообразно применять высотный способ. Перед лемехом 1 (рис. 5.16) плуга устанавливают специальное опорное колесо 2, которое служит 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 гидроцилиндр, который регулирует высоту плуга, восстанавливая глубину пахоты.

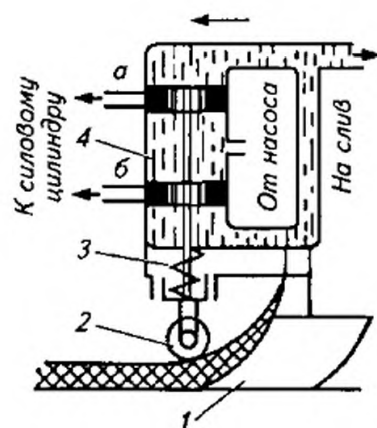


Рис. 5.16. Схема устройства для управления глубиной пахоты:  
1 — лемех; 2 — опорное колесо; 3 — пружина; 4 — золотник

Недостаток высотного метода — стабилизация глубины пахоты только того лемеха, перед которым устанавливают опорное колесо. Применяют также комбинированный метод, объединяющий устройства силового и высотного способов управления.

### Автоматическое управление высотой среза зеленой массы

Автоматическое управление высотой среза кормовых трав, кукурузы и другой зеленой массы на корм скоту применяют на силосоуборочных комбайнах и сенокосилках. Высота среза должна быть минимально допустимой, что повышает сбор кормовых культур с полей и лугов.

Для копирования рельефа поля используют ползковый щуп 2 (рис. 5.17), прижимаемый к поверхности поля пружиной 3.

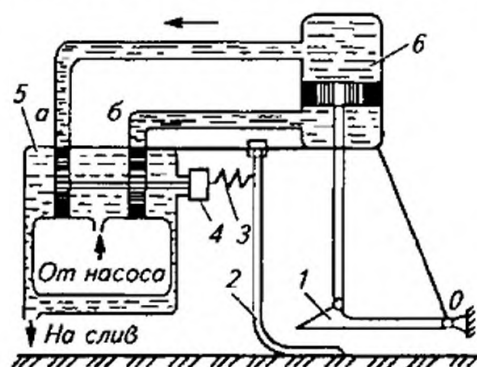


Рис. 5.17. Схема устройства для управления высотой среза:  
1 — режущий аппарат; 2 — ползковый датчик; 3 — пружина;  
4 — предохранительное устройство; 5 — золотник; 6 — гидроцилиндр

Если высота среза соответствует заданной, то окна а и б золотника 5 закрыты и поршень гидроцилиндра 6, а следовательно, и режущий аппарат 1, жестко соединенный с поршнем, находятся на постоянной высоте от поверхности поля. При изменении рельефа поля ползковый щуп 2 (датчик) открывает окна а и б золотника 5, и при помощи гидроцилиндра 6 восстанавливается заданная высота режущего аппарата 1.

При этом окна золотника закрываются, поскольку щуп возвращается в исходное положение. Предохранительное устройство 4 предотвращает поломку золотника при наезде ползкового щупа на препятствие.

## Автоматическое выравнивание остова зерноуборочного комбайна

При работе на склонах автоматическое выравнивание остова зерноуборочного комбайна позволяет сохранить 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 положением остова на поперечных склонах с углом уклона более  $8^\circ$  перерабатываемая масса скапливается на наклонной стороне комбайна. Вследствие этого нарушается технологический процесс обмола зерна (увеличивается до 20...30 % невымолот, до 30 % повреждаемость зерна) и возможно забивание молотильных барабанов хлебной массой. С целью выравнивания остова комбайн оборудуют параллелограммной подвеской ходовой части 4 (рис. 5.18) и гидросистемой управления. При наклоне корпуса комбайна, например влево, грузовой маятник 3 также отклоняется влево и открывает окна *a* и *б* золотника 6. Масло под давлением поступает в окно *a* и действует на поршень 5 гидроцилиндра. Поскольку этот поршень жестко соединен с ходовой частью комбайна, то остов поворачивается по ходу часовой стрелки относительно точки его крепления. Когда остов занимает горизонтальное положение, поршни золотника под действием маятника перекрывают окна золотника и жестко фиксируют положение гидроцилиндра.

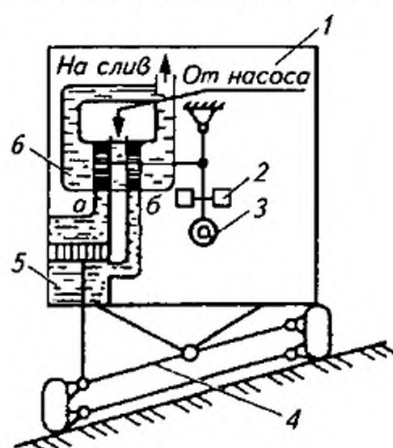


Рис. 5.18. Схема устройства для выравнивания остова комбайна:

- 1 — остов комбайна; 2 — демпфирующее устройство; 3 — грузовой маятник;  
4 — параллелограммная ходовая часть; 5 — поршень гидроцилиндра;  
6 — золотник

Демпфирующие устройства 2 предназначены для исключения ложных срабатываний системы при толчках и кратковременном отклонении остова от горизонтального положения.



## Тема 5.6

# ПОДГОТОВКА И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ МАШИН ДЛЯ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА

Для получения высококачественных зернопродуктов и эффективного использования очистительной, сортировальной и сушильной техники необходимо знать технологические свойства материала, режимы его обработки на различных этапах, правила настройки, регулировки и использования соответствующего оборудования.

При подборе решет для **машины предварительной очистки** следует помнить, что основной задачей процесса является удаление крупных примесей без потерь зерна в отходы. Вначале устанавливают решета с максимальными отверстиями для обрабатываемой культуры. Проводят пробную очистку материала, проверяя качество очистки и наличие зерна основной культуры в сходе с решета. Если значительная часть крупных примесей остается невыделенной, то устанавливают решета с меньшими отверстиями, добиваясь более полного выделения примеси при отсутствии потерь зерна в отходы. Например, качество работы пневматического сепаратора машины ЗД-10.000 определяют по качеству очищаемого материала и составу отходов, поступающих из отстойника. Рукоятку управления заслонкой поворачивают против хода часовой стрелки. Если в отходах остаются семена основной культуры, то скорость воздушного потока следует уменьшить.

Качество работы машины МПО-50 регулируют, изменяя только скорость воздушного потока. Ее устанавливают по возможности наибольшей, при которой зерно не попадает в отходы. Скорость воздушного потока в пневмосепарирующих каналах машин ОВС-25 и ОВП-20А регулируют, изменяя размеры окна в стенке воздуховода, соединяющего пневмосепарирующие каналы с вентилятором. При открытии окна в систему подается наружный воздух и скорость потока в каналах снижается. Скорость воздушного потока в каналах можно регулировать также с помощью заслонки, установленной в выходном переходнике.

В машинах ОВС-25 и ОВП-20А решета очищаются щеточным механизмом, в машине ЗД-10.000 — скребковым транспортером. В рабочем положении щеток щетина должна выступать над поверхностью решета на 1...2 мм. Поворачивая вручную шкив приводного вала, проверяют

границы хода щеток. Если крайние щетки выходят за пределы решет, то следует отрегулировать длину шатунов их привода.

В машине ЗД-10.000 скребки транспортера должны касаться рабочей поверхности решет по всей их длине. Положение скребков регулируют, перемещая подшипники транспортера по пазам в вертикальных уголках рамы машины.

При работе машины МПО-50 на очистке влажного (более 22 %), засоренного вороха необходимо включить подбивальщик сетчатого транспортера для предотвращения выноса зерна с крупными примесями.

Первичную очистку проводят на стационарных машинах ЗАВ-10.30000 и ЗВС-20А и на самопередвижных ОВС-25 и ОВП-20А. Схемы работы воздушно-решетных стационарных и самопередвижных машин одинаковы. Решета для ЗАВ-10.30000 и ЗВС-20А подбирают по тем же правилам, что и для машин ОВС-25 и ОВП-20А. Грубая регулировка скорости воздушного потока в пневмосепараторе машины ЗАВ-10.30000 заключается в перемещении гайки, закрепляющей винтовую тягу воздушной заслонки, по направляющим кронштейна, а точная — во вращении тяги при закрепленной гайке.

В машине ЗВС-20А скорость воздушного потока в каналах пневмосепараторов регулируют, изменяя положение заслонки на входе вентилятора при помощи тяги с резьбой. При установленной подаче зернового материала скорость воздушного потока подбирают такой, чтобы из зерна выделялись пыль, части соломы, солома и легкие семена сорняков.

**Триеры** предназначены для выделения из зернового вороха примесей и семян сорных растений, отличающихся от семян основной культуры по длине. В состав зерноочистительных агрегатов и зерноочистительно-сушильных комплексов включают триерные блоки. Триерный блок может быть настроен для работы по двум схемам: последовательной и параллельной. При последовательной работе верхняя пара триерных цилиндров выделяет длинные примеси, а нижняя пара — короткие. Если из зернового материала требуется выделить только длинные примеси (например, семена овсюга) или только короткие (например, куколь или половинки семян ячменя), то триерные блоки настраивают на параллельную работу. При этом размеры ячеек во всех четырех триерных цилиндрах должны быть одинаковыми.

Для обеспечения нормальной работы триера подача зернового материала должна быть достаточно большой, при которой слой материала будет распределяться по всей длине цилиндра. При недостаточной подаче материала слой на конечной части цилиндра не образуется, семена прыгают по поверхности и качество работы триера снижается. При избыточной подаче возрастают потери семян в отходы на выделении длинных примесей, а на выделении коротких примесей снижается качество их очистки.

Для очистки зерна пшеницы от примесей следует установить верхние цилиндры с ячейками диаметром 8,5 или 9,5 мм, а нижние — диаметром 5 мм.

Качество очистки будет выше, если правильно задать частоту вращения триерных цилиндров. Для обработки легкосыпучих зерновых культур, например пшеницы, ржи, следует устанавливать более высокие частоты — 39 или 45 мин<sup>-1</sup>, а для плохосыпучих (ячмень, рис и др.) и мелкосемянных культур пониженные — 30 или 25 мин<sup>-1</sup>. Частоту вращения триерных цилиндров изменяют с помощью ступенчатых шкивов клиноременной передачи на электродвигателе и контрприводе.

Производительность и качество работы триерного блока существенно зависят от степени равномерности распределения материала, поступающего в триер, между цилиндрами. Одинаковая загрузка цилиндров материалом достигается регулированием натяжения пружин клапанов загрузочного устройства. Если в линии работают параллельно два триерных блока от одного питателя, то важно установить равномерное распределение зернового материала в оба блока, регулируя делитель потока зернового материала.

Скорость воздушных потоков в пневмосепарирующих каналах машины СВУ-5А регулируют тремя рукоятками. Перед началом регулировок следует установить заслонку, ограничивающую подсос воздуха в месте схода семян с решетного стана во второй пневмосепарирующий канал, так, чтобы она касалась поверхности слоя семян, но не задерживала его поступления в канал. Затем устанавливают заслонку первого пневмосепарирующего канала в среднее положение (по шкале) и полностью открывают заслонку второго пневмосепарирующего канала. После этого, приоткрывая общую заслонку в выходном патрубке вентилятора, регулируют скорость во втором пневмосепарирующем канале. Скорость воздушного потока должна быть такой, чтобы уносились легкие и щуплые семена основной культуры вместе с примесями.

Работу пневмосепараторов контролируют, анализируя пробы из каждого выхода с помощью пробоотборников, установленных на наклонных стенках отстойной камеры. Затем корректируют скорость воздуха в первом пневмосепарирующем канале, изменяя положение заслонки, размещенной в месте его соединения с отстойной камерой. Скорость должна быть такой, чтобы из семенного материала, поступающего в машину, выделялись пыль, солома, полова, легкие семена сорняков. Затем проверяют скорость во втором пневмосепарирующем канале и при необходимости ее корректируют, изменяя положения заслонок вентилятора и второго канала.

Скорость воздушного потока машины СМ-4 регулируют с помощью заслонок первого и второго пневмосепараторов, а также изменяя частоту вращения роторов диаметральных вентиляторов каждого из пневмосепараторов. Следует отметить, что при забивании пылью матерчатого фильтра в системе второго пневмосепаратора работа машины нарушается. Фильтр следует проверять не реже одного раза в смену и при необходимости очищать, встряхивая перемещением рукоятки, расположенной на стенке со стороны съемной крышки.



Для обеспечения длительной сохранности влажность зерна и семян должна быть следующей (%): фасоль — 16; пшеница, рожь, ячмень, овес, рис, гречиха, горох — 14; просо — 13,5; кукуруза — 13; соя — 12; подсолнечник среднемасличный — 11, высокомасличный — 7.

При использовании **шахтных зерносушилок** перед началом работы следует очистить шахту и транспортирующие устройства от остатков материала и обкатать сушилку в режиме наладки на холостом ходу (15...20 мин) и под нагрузкой (20...25 мин). Обкатка под нагрузкой предусматривает работу сушилки в замкнутом цикле («на себя»). При этом проверяют работу вентиляторов, норий, газораспределительной системы, разгрузочного устройства и др. После обкатки разжигают топку. Сгорание топлива должно быть полным, а отработавший теплоноситель бездымным. Для этого необходимо отрегулировать: количество воздуха, подаваемого на горение (заслонкой дутьевого вентилятора); количество топлива путем изменения давления в системе от 1 до 3 МПа или установкой (заменой) распылительных шайб с отверстиями соответствующего диаметра.

После розжига топки постепенно открывают заслонки вентиляторов. Температура теплоносителя при прогреве материала должна быть ниже режимной на 20...30 °С. Ее регулируют, изменяя количество подаваемого топлива и наружного воздуха. Материал прогревают в течение 25...30 мин. Во избежание перегрева через каждые 5...10 мин его выпускают из шахты, включая разгрузочное устройство на 1...2 мин, и через охлаждающую колонку возвращают в сушилку. Когда из сушилки начнет выходить сухой материал, его направляют в очистительное отделение, а в сушилку подают влажный материал. Для обеспечения непрерывной работы необходимо:

- определить количество пропусков материала через сушилку и схему работы шахт (последовательная или параллельная);

- отрегулировать разгрузочное устройство, установить перекидные клапаны и заслонки в соответствии с выбранной схемой работы шахт;

- установить температурный режим сушки (температуру теплоносителя и нагрева зерна).

Количество пропусков и схема работы шахт зависят от начальной влажности материала. Чем выше влажность материала, тем дольше его надо сушить в шахте, тем медленнее он должен перемещаться в сушильной камере. При сушке семян зерновых культур целесообразно за один пропуск снижать влажность на 5...6 %. При сушке продовольственного и фуражного зерна съём влаги за один пропуск может быть выше — до 7...8 %. При повышенной начальной влажности зерна необходимы повторные пропуски.

Перед окончанием работы сушилки прекращают загрузку материала и переводят шахты на работу по замкнутому циклу. Температуру теплоносителя снижают на 20...30 °С, и материал сушат до кондиционной влажности. Затем прекращают подачу топлива в топку, выключают разгрузочное устройство и охлаждают материал в шахте



в течение 20...30 мин, продувая его наружным воздухом. Выключают вентилятор и включают разгрузочное устройство на максимальную производительность в соответствии с производительностью нории сухого зерна. Освободив сушилку от материала, выключают разгрузочное устройство и норию.

Для активного вентилирования и сушки зерна и семян используют одинаковые установки, но работающие в различных режимах.

Чтобы предотвратить самосогревание и обеспечить сохранность материала при временной консервации, минимальный расход воздуха на 1 т зерна или семян должен составлять: 60...120 м<sup>3</sup>/ч при влажности материала до 24 %; 120...200 м<sup>3</sup>/ч при влажности более 24 %.

Следует использовать по возможности более холодный воздух. Поэтому особенно эффективно вентилирование (с целью консервации) в ночные часы.

При сушке вентилированием применяют более высокую подачу воздуха. Расход воздуха при сушке 1 т материала влажностью до 24 % должен составлять 400...6000 м<sup>3</sup>/ч, а при влажности более 24 % — не менее 1000 м<sup>3</sup>/ч (толщина слоя соответственно до 1,5 и 1,0 м).

Для высушивания зерна и семян до кондиционной влажности относительная влажность воздуха должна быть не более 70 %. Продолжительность сушки зависит от температуры и влажности материала и воздуха. При неблагоприятных сочетаниях этих факторов вместо высушивания зерно и семена могут увлажняться.

Чтобы обеспечить возможность вентилирования зерна и семян (с целью их сушки) в любых погодных условиях, воздух необходимо подогревать. Подогрев воздуха на 1 °С снижает его относительную влажность на 3...5 %, поэтому подогрев его на 5...6 °С обеспечит возможность сушки даже в неблагоприятных условиях.

**Раздел 6**  
**АВТОМАТИЗАЦИЯ**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ**  
**ПРОЦЕССОВ**  
**В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ**

---

---

## **Тема 6.1**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБОГРЕВА ПАРНИКОВ И ТЕПЛИЦ**

### **Виды сооружений защищенного грунта**

Сооружения защищенного грунта подразделяют на парники и теплицы.

Парники — это полностью или частично заглубленные в почву каркасные сооружения со съёмным светопрозрачным покрытием, на небольшой земельной площади, обслуживаемые снаружи. Парники предназначены для выращивания рассады для открытого грунта и получения ранних овощей. Парники глубиной 40...80 см, шириной до 140 см и любой длины изготавливают из деревянных или железобетонных стен и закрывают стеклянными и плёночными рамами, а на ночь — дополнительно соломенными матами толщиной 5...6 см. Почва в парниках обогревается солнечной или электрической энергией, биотопливом, горячей водой. Наиболее совершенны парники с техническими видами обогрева, позволяющие легче управлять температурой воздуха и почвы в парниках.

Теплицы — это наиболее совершенный и технически оснащенный вид сооружений защищенного грунта. В теплицах при помощи технических средств можно выращивать растения в любое время года. В отличие от парников все виды работ 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 служат металлические или деревянные арки, закрепленные непосредственно на фундаментах или опорных стойках.

Блочные теплицы представляют собой объединение нескольких ангарных теплиц с заменой примыкающих одна к другой боковых стен опорными стойками. Стыки крыши смежных секций соединяют 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 изготавливают на заводах, поэтому теплицы в целом являются самыми экономичными при строительстве. Оптимальная площадь блочной теплицы составляет 1 га, а тепличного комплекса, состоящего из 3...10 отдельных блоков, — 18...60 га.

Преимущества ангарных теплиц — хорошая освещенность, возможность применения почвообрабатывающих и транспортных машин. Однако из-за большой высоты и ширины ангарной теплицы площадь светопропускаемых ограждений завышена, что увеличивает теплопотери.

Созданы новые экспериментальные теплицы других видов: вантовые (подвесные), воздухоопорные (надувные), с водонаполненной плоской кровлей, башенные и др.

По срокам использования теплицы делят на зимние (с круглогодичной работой) и весенние (с работой в период с февраля по октябрь). Зимние теплицы в 2...3 раза дороже весенних из-за массивных строительных конструкций и большей насыщенности теплотехническими установками. Ограждения теплиц выполняют из полимерного материала (как правило, из полиэтилена) или из листового стекла толщиной 4 мм, укладываемого внахлест по металлическим направляющим. Наиболее распространено двойное остекление.

Для уменьшения теплопотерь применяют экранирование теплиц с трансформирующимися (свертывающимися — разворачивающимися) экранами из полимерных материалов. Экономия теплоты за счет оборудования теплиц экранами достигает 30...40 %.

## **Технологические основы обогрева парников и теплиц**

Важнейшим фактором, определяющим рост растений в теплице, является температура.

В природе существует равновесие между поступающей за счет солнечного излучения теплотой и ее потерей. В теплице это равновесие менее устойчиво, так как ограждение плохо пропускает назад длинноволновые солнечные лучи, отражаемые от внутренних элементов теплицы, вследствие чего происходит накопление теплоты. Такое явление называют парниковым эффектом. Равновесие, конечно, наступает. Однако важно, чтобы это произошло при той температуре, которая нужна растению. Следует также иметь в виду, что температура самого растения может значительно (иногда на 5...10 °C) отличаться от температуры окружающего воздуха.

Регламентации подлежит не только температура окружающего воздуха, но и скорость ее изменения, поскольку массивные части растений прогреваются медленнее и на них в момент прогрева может конденсироваться влага.



Задача системы управления микроклиматом состоит в обеспечении условий для максимальной интенсивности фотосинтеза, которая зависит от температуры, при высоких значениях которой дыхание (процесс, обратный фотосинтезу) начинает превалировать над фотосинтезом. Оптимальное значение внутренней температуры зависит от вида растения и его развития.

Внутренняя температура должна возрастать при увеличении освещенности. Нарушение этого условия зимой, когда температура в теплице может быть высокой, а освещенность недостаточной, вызывает дефицит углеводов и истощение растений.

Состав и принцип построения систем автоматического управления (САУ) температурным режимом в теплице во многом определяются способом ее обогрева.

Сооружения защищенного грунта обогревают за счет солнечного излучения, биотоплива, горячей водой или паром от котельных, отходами теплоты промышленных предприятий, а также электронагревательными установками.

*Солнечный обогрев* используют наряду с другими дополнительными видами обогрева. Солнечные лучи, проникая через светопрозрачные ограждения, нагревают почву, воздух и растения. Нагретые тела испускают инфракрасные тепловые излучения, которые через светопрозрачные ограждения практически обратно не проникают. Однако солнечный обогрев определяет большие суточные колебания температуры: днем она повышается, а ночью резко снижается. Солнечный обогрев в утепленном грунте 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, городские отбросы и органические отходы промышленных предприятий. После заправки защищенного грунта биотопливом температура его постепенно за одну-три недели повышается до 60...70 °С, а затем снижается до 20...30 °С и держится на этом уровне в течение двух месяцев. Биологический обогрев наиболее удобен в парниках и небольших весенних 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 под рамами метал-

лические трубы диаметром 50 мм с уклоном 3 %. Циркуляцию горячей воды создают принудительно при помощи электронасоса.

В блочных теплицах трубы для циркуляции горячей воды укладывают как в почве, так и по ее поверхности, а также вдоль стен и под стеклянной кровлей. Зимние теплицы обогревают водой температурой 70...90 °С, а парники — 50...70 °С.

*Воздушно-тепловой обогрев* применяют в качестве дополнительного и особенно аварийного. При этом используют калориферные установки, которые обладают малой инерционностью, легко управляемы и 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 воздух обогревают за счет непосредственного сжигания газа в теплице, с одновременным обогащением атмосферы углекислым газом. Несмотря на простоту этого метода отопления и высокий коэффициент использования теплоты, он не нашел широкого распространения из-за неравномерности распределения температуры и наличия в газах вредных для растений соединений.

*Электрический обогрев* используют в основном в парниках. Он бывает почвенный, воздушный и комбинированный. Для электрообогрева применяют трубчатые или оголенные проволочные нагревательные элементы, специальные нагревательные провода, асфальтобетонные, электродные и другие нагревательные элементы.

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 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. Для питания используют пониженное напряжение (12...50 В).

Промышленность выпускает Подогревательный оцинкованный сельскохозяйственный провод ПОСХП с полиэтиленовой изоляцией. Диаметр провода 1,1 мм, а вместе с изоляцией 3 мм. Провод ПОСХП заливают теплоаккумулирующим слоем, состоящим из цементно-песочной смеси (1 : 10), а сверху насыпают слой почвы. Провод рассчитан на напряжение 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, рассчитанную на напряжение 380/220 В.

## Основные принципы автоматизации управления обогревом сооружений защищенного грунта

Автоматизация обогрева парников 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: переключение нагревательных элементов на разные напряжения, включение отдельных групп нагревателей и т. п. Однако автоматическое управление температурой в парниках предпочтительнее: только затраты электроэнергии по сравнению с ручным управлением сокращаются на 15...20 %.

Теплицы как объекты управления температурным режимом относятся к наиболее сложным объектам автоматизации, а определение их характеристик сопряжено с известными трудностями, вытекающими из их особенностей.

Структурную схему теплицы как объекта управления (ОУ) температурным режимом  $\theta_{вн}$ , можно представить в виде, показанном на рис. 6.1. В соответствии с этой схемой в холодное время года основные управляющие воздействия — изменение температуры  $\theta_t$  и расхода  $G_t$  теплоносителя в системе обогрева теплицы, работа калориферов  $K$ , а в теплое время года — открытие вентиляционных форточек  $\Phi$ .

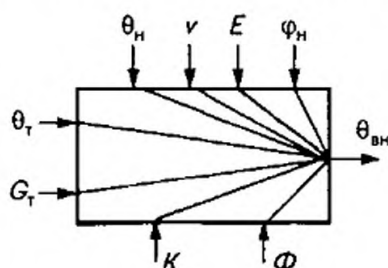


Рис. 6.1. Структурная схема теплицы, как объекта управления температурным режимом

Основные контролируемые возмущающие воздействия — это изменение наружной температуры  $\theta_n$ , скорость ветра  $v$  и уровня естественной освещенности  $E$ . На температурный режим теплицы влияют также влажность наружного воздуха  $\phi_n$ , осадки и другие метеофакторы.

При идентификации теплицы как ОУ относительно управляющих воздействий рекомендуются методы активного эксперимента, а относительно возмущающих воздействий, более сложных в обработке, — методы пассивного эксперимента.

Каналы управления существенно нелинейны, поскольку статические и динамические характеристики ОУ зависят от начальных значений расхода и средней температуры воды в системе трубного обогрева. Эта зависимость ослабевает только при больших расходах теплоносителя, что объясняется стабилизацией коэффициента тепло-



отдачи воды внутренней поверхности труб при скоростях движения воды более 0,1 м/с.

Постоянная времени теплицы по каналам управляющих воздействий определяется теплоемкостями системы трубного обогрева и собственно теплицы. Первая из составляющих зависит от тепловой нагрузки системы обогрева и экспоненциально уменьшается с увеличением расхода воды, а вторая вообще может быть принята постоянной, не зависящей от ее расхода.

Запаздывание изменения температуры воздуха в теплице при изменении мощности системы трубного обогрева зависит от конструкции самой теплицы и ее системы обогрева, направления движения теплоносителя в трубах и места расположения измерительных преобразователей. Время запаздывания для различных каналов управления неодинаково. Меньшие его значения характеризуют канал  $G_T \rightarrow \theta_{вн}$ , поскольку при изменении расхода теплоносителя температура наружных стенок трубных регистров меняется одновременно по всей длине, а при управлении температурой воды (канал  $\theta_T \rightarrow \theta_{вн}$ ) в величину запаздывания входит также составляющая, определяемая скоростью движения температурного фронта по длине труб. Именно поэтому канал  $G_T \rightarrow \theta_{вн}$  характеризуется меньшей инерционностью.

Наличие зеленой массы растений в значительной степени определяет нестационарность теплицы как ОУ температурным режимом. За время от высадки рассады до начала сбора урожая из-за увеличения зеленой массы постоянная времени объекта возрастает в 1,1...1,3 раза, коэффициент передачи уменьшается в 1,5 раза, а запаздывание, зависящее от скорости распределения воздушных потоков, увеличивается на 300...400 с.

САУ температурой в блочных и ангарных теплицах имеют свои особенности и потому рассмотрены отдельно.

Системы управления температурным режимом в блочных теплицах для холодного и теплого времени года не одинаковы. В холодное время года управление температурным режимом может быть обеспечено за счет изменения температуры  $\theta_T$  (качество) или расхода  $G_T$  (количество) теплоносителя. Типовым для блочных теплиц является качественный принцип управления.

Температуру теплоносителя изменяют с помощью трехходового смесительного клапана (ТСК), сконструированного таким образом, что при перемещении  $h$  (рис. 6.2) плунжера расходы  $G_1$  горячей и  $G_2$  охлажденной воды изменяются в равных долях, но с разным знаком. Поэтому суммарный расход воды  $G_T$  через клапан от положения плунжера не зависит, изменяется ее температура  $\theta_T$ .

Типовой вариант выполнения САУ  $\theta_{вн}$  — одноконтурная система регулирования по отклонению параметра. Горячая вода из тепловой сети поступает во входной горизонтальный патрубок трехходового смесительного клапана 2 (рис. 6.3). Одновременно насос 3 подает во входной вертикальный патрубок определенное количество охлажденной воды, прошедшей по трубам 1 системы обогрева теплицы. Образующаяся



яся в результате смешивания потоков вода с температурой  $\theta_T$  поступает в систему обогрева. Температура в средней точке теплицы (первичный преобразователь  $TE1$ ) поддерживается ПИ-регулятором  $ТС2$ , управляющим положением плунжера ТСК.

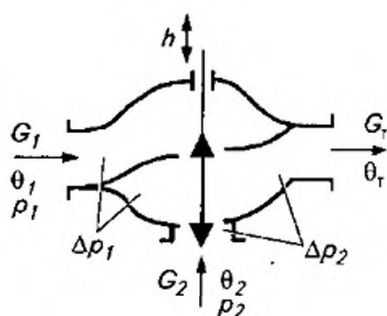


Рис. 6.2. Трехходовой смесительный клапан

В ночные часы, когда фотосинтеза нет, температура в теплице должна быть понижена на 4...6 °С. Это обеспечивается по команде реле времени  $KT4$ , которое настраивают таким образом, чтобы к восходу Солнца следующего дня теплица была разогрета.

В дневные часы температура воздуха в теплице автоматически корректируется в зависимости от уровня естественной освещенности, измеряемой преобразователем  $NE3$ . Этот преобразователь представляет собой конструкцию, объединяющую фотодиод и усилитель, вмонтированные в один корпус, накрытый рассеивателем света шарообразной формы.

Описанная схема не обеспечивает требуемого качества стабилизации температуры вследствие неудовлетворительных характеристик объекта по каналу регулирующего воздействия ( $\theta_T \rightarrow \theta_{вн}$ ), а также невозможности учета параметров клапана из-за изменения давления в его входных патрубках. При этом одновременно с увеличением (уменьшением) температуры воды в системе обогрева уменьшается (увеличивается) ее расход.

Следует учитывать и взаимное влияние САУ отдельных теплиц блока через общий источник теплоснабжения — тепловой пункт. В состав теплового пункта входят: коллектор 1 (рис. 6.4) прямой воды (КПВ), горячая вода из которого поступает во входные горизонтальные патрубки всех ТСК; коллектор 2 обратной воды (КОВ), в который поступает охлажденная вода, прошедшая системы обогрева теплиц; коллектор 3 подпочвенного обогрева (КПО), используемый для питания систем подпочвенного обогрева. При этом в КПО подается только часть полного количества охлажденной воды, нагнетаемого насосами 4 во входные вертикальные патрубки ТСК. Из КПО вода сливается в КОВ через перемычку 5, связывающую эти коллекторы. Из-за ограниченной мощности источника теплоснабжения увеличение потребления горячей воды одной из теплиц блока приводит к падению давления в КПВ и уменьшению температуры воздуха в других теплицах, питаемых от того же источника.

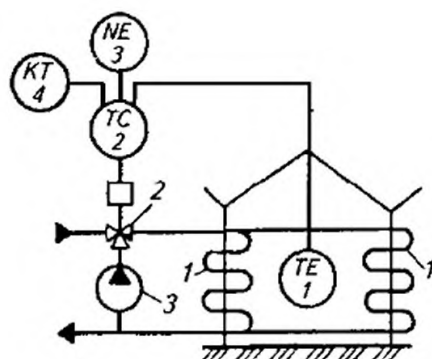


Рис. 6.3. Функциональная схема САУ температурой в многопролетной теплице в режиме обогрева:

1 — система трубного обогрева; 2 — трехходовой смесительный клапан;  
3 — насос

В теплое время года управление температурным режимом в теплице может быть обеспечено за счет изменения степени открытия форточек или за счет действия системы испарительного охлаждения. Требуемая степень открытия форточек обеспечивается работой самостоятельной одноконтурной САУ, действующей по отклонению температуры в средней точке теплицы (рис. 6.5).

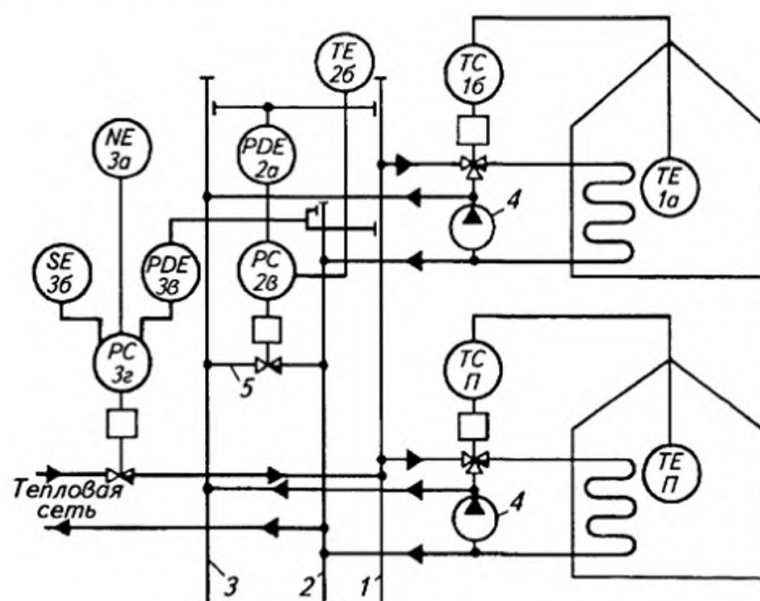


Рис. 6.4. Функциональная схема автоматизации теплового пункта блока многопролетных теплиц:

1 — коллектор прямой воды; 2 — коллектор обратной воды; 3 — коллектор подпочвенного обогрева; 4 — насос; 5 — переключатель

Независимость действия обеих систем управления температурным режимом возможна благодаря тому, что задание регулятору температуры в режиме вентиляции устанавливается на  $2...4^{\circ}\text{C}$  выше, чем регулятору, действующему в режиме обогрева.

Регулятор температуры  $TC1$  действует по П-закону, поддерживая заданное соотношение между температурой в теплице (преобразова-

тель  $TE2$ ) и степенью открытия форточек 1 (преобразователь  $HE3$ ). Задание регулятору автоматически корректируется в зависимости от уровня естественной освещенности (преобразователь  $NE4$ ), а предельная степень открытия форточек устанавливается автоматически в зависимости от текущего значения наружной температуры, контролируемой измерительным преобразователем  $TE3$ .

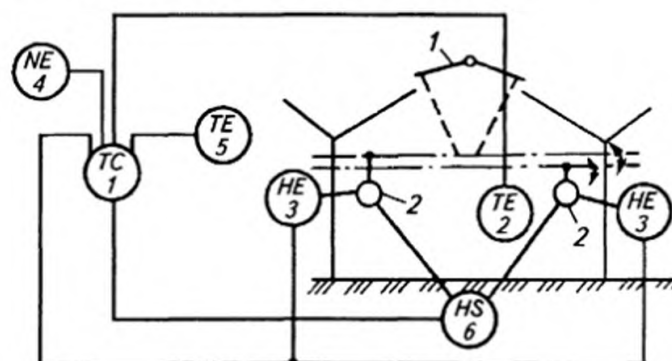


Рис. 6.5. Функциональная схема САУ температурой в многопролетной теплице в режиме вентиляции:

1 — форточка; 2 — исполнительный механизм привода форточек

В зависимости от направления и силы ветра регулирующее воздействие с помощью переключателя  $HS6$  может быть приложено к одному из двух рядов форточек или к обоим одновременно. При понижении наружной температуры до заданного уровня команда на открытие форточек блокируется.

В современных САУ вентиляцией теплиц предусмотрена защита, действующая на закрытие форточек при увеличении скорости ветра до аварийного высокого уровня. При этом соответствующая команда выдается спустя 60 с после того, как чашечный анемометр зафиксировал аварийную ситуацию. Спустя 2500 с (время хода ИМ) должен поступить сигнал, подтверждающий закрытие форточек. Запрет на открытие форточек снимается только через 300 с после того, как скорость ветра понизится до нормального уровня.

## Автоматическое управление температурой в парнике с почвенно-воздушным обогревом

Самый распространенный способ автоматического управления температурой в парниках основан на периодическом включении и отключении нагревательных элементов при помощи магнитных пускателей. Электрическая схема управления режимом работы нагревательных элементов для одной группы, состоящей из четырех парников, показана на рис. 6.6. Нагревательные элементы переводят с одного напряжения питания на другое (220 или 380 В) переключателями  $SA1$  и  $SA2$ . Ручной режим задают, ставя тумблер  $SA3$  в положение  $P$ , автоматический — в положение  $A$ ; отключенному состоянию нагревателей соответствует

положение *О*. Для автоматического управления тепловым режимом в воздушном пространстве одного из четырех-шести последовательно соединенных парников устанавливают датчик температуры *ВК*

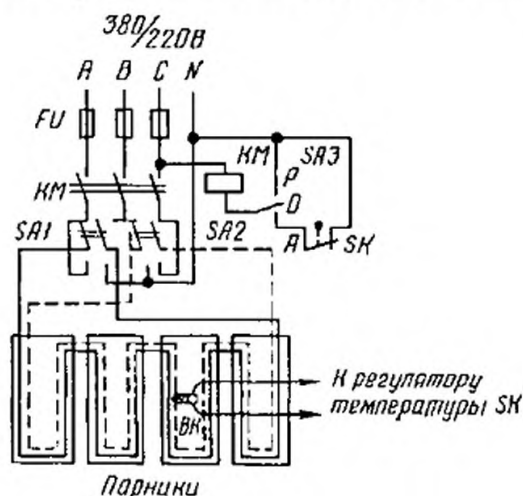


Рис. 6.6. Принципиальная электрическая схема управления температурой в парниках с почвенно-воздушным электрообогревом

В парниках только с почвенным обогревом на группу парников ставят один датчик температуры почвы. Его углубляют в почву парника на глубину около 0,1 м. Переключателем *SA1* включают нагревательные элементы для обогрева воздуха, а переключателем *SA2* — элементы обогрева почвы. 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.

Широко распространено комплектное оборудование КП-1, предназначенное для автоматического управления температурой воздуха и почвы в парниках с почвенным и воздушным электрообогревом. Это оборудование можно применять и в пленочных теплицах площадью до 0,5 га. Электрообогрев осуществляется от шести параллельно соединенных 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, расположенных в центре каждого участка: в почве на глубине 0,1 м — датчик температуры почвы, а на боковой стенке парника — датчик температуры воздуха.

Электрообогревательные элементы 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 начального обогрева парника включают по схеме «звезда — звезда», а в режиме длительного 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.

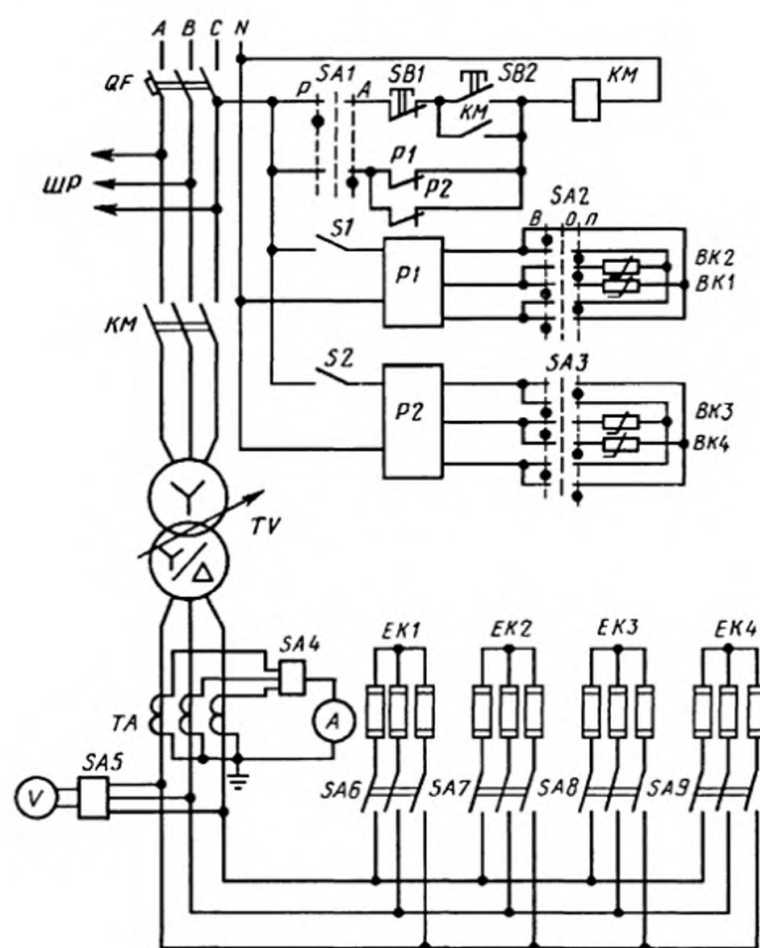


Рис. 6.7. Принципиальная электрическая схема комплекта оборудования типа КП-1

Принципиальная электрическая схема комплекта оборудования с одним понижающим трансформатором изображена на рис. 6.7. 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 «Стоп» (SB1), предварительно включив соответственно рубильники SA6...SA9 обогрева почвы и воздуха, а также автомат QF.

Автоматическое управление осуществляется при помощи логометров P1 и P2, выполняющих одновременно функции регулятора и измерительного прибора для визуального контроля фактической температуры почвы и воздуха в парниках. В измерительные цепи логометров включены по мостовой схеме термометры сопротивления типа ТСМ, служащие датчиками температуры почвы BK2, BK4 и воздуха BK1, BK3.

Мостовая схема уравнивается при заданной температуре. Если фактическая температура ниже заданной, то замыкаются контакты *P1* или *P2* и включаются магнитным пускателем *KM* трансформатор *TV* и электронагревательные элементы. При повышении температуры до заданной размыкаются контакты *P1* и *P2*, а магнитный пускатель *KM* отключает электропитание. Переключателями *SA1*, *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 с помощью амперметра и вольтметра с переключателями *SA4* и *SA5*. Точность регулирования температуры составляет 1,5 °С.

## Тема 6.2

# АВТОМАТИЗАЦИЯ МИКРОКЛИМАТА В АНГАРНЫХ ТЕПЛИЦАХ

### Общие сведения

Автоматическое управление температурным режимом в ангарных теплицах осуществляется устройствами регулирования температуры и количества греющего теплоносителя, а также устройствами управления открытием и закрытием форточек вентиляции. В ангарных теплицах в основном используют комбинированный обогрев: водяной (почвы и воздуха) и воздушно-тепловой (воздуха). От калориферов подогретый воздух подается по воздуховодам и распределяется вентиляционной системой по всей теплице. Благодаря малой инерционности калориферов можно с высокой точностью управлять температурой воздуха.

Вентиляция теплицы осуществляется через форточки, расположенные в боковых стенах и на кровле. Увлажнение воздуха происходит при распылении 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 дождевальной установкой или через шланги. Температура используемой воды составляет 16...25 °С.

В хозяйствах применяют различные комплекты оборудования для управления микроклиматом ангарных теплиц. В качестве примера рассмотрим принцип работы комплекта УТ-12. Он размещен в отдельных шкафах и включает в себя следующие САУ:

- температурой воздуха в теплицах, бытовых помещениях и коридоре;
- температурой почвы;
- температурой поливной воды;
- поливом почвы и увлажнением воздуха;
- концентрацией растворов минеральных удобрений;
- подачей диоксида углерода (углекислого газа) и облучением растений.

Комплект рассчитан на управление указанными параметрами в 12 отделениях теплицы, а также температурой в специальном коридоре и бытовых помещениях. Он обеспечивает требуемую температуру воздуха, почвы и поливной воды с точностью до  $\pm 1,5^\circ\text{C}$  в диапазоне  $0...40^\circ\text{C}$  и концентрацию растворов минеральных удобрений с точностью до  $\pm 0,005$  МПа в диапазоне от 0,01 до 0,2 МПа осмотического давления. Кроме того, комплект УТ-12 используют для измерения и регистрации параметров микроклимата.

### **Автоматическое управление температурой воздуха в ангарных теплицах**

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.

Температурой воздуха в теплице управляют при помощи двух групп водяных калориферов *KVI* и *KVII* (рис. 6.8), коньковой (верхней) *ВФ* и боковой *БФ* 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 осуществляется при помощи исполнительных механизмов верхней левой *МБЛ* и правой *МБП* систем вентиляции.

Последовательность работы и состояние оборудования управления температурой в теплице зависят от знака отклонения температуры от заданной. Электрическая схема управления температурой воздуха приведена на рис. 6.9. Блок дешифрации *БД1* генерирует импульсы с периодом 15 с. Кольцевой счетчик *БД2* и 16-позиционный переключатель поочередно через каждые 4 мин подключают датчики температуры *ВК1...ВК6* и задатчики *R<sub>31</sub>...R<sub>316</sub>* к измерительному мосту. Сигнал разбаланса с измерительного моста усиливается фазочувствительным усилителем *У* и поступает на пороговые элементы *Д1...Д14*, собранные по схеме двухпозиционного селектора уровня напряжений.

С помощью переменных резисторов *R1...R6*; *R8...R13* настраивают порог срабатывания каждого из элементов *Д1...Д6*, *Д8...Д13* с шагом в  $1^\circ$  в диапазоне отклонений температуры  $-6...+6^\circ$  от заданной. Элементы *Д7* и *Д14* срабатывают соответственно при коротком замыкании и обрыве в цепях датчиков температуры.

Элементы *Д15...Д28* служат усилителями мощности. Их нагрузкой являются катушки реле *KV1...KV6*, *KV8...KV13* и лампы *HL1* и *HL2*, сигнализирующие соответственно о коротком замыкании и обрыве в цепях управления.

Напряжение 24 В подается в шкафы управления исполнительными механизмами через замыкающие контакты *KV7*. При этом блок *БД1*, включающий реле *KV7* через каждые 15 с, обеспечивает выдержку вре-



мени срабатывания данного реле. Эта выдержка необходима для исключения передачи ложного сигнала к исполнительным механизмам, возникающего из-за переходных процессов в переключателях датчиков.

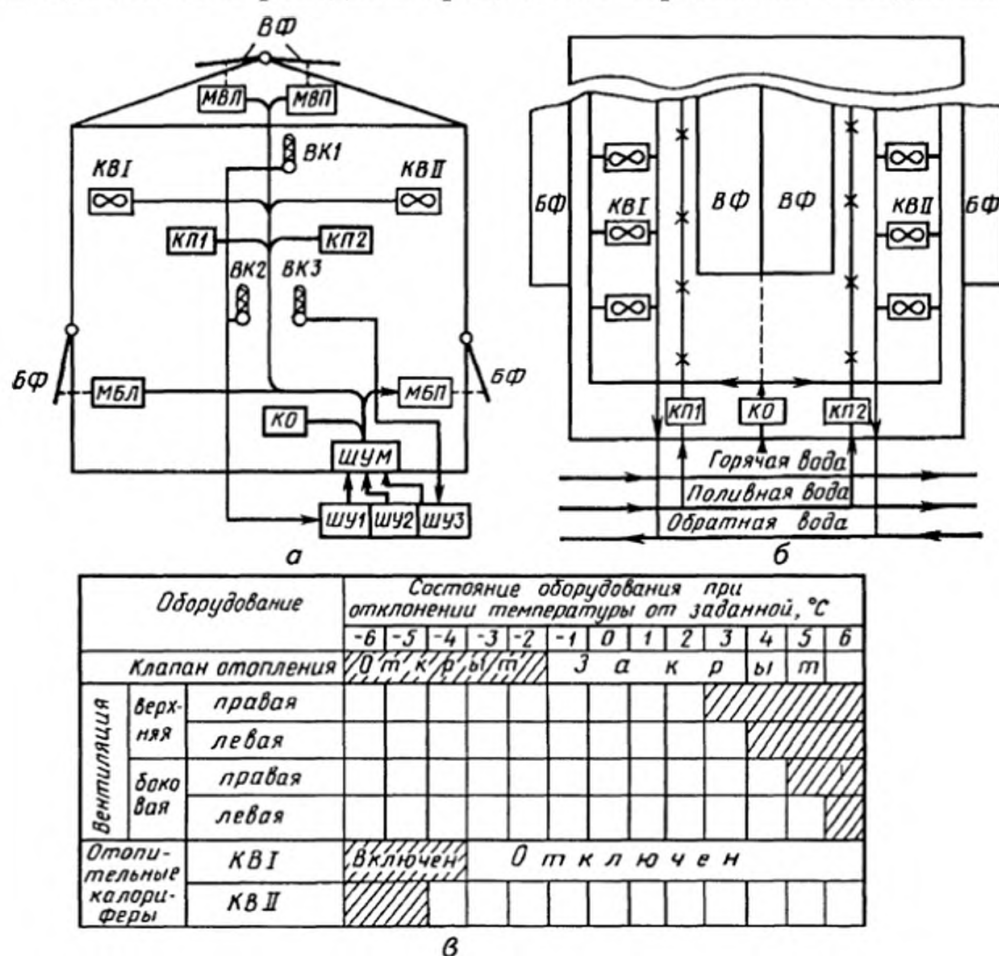


Рис. 6.8. Схема размещения оборудования УГ-12 в теплице (а — вид с торца; б — вид сверху) и последовательность его работы (в)

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  $2...3^{\circ}$ , а правая (левая) боковая стенная вентиляция — на  $4...5^{\circ}$ .

При отклонении температуры от заданной на  $-1^{\circ}$  клапан отопления  $KO$  открывается «шагами» (один «шаг» за один цикл опроса): на  $-3^{\circ}\text{C}$  — включается первая отопительная группа калориферов  $KBR$ ; на  $-4^{\circ}\text{C}$  — вторая  $KB11$ . При отклонении температуры от заданной на  $\pm 6^{\circ}\text{C}$  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  $-1^{\circ}\text{C}$  включа-

ется реле  $KV1$  и загорается цифра 1 неоновой лампы  $HL7$ , на  $-2^\circ\text{C}$  срабатывает реле  $KV2$  и своим контактом  $KV2$  подключает в схему цифру 2 и т. д. (рис. 6.10). Сигнальная лампа  $HL$  (см. рис. 6.9) показывает в цифрах номер подключенного отделения теплицы.

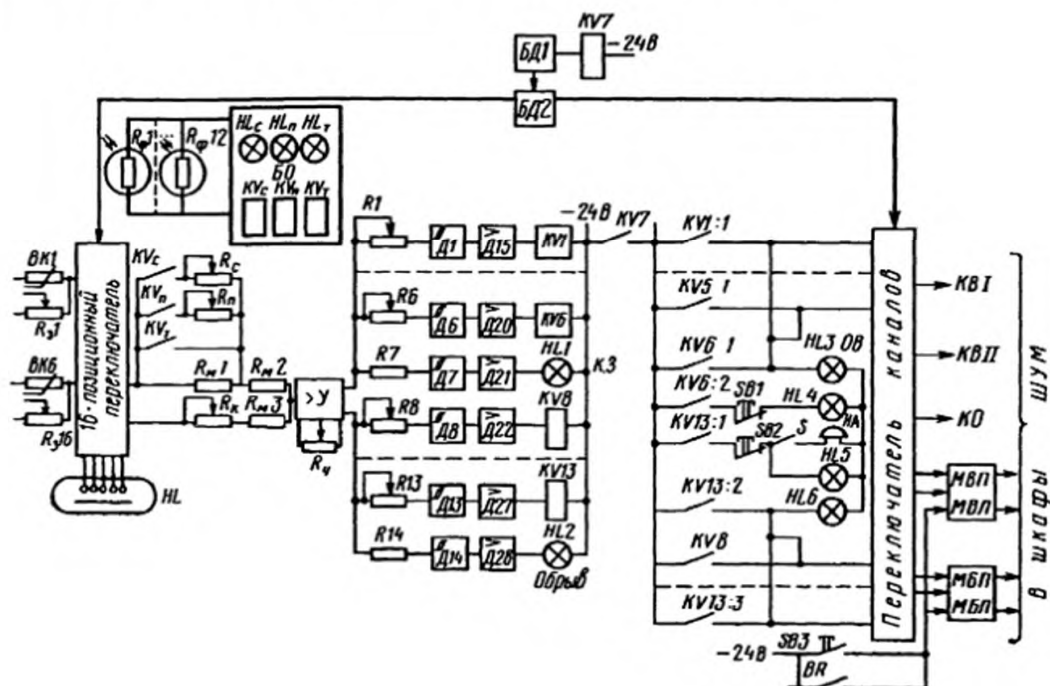


Рис. 6.9. Принципиальная электрическая схема управления температурой воздуха в ангарных теплицах

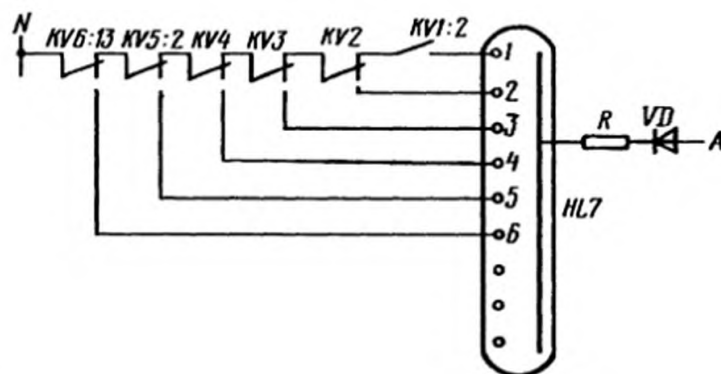


Рис. 6.10. Принципиальная электрическая схема включения цифровой сигнальной лампы

Резисторами  $R_1 \dots R_{16}$  устанавливают заданное значение температуры в 16 объектах, резистором  $R_k$  корректируют измерительный мост, а резистором  $R_q$  изменяют чувствительность (коэффициент усиления) усилителя  $U$ .

Блоком  $BO$  вместе с 12 датчиками освещенности  $R_{\phi 1} \dots R_{\phi 12}$  автоматически корректируется заданное значение температуры в зависимости от освещенности в теплице. При освещенности более 10 клк срабатывает реле  $KV_c$ , контакты которого включают сигнальную лампу  $HL_c$  «Светло» и резистор  $R_c$ , вызывающий температурную надбавку установки до  $5^\circ\text{C}$ . При снижении освещенности до  $5 \dots 10$  клк срабатывает

реле  $KV_{\Pi}$ , которое включает сигнальную лампу  $HL_{\Pi}$  «Пасмурно» и резистор  $R_{\Pi}$ , соответствующий температурной надбавке около 2,5 °С. При низкой освещенности, например в ночное время, срабатывает реле  $KV_T$ , которое включает сигнальную лампу  $HL_T$  и выдает своим контактом  $KV_T$  задание на управление температурой, соответствующей темному периоду суток. Перевод схемы с автоматического управления на ручное и обратно выполняют в соответствующем шкафу местного управления.

При необходимости экстренного закрытия форточек или изменения их положения одновременно во всех 12 отделениях используют кнопку  $SB3$ . Полностью форточки закрывают также и автоматически по команде от анемометра  $BR$  при достижении скорости ветра предельно допустимого значения. Положение форточек, текущее значение температуры наружного воздуха и температуры в теплицах контролируют приборы. Кроме этого температура в теплицах регистрируется 12-канальным автоматическим мостом.

## **Тема 6.3**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОЛИВА И ПОДКОРМКИ РАСТЕНИЙ**

### **Технологические основы автоматизации полива и подкормки растений**

Задача системы управления поливом — поддержание влажности почвы в определенных пределах. В некоторых случаях одну и ту же систему используют для полива почвы и увлажнения воздуха. С точки зрения эффективности наилучшими системами полива являются струйные и капельные. В то же время наибольшее распространение получили стационарные дождевальные системы, использующие распылители дефлекторного типа, к которым вода подается через специальный вентиль. В связи с ограниченной мощностью источника водоснабжения одновременный полив всех теплиц блока невозможен, и поэтому автомат полива должен действовать по определенной программе. Эта программа запускается по команде оператора или от измерительных преобразователей влажности воздуха.

С технологической точки зрения требуемое количество воды нужно подавать в несколько приемов. Заданную кратность полива также устанавливает оператор.

В некоторых конструкциях автоматов полива при поступлении информации о понижении относительной влажности воздуха в одной из теплиц блока программа полива прерывается и система переключается на увлажнение воздуха в той теплице, из которой поступил сигнал. По окончании цикла увлажнения автомат возвращается к выполнению прерываемой программы полива.

Команда на повторное увлажнение воздуха в теплице может выполняться как через заданный интервал времени, так и через интервал, зависящий от уровня освещенности (чем выше освещенность, тем меньше интервал). Программа полива (увлажнения) должна автоматически прерываться при уменьшении расхода воды на полив, при аварийном повышении температуры поливной воды, а также при снижении уровня естественной освещенности (обычно до 2 лк).

Главный недостаток рассмотренных технологий заключается в ручном задании норм полива.



Возможный вариант нормированного полива — использование вычислительного устройства, реализующего алгоритм расчета нормы полива в зависимости от ряда факторов: продолжительности предполивного периода и теплоты от солнечного излучения, поступившей в теплицу, влажности почвы на момент начала полива; плотности посадки растений и средней плотности листовой поверхности; влажности окружающего воздуха и т. д.

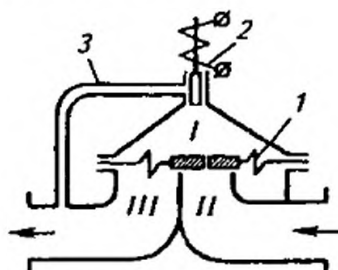


Рис. 6.11. Технологическая схема мембранного вентиля с электромагнитным приводом:  
1 — мембрана; 2 — электромагнит; 3 — канал сброса воды из надмембранной полости

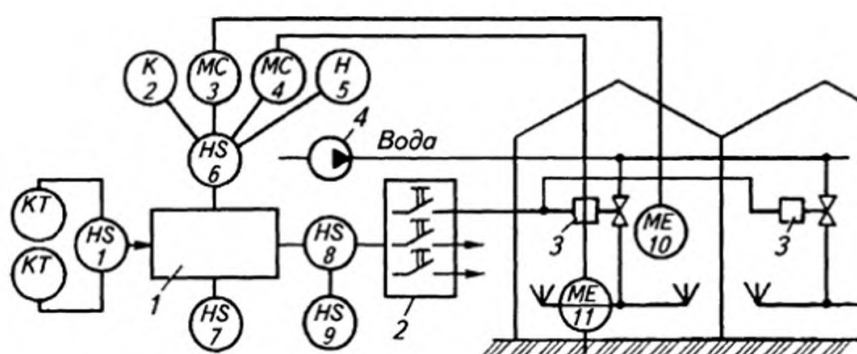


Рис. 6.12. Функциональная схема САУ влажностью воздуха:  
1 — обтекающее устройство; 2 — переключатель набора программы полива;  
3 — мембранный вентиль; 4 — насос поливной воды

В овощеводстве в сооружениях защищенного грунта минеральные удобрения, как правило, вносят в растворенном виде вместе с поливной водой. Концентрированный раствор минеральных удобрений приготавливают в накопительном баке, а затем наносы-дозаторы перекачивают его в магистраль поливной воды. Количество концентрированного раствора минеральных удобрений определяется положением специального клапана.

Систему подкормки растений минеральными удобрениями вводят в работу вручную или автоматически одновременно с включением системы полива, но только в том случае, если заданная кратность полива больше единицы. Этим гарантируется промывка системы полива после окончания подкормки.

Одна из основных характеристик растворов минеральных удобрений — показатель кислотности pH, характеризующий протекание кислотно-щелочной реакции в гидропонной теплице. Теоретически

pH может изменяться в диапазоне 0...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 значение pH. При pH < 4 рост большинства растений затормаживается из-за снижения усвоения растением катионов минеральных веществ из почвы. При pH > 8 рост растений также резко снижается из-за того, что многие минеральные вещества осаждаются на поверхности корней и затрудняют дыхание и питание растений.

Для каждого вида растения существует свое оптимальное значение pH, которое для большинства находится в пределах 5...7 pH. В процессе роста растений pH тепличной почвы изменяется, поэтому значением pH питательного раствора необходимо управлять.

Интенсивность фотосинтеза зависит от концентрации диоксида углерода. В ночные часы концентрация CO<sub>2</sub> возрастает до 0,05 %, а в дневные часы падает до 0,01 %. В случае увеличения концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере теплицы с 0,03 до 0,15 % скорость фотосинтеза возрастает на 10...20 %. Очевидно, что требуемая по агротехническим нормам концентрация CO<sub>2</sub> может быть достигнута только в результате применения специальных систем подкормки, т. е. за счет искусственной подачи CO<sub>2</sub> в теплицу. Расчетная подача CO<sub>2</sub> зависит от объема теплицы и в среднем составляет 50...70 кг/ч на 1 га.

### **Автоматизация управления поливом, подкормкой и досвечиванием растений**

Принципиальная электрическая схема автомата полива представлена на рисунке 6.13. 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 достаточно рассмотреть только схему автоматического управления поливом.

Продолжительность полива одной теплицы (2...4 мин) устанавливают переключателями SA1, а кратность полива (1...5) — тумблерами SA25...SA29. При помощи реле KV1...KV12 и тумблеров SA2...SA24 включают соответствующие группы электромагнитных вентилях полива YA1...YA12 через промежуточные реле, расположенные в местных шкафах управления. Вентили могут быть включены вручную при помощи тумблера SA30 и переключателя SA31. Последовательность работы элементов схемы показана на рис. 6.14.

Систему полива включают кнопкой SB (рис. 6.13) или по цепи а через реле KV14 в заданное время суток. При этом включаются реле KV18 и KV19 (см. также рис. 6.14). 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  $SB$ .

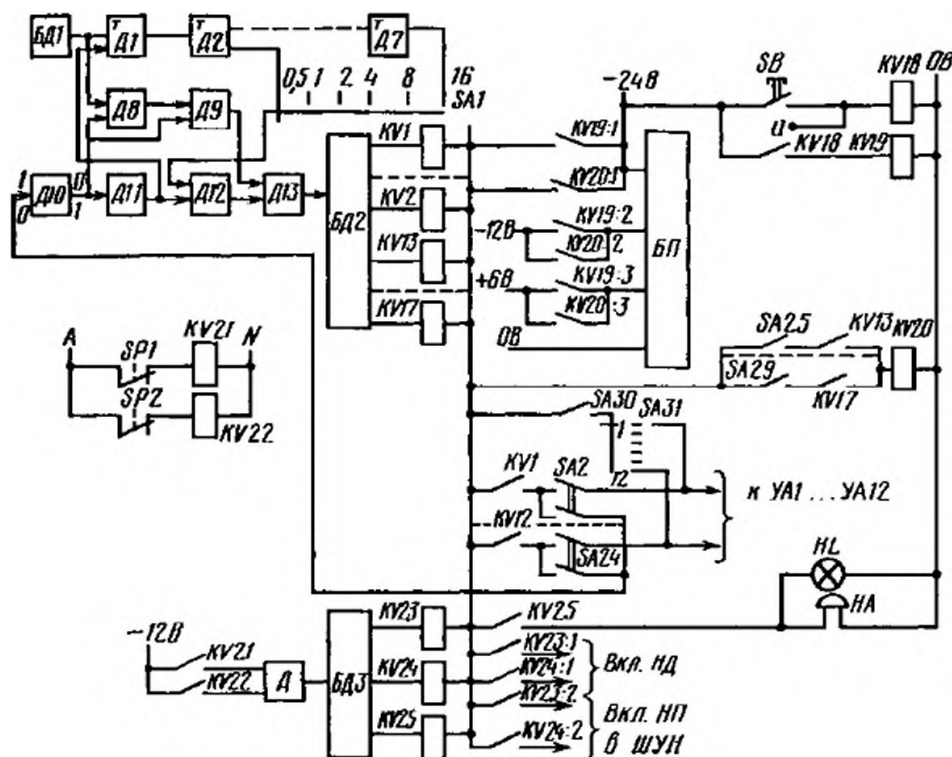


Рис. 6.13. Принципиальная электрическая схема автомата полива УТ-12

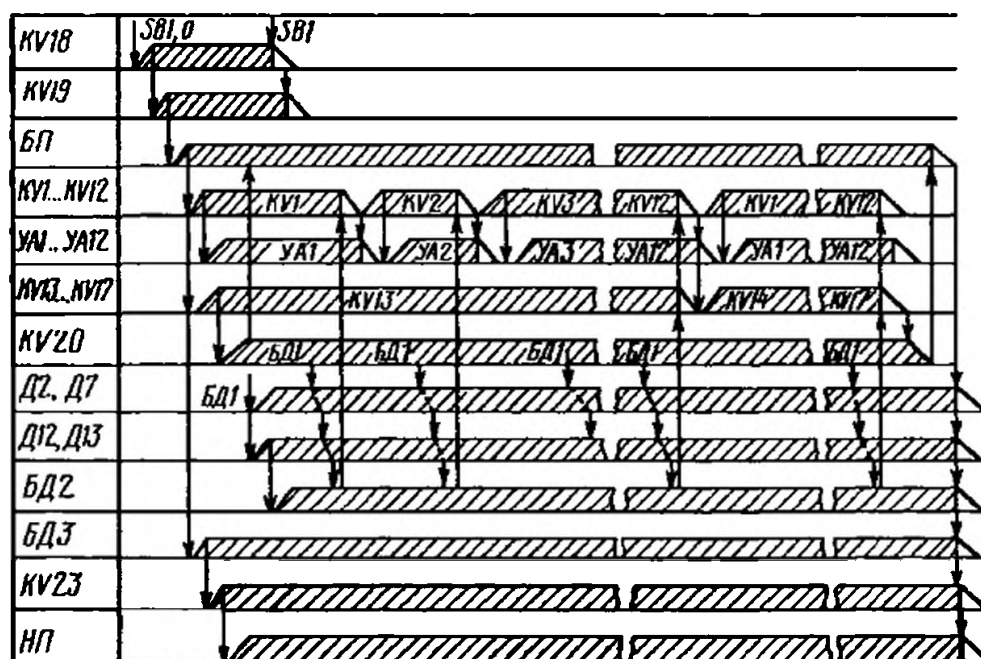


Рис. 6.14. Временная диаграмма работы элементов схемы автомата УТ-12

Одновременно с нажатием кнопки *SB* и подачей напряжения на схему от блока *БДЗ* срабатывает реле *KV23*, которое включает основной насос полива *НП* через промежуточное реле. Если пуск насоса не произошел, то контакты реле давления воды *SP1* остались замкнутыми. В этом случае на элемент *Д* через контакты *KV21* поступает сигнал «1», который через 1 мин при помощи 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 возрастет, то реле *KV24* отключается, а реле *KV25* включит звуковой сигнал *НА* и сигнальную лампу *HL* «Авария».

Насосы-дозаторы *НД* используют для подачи растворов минеральных удобрений. С включением насоса *НП* включается полив первой теплицы. Через контакты *KV1* и включенный переключатель *SA2* подается сигнал «1» (–24 В) на вход элемента *Д10*, а с выхода элемента *Д11* сигнал «1» поступает на элементы *Д1* и *Д12*. На вход элемента *Д1* подаются также сигналы с периодом 1 с от генератора импульсов *БД1*. Период следования этих сигналов увеличивается с помощью триггеров, выполненных на элементах *Д2...Д7*. В зависимости от положения переключателя *SA1* «Время полива» на элемент *Д12* поступают сигналы «1» с периодом 0,5, 1, 2, 4, 8 или 16 мин, которые затем через элементы *Д12* и *Д13* поступают на блок дешифрации *БД2* (кольцевой счетчик). Кольцевой счетчик вызывает поочередное срабатывание реле *KV1...KV12*, которые обеспечивают последовательный полив 12 теплиц 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 *ДУ0* «НЕ» поступает сигнал «0», а с его выхода сигнал «1» поступает на входы *Д8* и *Д9*, реализующие логическую функцию «И». Поскольку на вход элемента *Д8* поступают также импульсы с периодом 2 с от блока *БД1*, то через элементы *Д9* на вход *Д13*, а затем на дешифратор *БД2* сигнал «1» приходит через 2 с. Этот импульс вызывает переключение дешифратора *БД2*, и продолжительность 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, прекращая подачу напряжения питания на схему автомата полива. Работа автомата полива прекращается.

Система автоматического управления концентрацией растворов минеральных удобрений (рис. 6.15) позволяет измерять concentra-



цию растворов с точностью до  $\pm 10\%$  и управлять ею. Концентрированный раствор минеральных удобрений готовят в специальном бассейне *Б*, откуда насосами-дозаторами *НД* его подают через регулирующий клапан *КР1* в поливную воду. Насосы *НД* включаются от реле *KV22...KV24* аналогично включению поливных насосов *НП* (см. рис. 6.13, 6.14).

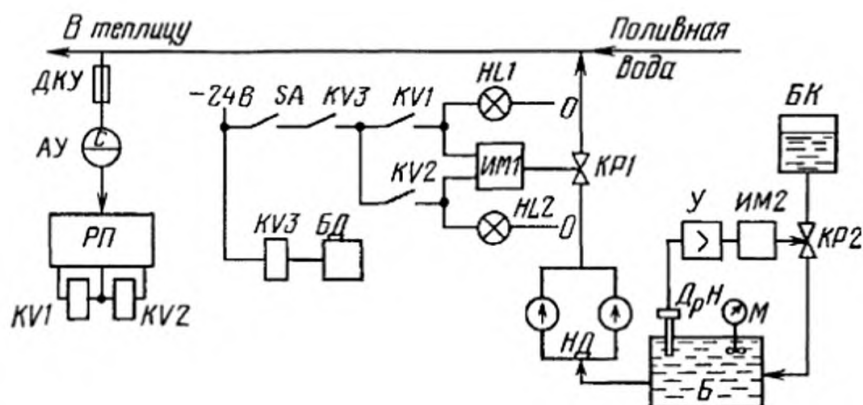


Рис. 6.15. Принципиальная электрическая схема управления концентрацией растворов минеральных удобрений

Концентрацию удобрений в поливной воде измеряют датчиком *ДКУ* кондуктометрического типа (по электропроводности раствора), в который встроен терморезистор, предназначенный для компенсации температурной погрешности. Датчик устанавливают в трубопровод за участком смешения концентрированного раствора и поливной воды. Его присоединяют через анализатор удобрений *АУ* к регулиющему прибору *РП*, который настраивают на двухпозиционное управление исполнительным механизмом *ИМ1* при помощи реле *KV1* «Концентрация больше» и *KV2* «Концентрация меньше». Например, если концентрация минеральных удобрений больше заданной, то срабатывает реле *KV1*, которое включает исполнительный механизм на уменьшение пропуска клапаном *КР1* концентрированного раствора. При этом загорается сигнальная лампа *HL1*. Если концентрация удобрений меньше заданной, то срабатывает реле *KV2* и исполнительный механизм открывает регулирующий клапан *КР1*. При достижении концентрации заданного значения реле *KV1* или *KV2* отключает исполнительный механизм. Для улучшения качества двухпозиционного регулирования используют импульсный прерыватель, состоящий из реле *KV3* и блока *БД* генератора импульсов с периодом 20 с.

Значение *рН* определяют методами физико-химического анализа. Из экспрессивных методов наиболее подходит электрометрический метод измерения *рН*, принцип действия которого основан на определении потенциалов на электродах, помещенных в исследуемый раствор. Такой электродный датчик измеряет концентрацию водородных ионов *рН* в растворе и выдает сигнал в виде гальванического напряжения. Датчик измеряет *рН* с точностью до 0,1. Для растений допу-

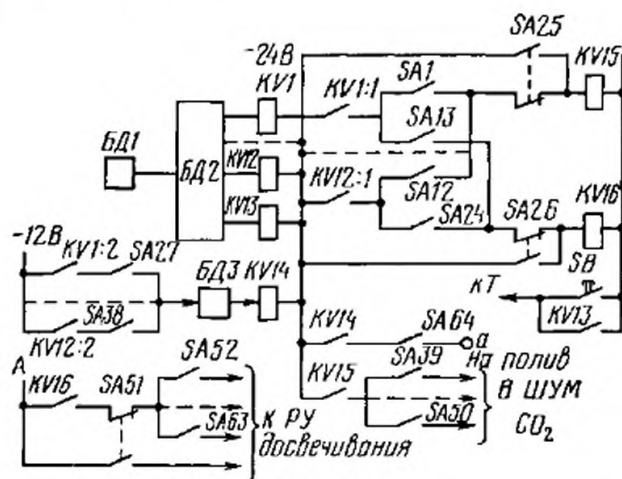
скается отклонение до  $\pm 0,2$  рН, а иногда и до  $\pm (0,3 \dots 0,5)$  рН от оптимальных.

Схема управления значением pH раствора минеральных удобрений показана на рис. 6.15.

При отклонении рН раствора от заданного значения на выходе датчика *ДрН* 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 блока *БК* специального раствора, корректирующего значение рН раствора удобрений в бассейне *Б*. Мешалка *М* с электроприводом обеспечивает выравнивание концентрации минеральных удобрений и значений рН по всему объему раствора.

Для подкормки растений диоксидом углерода можно сжигать природный газ в специальных генераторах или подавать в теплицу дымовые газы из тепличных котельных, реже из специальных газовых баллонов, содержащих  $\text{CO}_2$ . Широко применяемые генераторы 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 содержанием  $\text{CO}_2$  работает по заданной временной программе с 24-часовым циклом. На вход 12-позиционного кольцевого счетчика БД2 (рис. 6.16) от блока генератора БД1 поступают импульсы с периодом 2 ч. Эти импульсы поочередно включают реле KV15. Реле KV15 управляет газогенераторами  $\text{CO}_2$  в теплицах через промежуточные реле.



**Рис. 6.16. Принципиальная электрическая схема управления подкормкой диоксидом углерода, досвечиванием растений и включением полива в заданное время**

После отключения реле *KV12*, завершающего управление подачей  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$ , набирают тумблерами *SA39...SA50*, а длительность подачи  $\text{CO}_2$  устанавливают тумблерами *SA1...SA12*, причем первый включенный тумблер определяет начало подкормки, а последующий — окончание. При помощи тумблера *SA25* вручную управляют содержанием  $\text{CO}_2$  без ограничения по времени.

Досвечиванием управляют 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. Лампа, подвешенная на высоте 1,5 м, равномерно освещает площадь до 4 м<sup>2</sup>.

Схема автоматического управления досвечиванием работает аналогично схеме управления содержанием  $\text{CO}_2$ . Контакты реле *KV16* подключают фазу А через тумблеры *SA52...SA63* «Участок досвечивания» к распределительным щиткам РУ управления досвечиванием. Длительность досвечивания определяют в часах. Она равна двойному числу одновременно включенных тумблеров *SA13...SA24* «Досвечивание», а начало и конец досвечивания определяются первым и последним из включенных тумблеров. Для ручного управления досвечиванием предусмотрены тумблеры на распределительных щитках управления РУ.

Реле *KV1...KV12* и *KV14* совместно с блоком дешифрации БДЗ и тумблерами *SA64; SA2...SA38* осуществляют «Включение полива в заданное время» через реле *KV18* (см. рис. 6.13). Номер участка, который необходимо полить, выставляют тумблерами *SA27...SA38* (см. рис. 6.16). Блок БДЗ обеспечивает выдержку времени во включенном состоянии до 5 с, после которой реле *KV14* обесточивается и сигнал «Пуск» в цепь а управления автоматом полива не поступает.

**Раздел 7**  
**АВТОМАТИЗАЦИЯ**  
**ХРАНИЛИЩ**  
**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ**  
**ПРОДУКЦИИ**

---

---



## **Тема 7.1**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ ОВОЩЕХРАНИЛИЩ**

### **Технологические основы хранения сельскохозяйственной продукции**

Организация правильного хранения картофеля и овощей — важнейшая задача производящих и перерабатывающих предприятий, поскольку нарушения технологии процесса оборачиваются большими потерями продукции.

Картофель и овощи хранят в специально оборудованных помещениях, полузаглубленных в грунт. Картофель содержат в контейнерах или закромах, расположенных вдоль стен по обе стороны от центрального прохода.

Сохранность продукции зависит главным образом от температурного режима, влажности и газового состава воздуха в хранилище. Для каждого вида продукции существует своя оптимальная температура хранения: для картофеля 2...5 °С, для корнеплодов 0,5...1 °С, для лука 0...3 °С. При этом относительная влажность воздуха в картофеле- и овощехранилище должна находиться в пределах 80...95 %, а в лукохранилище — не более 60...70 %. Этот температурно-влажностный режим поддерживает система активной вентиляции, позволяющая, кроме того, удалять с поверхности клубней влагу, а также продукты дыхания клубней, ведущие к развитию болезнетворных микроорганизмов.

Применение активного вентилирования позволяет снизить потери при хранении с 10...20 до 5 % массы хранимого продукта. Система активного вентилирования образована группой вентиляционных установок, каждая из которых подает воздух под бурт картофеля через систему магистральных и боковых каналов меньшего сечения. В закромах над боковыми каналами устанавливают напольные распределители воздуха (решетки). Для перераспределения воздушных потоков в системе воздухопроводов (при неодинаковой высоте засыпки или наличии пустых закромов) установлены специальные задвижки-шиберы.

Весь цикл хранения картофеля делят на три периода, различающихся сутью физиологических процессов, происходящих в продукте: лечебный, охлаждения, хранения.

*Лечебный период* предназначен для быстрого заживления механических повреждений клубней. Скорость заживления зависит как от физиологических факторов (срока уборки, сорта), так и от условий хранения: температуры, влажности, скорости движения воздуха. Данный период длится 10...15 дней. В это время продукция вентилируется 4...6 раз в сутки по 10...30 мин рециркуляционным воздухом.

*Период охлаждения* служит для снижения температуры продукта до необходимой (из условия наибольшей сохранности). Для картофеля температуру снижают до 2...6 °С. При этой температуре исключается преждевременное прорастание клубней, но содержание сахара в них не увеличивается. В период охлаждения продукт вентилируется наружным воздухом, когда его температура ниже температуры продукта на 2...3 °С. При более низких наружных температурах продукт охлаждается смесью наружного и внутреннего воздуха. Период длится 10...40 дней при 15...30-минутном вентилировании 4...6 раз в сутки.

*Период хранения* предназначен для поддержания необходимой температуры и воздухообмена в массе продукта. Вентиляция в этот период включается по заданной программе, а также при повышении температуры продукта и продолжается до момента снижения этого параметра до нормы. Температура вентиляционного воздуха регулируется автоматически за счет изменения количества теплого внутреннего воздуха, подмешиваемого к холодному наружному. Во избежание примерзания смесительный клапан оборудуют электроподогревателем, включаемым перед пуском вентилятора.

При снижении температуры в верхней зоне хранилища автоматически включаются рециркуляционно-отопительные агрегаты, предупреждая запотевание верхнего слоя продукта. Система защиты от подмораживания продукта выключает вентиляционную установку при поступлении в магистральный канал воздуха с опасно низкой температурой.

## **Овощехранилище как объект управления микроклиматом**

Математическое описание тепловых процессов в массе хранимой продукции можно определить аналитически из уравнения динамики теплообмена хранимых овощей 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 объема клубня. Эта составляющая теплоты образуется в результате биохимических процессов.

Управление теплообмена с учетом внутренних источников и затрат теплоты на испарение влаги из продукта можно записать следующим образом:

$$CV(1-\mu)\frac{d\theta}{dt}=q-q_{\text{и}}-\alpha V(\theta-\theta_{\text{в}}), \quad (7.1)$$

где  $C$  — объемная теплоемкость клубней, Дж/(м<sup>3</sup> · °C);  $V$  — объем слоя хранимой продукции, м<sup>3</sup>;  $\mu = \frac{V-V_0}{V}$  — скважность слоя хранимой про-

дукции: для картофеля — 0,38...0,45;  $V_0$  — объем клубней, м<sup>3</sup>;  $\theta$  — температура клубней, °C;  $t$  — время, с;  $q$  — количество теплоты, выделяемое в объеме  $V$  продукции за одну секунду, Дж/с;  $q_{\text{и}} = wi$  — количество теплоты, затрачиваемое на испарение влаги  $w$  (кг/с) с теплосодержанием водяного пара  $i$  (Дж/кг), Дж/с;  $\alpha$  — объемный коэффициент теплообмена, Дж/(м<sup>3</sup> · °C);  $\theta_{\text{в}}$  — температура воздуха в межклубневом пространстве, °C.

Перенесем составляющие  $q$  и  $-q_{\text{и}}$  в левую часть уравнения (7.1) и вынесем за скобки  $V\frac{d\theta}{dt}$ . Тогда

$$\left[ C(1-\mu) - \frac{q}{V} \frac{dt}{d\theta} + \frac{q_{\text{и}}}{V} \frac{dt}{d\theta} \right] V \frac{d\theta}{dt} = -\alpha V(\theta - \theta_{\text{в}}). \quad (7.2)$$

Поскольку все величины в скобках левой части уравнения (7.2) имеют размерность объемной теплоемкости [Дж/(м<sup>3</sup> · °C)], то его можно представить в виде

$$C_p \frac{d\theta}{dt} = -\alpha(\theta - \theta_{\text{в}}), \quad (7.3)$$

где  $C_p$  — расчетная объемная теплоемкость слоя картофеля.

Перейдя к операторной форме и перенеся члены, содержащие  $\theta$ , в левую часть, получим:

$$C_p p \theta / \alpha + \theta = \theta_{\text{в}}. \quad (7.4)$$

Тогда передаточную функцию процесса можно записать следующим образом:

$$(W)p = \frac{1}{Tp + 1}, \quad (7.5)$$

где  $T = C_p / \alpha$ .

Уравнение теплового баланса для воздуха, проходящего через слой клубней толщиной  $h$ , имеет вид

$$C_{\text{в}} \mu \frac{d\theta_{\text{в}}}{dt} = \alpha(\theta - \theta_{\text{в}}) - C_{\text{в}} \nu \frac{d\theta_{\text{в}}}{dh}, \quad (7.6)$$

где  $C_{\text{в}}$  — объемная теплоемкость воздуха, Дж/(м<sup>3</sup> · °C);  $\nu$  — скорость воздуха, равная его количеству (м<sup>3</sup>), проходящему через поперечное сечение слоя продукции (м<sup>2</sup>) за 1 с, м/с.

Из уравнений (7.2.) и (7.6) очевидно, что интенсивность изменения температуры в массе продукции зависит от скорости прохождения приточного воздуха, толщины слоя  $h$  насыпи клубней, скважности слоя  $M$ , а также от начальных значений температур  $\theta$  клубней и  $\theta_v$  воздуха.

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 из 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.

Из-за перечисленных особенностей трудно точно определить результат совместного решения уравнений (7.3) и (7.6). Передаточные функции тепловых процессов в массе хранимой продукции можно определить по кривым разгона.

Установлено, что при подаче воздуха  $L \leq 50 \text{ м}^3/(\text{т} \cdot \text{ч})$ , т. е. на 1 т насыпи клубней, передаточную функцию можно выразить так:

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1},$$

а при  $L > 50 \text{ м}^3/(\text{т} \cdot \text{ч})$  —

$$W(p) = \frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}. \quad (7.8)$$

С ростом подачи воздуха от 50 до 250  $\text{м}^3/(\text{т} \cdot \text{ч})$  значение коэффициента передачи  $k$  снижается с 0,03 до 0,008. Коэффициент передачи  $k$  показывает, на сколько градусов снижается температура насыпи клубней за 1 ч при подаче 1  $\text{м}^3$  воздуха на 1 т клубней. Постоянные времени также зависят от подачи воздуха: при  $L \leq 50 \text{ м}^3/(\text{т} \cdot \text{ч})$   $T = 7...8 \text{ ч}$ , при  $L > 50...250 \text{ м}^3/(\text{т} \cdot \text{ч})$   $T_1 = 8...6 \text{ ч}$ ,  $T_2^2 = 2...1,6 \text{ ч}$ .

При отключенной вентиляции температура массы хранимого продукта повышается за счет теплоты самосогревания. Передаточная функция массы продукта при самосогревании без отвода теплоты

$$W(p) = k_c / p, \quad (7.9)$$

где  $k_c$  — коэффициент передачи, 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:

$$CG \frac{d\theta}{dt} = q - \alpha F(\theta - \theta_o) - CG_v(\theta_v - \theta), \quad (7.10)$$



где  $C$  — удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг · °C);  $G$  — масса воздуха в верхней зоне, кг;  $\theta$  — температура воздуха в верхней зоне, °C;  $q$  — тепловыделение продукции, Дж/с;  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи воздуха к ограждениям, Дж/(м<sup>2</sup> · с · °C);  $F$  — площадь поверхности ограждения, м<sup>2</sup>;  $G_{\text{в}}$  — удельный расход воздуха на входе в верхнюю зону, кг/с;  $\theta_0$  — температура ограждений, °C;  $\theta_{\text{в}}$  — температура воздуха на входе в верхнюю зону, °C.

Если из-за отсутствия числовых значений величин, входящих в уравнение (7.10), трудно найти аналитически количественное выражение передаточной функции, то следует снять экспериментальную кривую разгона и по ней определить передаточную функцию верхней зоны. Она выражается тремя составляющими (по числу параллельно действующих возмущений):

$$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1}; \quad W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1}; \quad W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1}.$$

Для типового овощехранилища на 1000 т можно принять  $k_1 = 0,3$ ,  $k_2 = 0,5$ ,  $k_3 = 0,2$ ,  $T_1 = 2,3$  ч,  $T_2 = 0,12$  ч,  $T_3 = 0,04$  ч.

Во всех овощехранилищах с автоматическим управлением микроклиматом используют смесительное устройство. Как объект управления это устройство можно описать уравнением теплового баланса в приращениях:

$$C\theta_{\text{н}}\Delta G_{\text{н}} + C\theta_{\text{р}}\Delta G_{\text{р}} = C\Delta\theta_{\text{п}}G_{\text{п}}, \quad (7.11)$$

где  $\theta_{\text{н}}$  и  $\theta_{\text{р}}$  — значения температуры соответственно наружного и рециркуляционного воздуха, °C;  $\Delta G_{\text{н}} = -\Delta G_{\text{р}}$  — приращение смешиваемых количеств наружного и рециркуляционного воздуха, кг/с;  $\Delta\theta_{\text{п}}$  — приращение температуры, °C;  $G_{\text{п}}$  — удельный расход приточного воздуха, кг/с.

С учетом указанных соотношений уравнение (7.11) можно представить в виде

$$\frac{\theta_{\text{н}} - \theta_{\text{р}}}{G_{\text{п}}} \Delta G_{\text{н}} = \Delta\theta_{\text{п}},$$

откуда определить передаточную функцию смесительного устройства как безынерционного звена:

$$W(p) = \frac{\Delta\theta_{\text{п}}}{\Delta G_{\text{н}}} = \frac{\Delta\theta_{\text{н}} - \theta_{\text{р}}}{G_{\text{п}}} = k. \quad (7.12)$$

Полученные математические выражения могут быть использованы при выборе элементов управляющих устройств, а также при настройке регуляторов систем автоматического управления микроклиматом в картофелехранилищах.

## Системы автоматизации микроклимата в картофелехранилище

В отечественной и зарубежной практике автоматизации картофелехранилищ используют САУ только температурными режимами. 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.

Для управления микроклиматом в картофелехранилище наибольшее распространение получили две типовые системы: оборудование типа ОРТХ и «Среда». Оборудование регулирования температуры (ОРТХ) обеспечивает поддержание технологически обоснованных температурных режимов приточного воздуха, массы хранимой продукции и воздуха верхней зоны в хранилищах вместимостью до 1000 т с числом вентиляционных камер не более двух.

Оборудование типа ОРТХ состоит из следующих основных частей (рис. 7.1): радиального вентилятора 1, приточной 2 и вытяжной шахт, смесительного клапана 3, регулирующего соотношение смешиваемого воздуха (наружного и внутреннего), и рециркуляционно-отопительного агрегата 4.

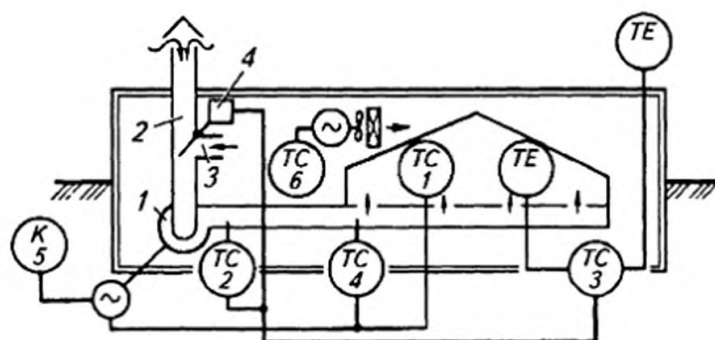


Рис. 7.1. Функциональная схема управления микроклиматом в овощехранилище:

- 1 — радиальный вентилятор; 2 — приточная шахта; 3 — смесительный клапан;  
4 — рециркуляционно-отопительный агрегат

Для управления технологическим оборудованием активной вентиляции и отопления используют шкаф автоматики ШАУ-АВ, в котором собрана регулирующая, программная, пусковая и измерительная аппаратура, в том числе пять терморегуляторов (рис. 7.2).

Регулятор *ТС1* (см. рис. 7.1) контролирует температуру внутри массы продукта и включает вентилятор при ее повышении. При расходе воздуха 100...300 м<sup>3</sup>/ч на 1 т хранимого продукта постоянная времени объекта управления достигает 7...8 ч. Регулятор *ТС2* стабилизирует температуру воздуха в магистральном канале посредством перестановки смесительного устройства и изменения таким образом соотношения количеств наружного и рециркуляционного воздуха. При отключении вентилятора или уменьшении разности температур наружного

воздуха и хранимого продукта смесительное устройство автоматически закрывается.

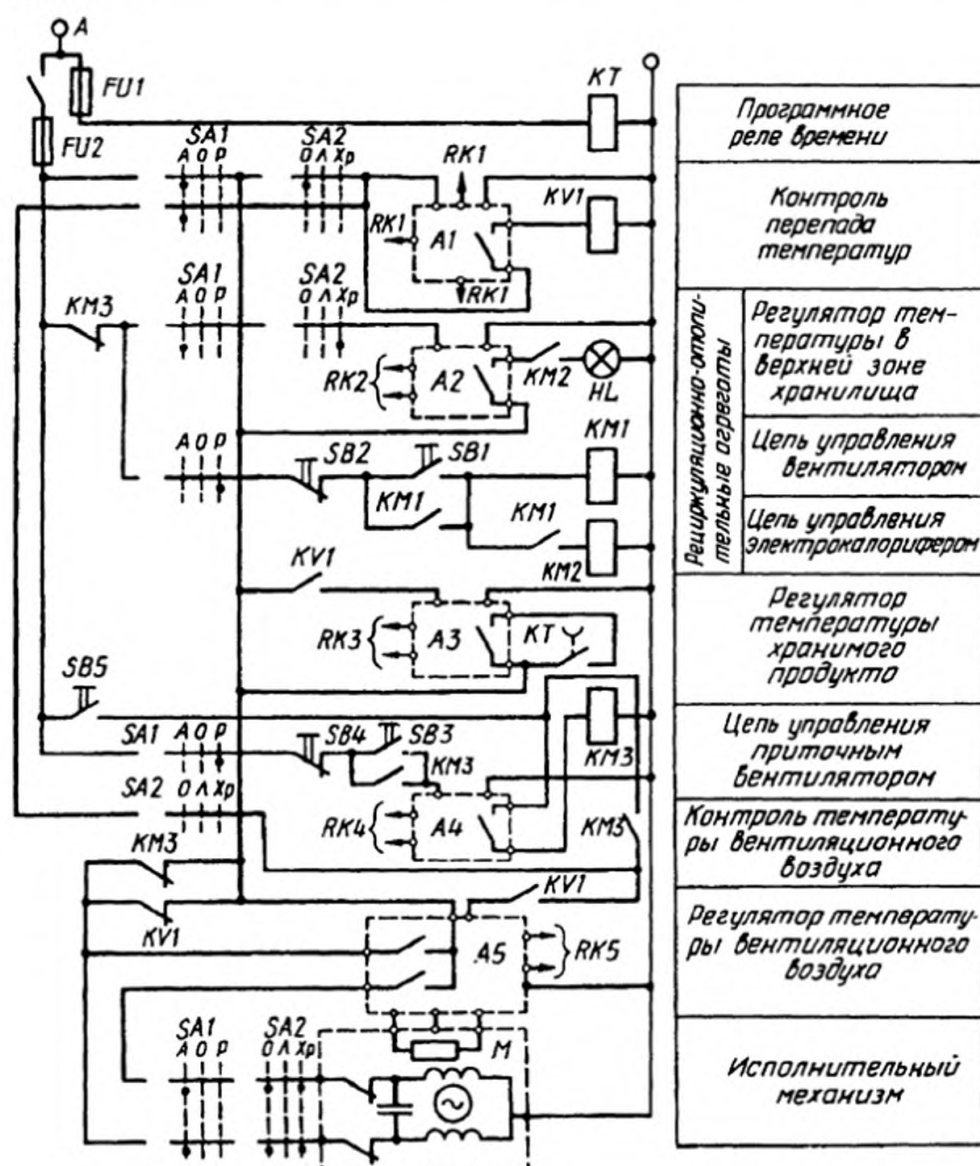


Рис. 7.2. Принципиальная электрическая схема управления микроклиматом в овощехранилище

Регулятор TC3 контролирует разность температур наружного воздуха и хранимого продукта и в случае достаточного ее значения (снаружи значительно холоднее) дает разрешение на открытие смесительного устройства. Регулятор TC4 контролирует температуру в магистральном канале и при ее аварийном понижении отключает вентилятор. Реле времени K5 управляет работой вентилятора по заданной программе независимо от текущего значения температуры хранимого продукта. Регулятор TC6 контролирует температуру воздуха в надзакромном пространстве и управляет работой рециркуляционно-отопительного агрегата.

Регулятор TC2 работает по непрерывному принципу (П-регулятор), все остальные регуляторы действуют по двухпозиционному закону.

Кроме того, внутри шкафа размещен обогреватель, управляемый камерным терморегулятором, промежуточные реле и другая аппаратура. На дверце шкафа находятся логометр с переключателем точек измерения, переключатели и сигнальная аппаратура. Датчики *TE* температуры массы хранимого продукта размещают на глубине 0,5...0,7 м от уровня насыпи, укрепляя их на металлическом тросе при укладке продукта. В массе продукта устанавливают три-четыре датчика. Датчики *TE* температуры наружного воздуха устанавливают не ближе 0,5 м от стены хранилища и защищают от прямых солнечных лучей. Установка ШАУ-АВ работает в ручном и автоматическом режимах. В *ручном режиме* переключатель *SA1* «Приточный вентилятор» устанавливают в положение *P*. Приточным вентилятором и отопительными агрегатами управляют с лицевой панели шкафа ШАУ-АВ, а смесительным устройством — «по месту». Находящийся постоянно в работе регулятор *A4* отключает вентилятор в случае понижения температуры приточного воздуха до опасного уровня.

Ручное управление следует использовать только для наладочных и аварийных работ.

В *автоматическом режиме* переключатель *SA1* устанавливают в положение *A*.

*Лечебный период.* Переключатель режимов хранения *SA2* — в положение «Л», приточный вентилятор (магнитный пускатель *KM3*) включается — отключается первой программой реле времени *KT* (через контакты регулятора *A4*). При понижении температуры вентиляционного воздуха *A4* отключает вентилятор. Рециркуляционно-отопительные агрегаты и обогреватель смесительного устройства закрыты, им управляют кнопками «по месту».

*Период охлаждения.* Переключатель режимов *SA2* находится в положении *0*. В работе принимают участие терморегуляторы *A1*, *A3*, *A4* и *A5*. При наличии достаточной разности температур наружного и внутреннего воздуха (2...3 °C) терморегулятор *A1* включает реле *KV1*, через контакты которого напряжение питания подается на *A3*. Регулятор *A3* при повышении температуры в массе продукта включает магнитный пускатель *KM3* вентилятора (если этому не препятствует *A4*). Подача наружного воздуха в хранилище продолжается до тех пор, пока температура в массе продукта не понизится до уровня размыкания контактов *A3* или пока не уменьшится до заданного уровня разность температур, контролируемая *A1*. При срабатывании *KM3* включается П-регулятор *A5*, регулирующий температуру приточного воздуха за счет перестановки смесительного устройства исполнительным механизмом *M*. В этом случае блокировка, действующая на закрытие клапана при неработающем вентиляторе (контакты *KM3*) или малой разности температур наружного и внутреннего воздуха (контакты *KV1*), автоматически снимается. При неработающем вентиляторе или повышении наружной температуры смесительное устройство автоматически закрывается.



Таким образом, благодаря работе *A1* для скорейшего охлаждения продукта используются даже кратковременные снижения наружной температуры. Если наружная температура стабильно высока — вентиляция работает периодически по команде реле *КТ* при закрытом смесительном устройстве, в режиме полной рециркуляции.

*Период хранения.* Переключатель *SA2* в положении *Хр*. В период хранения приточный вентилятор включается 4...6 раз в сутки по команде реле времени, а также при срабатывании терморегулятора *A3*. Одновременно с включением вентилятора через контакты *КМ3* вводится в работу терморегулятор *A1*, и в дальнейшем автоматика действует так же, как и в режиме охлаждения.

Если температура в массе продукта превысила заданную, то контакты *A3* шунтируют контакты *КТ* и работа вентилятора продолжается до снижения температуры продукта до нормы и размыкания контактов *A3*. При отключении вентилятора смесительное устройство автоматически закрывается (контакты *КМ3*).

При температуре в надзакромном пространстве ниже нормы терморегулятор *A2* включает рециркуляционно-отопительные агрегаты (пускатели *КМ1*, *КМ2*), при температуре выше нормы агрегаты отключаются.

Обогреватель смесительного устройства вводится в работу также по команде реле *КТ*, но только при снижении наружной температуры до  $-10...-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

При эксплуатации хранилищ в южных районах нашей страны желательно включать в состав оборудования холодильную машину. Тогда в случае повышения температуры в массе продукта выше нормы в момент, когда наружная температура высока, одновременно с включением приточного вентилятора включается и холодильная машина. В этом случае температура воздуха, поступающего в магистральный клапан, регулируется терморегулятором, входящим в комплект холодильной машины.

Система управления «Среда-1» более совершенна, чем ШАУ-АВ. Она способна автоматически пропорционально регулировать температуру воздуха, направляемого в массу хранимого продукта, двухпозиционно регулировать температуру хранимого продукта и воздуха в верхней зоне хранилища, а также выполнять ряд технических измерений, сигнализацию отклонений температуры от заданной в отдельных секциях хранилища и т. д. «Среда-1» может управлять технологическим процессом в восьми секциях хранилища вместимостью до 5000 т. В каждой секции овощехранилища установлены: два рециркуляционно-отопительных агрегата, приточный вентилятор, смесительное устройство с приводом от ИМ и обогревателем, несколько датчиков температуры воздуха в верхней зоне и в магистральном канале, а также датчики температуры в массе хранимого продукта.

Функциональная схема системы «Среда-1» показана на рис. 7.3. В каждой из восьми секций хранилища устанавливаются четыре изме-

рительных преобразователя 1: для двухпозиционного регулирования температуры в массе хранимого продукта, надзакромном пространстве и два в магистральном канале (для пропорционального регулирования температуры воздуха за счет смешивания холодного наружного и теплого рециркуляционного воздушных потоков). Блоки измерения и задания 2 формируют 32 аналоговых сигнала, пропорциональных текущему значению регулируемого параметра. Эти сигналы через блоки переключателей (коммутаторов) 3 в установленной последовательности подаются на вход двухпозиционного 4 или пропорционального 5 регулятора. Также в синхронной последовательности, задаваемой электронным блоком 6, через блоки управления 7 переключаются цепи регуляторов.

Регулятор 9 разности температур наружного (преобразователь 10) и внутреннего (преобразователь 11) воздуха в случае повышения наружной температуры до заданного уровня переключает систему на вентиляцию продукта внутренним (рециркуляционным) воздухом. Логометр 12, получающий питание, как и все другие элементы схемы, от блока 14, через переключатель позволяет проконтролировать температуру в 39 точках по объему хранимого продукта.

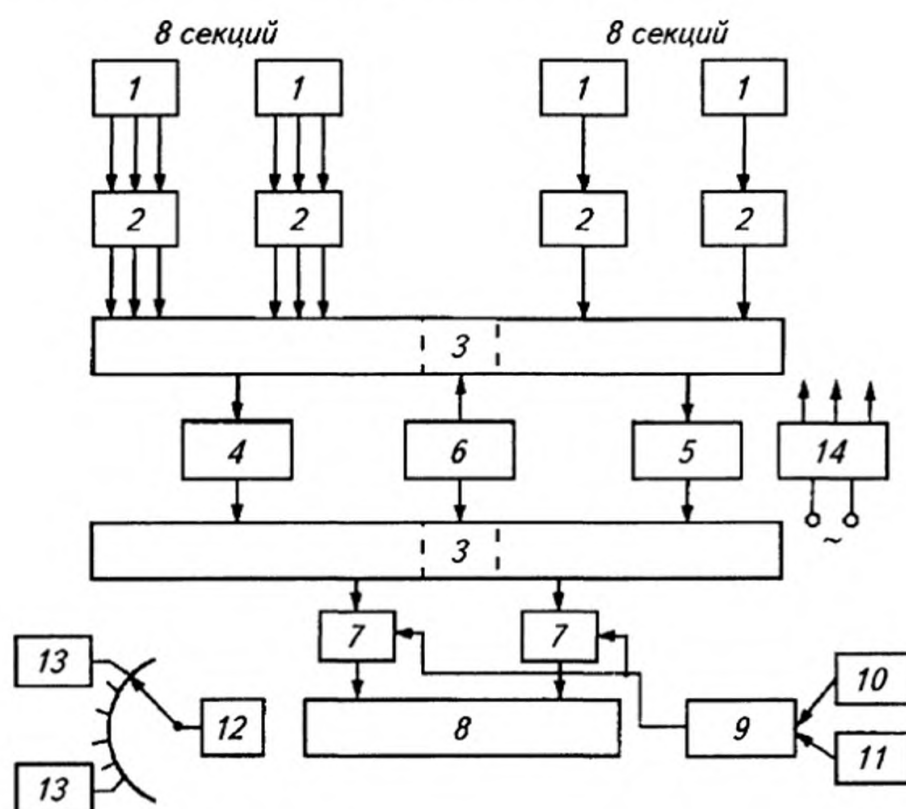


Рис. 7.3. Блок-схема системы «Среда-1» для управления микроклиматом в хранилище:

1, 13 — измерительные преобразователи; 2 — блоки управления и задания; 3 — блоки переключателей; 4 — двухпозиционный регулятор; 5 — пропорциональный регулятор; 6 — блок синхронизации; 7 — блоки управления; 8 — исполнительный механизм; 9 — регулятор разности температур; 10, 11 — измерительные преобразователи температур наружного и внутреннего воздуха; 12 — логометр; 14 — блок питания

Алгоритм функционирования системы «Среда-1» аналогичен алгоритму схемы ШАУ-АВ.

К передовым устройствам автоматического контроля и управления процессом хранения сельскохозяйственной продукции относится компьютерная система КСУ-91. Система состоит из блоков сбора и передачи информации (БСПИ) и блоков управления электроприводами (БУЭ), термоподвесок облегченной конструкции со встроенными первичными измерительными преобразователями (ПИП), монитора, клавиатуры со встроенным микропроцессором и программой управления, записанной в ПЗУ. Система обеспечивает контроль температуры в диапазоне от  $-10$  до  $+40$  °С с абсолютной погрешностью  $0,5$  °С.

## **Тема 7.2**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ ФРУКТОХРАНИЛИЩ**

### **Технологические основы автоматизации фруктохранилищ**

Конструкции фрукто- и овощехранилищ имеют много общего. Особенность технологического процесса хранения фруктов — необходимость охлаждения продукта и точного поддержания относительной влажности воздуха. Поэтому в схему автоматизации оборудования фруктохранилища включены системы управления воздухоохладительными установками и подачей пара на увлажнение воздуха в камерах.

В помещениях для хранения фруктов (фруктохранилищах) концентрация диоксида углерода поддерживается на уровне, существенно более высоком, чем в атмосферном воздухе, достигая 1 % и более. При этом содержание кислорода уменьшается, а азота увеличивается. Данные обстоятельства улучшают условия хранения фруктов. Содержание  $\text{CO}_2$  регулируют, пропуская циркуляционный воздух через известковое молоко или сжигая газ при контролируемой подаче воздуха. Получаемая таким образом газовая смесь, обогащенная азотом, охлаждается и подается в хранилище. Рекомендуемая температура хранения — менее 5 °С, но не ниже температуры промерзания плодов — должна поддерживаться с высокой точностью. Большое значение имеет также контроль влажности газовой смеси, от которой зависит потеря влаги хранимыми плодами и контроль содержания газа этилена, выделяемого плодами.

Для фруктохранилищ вместимостью 1000...3000 т разработан комплект электрооборудования, который обеспечивает автоматическое 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 двумя-четырьмя камерами.

### **Система автоматического управления микроклиматом во фруктохранилищах**

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 температурой и влажностью воздуха в камерах и температурой в отдельных точках холодильной установки.

Принципиальная электрическая схема управления микроклиматом во фруктохранилищах показана на рис. 7.4. 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 *M1* (1,5 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 *YA1*, магнитный пускатель *KM3* электроприводов *M2* и *M3* (по 2,2 кВт) вентиляторов воздухоохладительных установок и электропривод одного из аммиачных насосов *M4* и *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 *YA1* 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, а другим — отключает реле выдержки времени *KT2*, предназначенной для включения резервного насоса. При неуспешном пуске или при резком падении давления аммиака в системе рабочего насоса датчик *SP1* размыкает сеть 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 *УЛ1* с помощью магнитного пускателя *KM5* подключает секции *EK2* и *EK3* электропарообразователя.

Для обеспечения более равномерного распределения температуры и влажности воздуха внутри камер предусмотрено циклическое перемешивание воздуха при помощи вентиляторов воздухоохладителей. Цепь управления вентиляторов первой камеры включают тумбле-

ром 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.

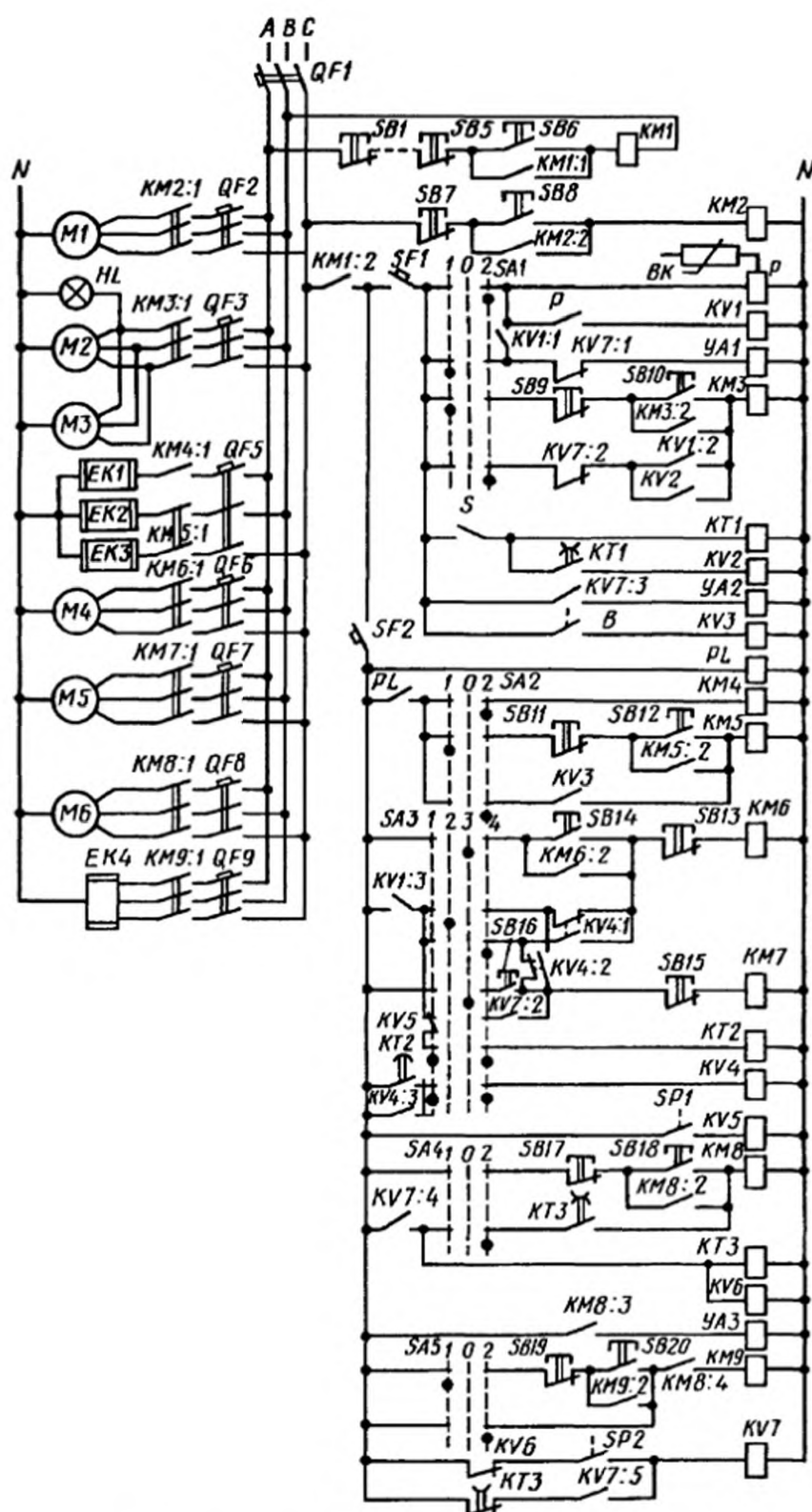


Рис. 7.4. Принципиальная электрическая схема управления микроклиматом фруктохранилищ

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 реле *KV7*. Реле *KV7* контактами *KV7:2* отключает магнитный пускатель *KM3* вентиляторов воздухоохладителей, а контактами *KV7:1* — аммиачный электромагнитный вентиль *YA1*. Одновременно реле *KV7* контактами *KV7:3* включает электромагнитный вентиль *YA2* воды оттаивания, а контактами *KV7:4* — реле выдержки времени *KT3* и реле *KV6*. Реле *KV6* отключает реле *KV7*. Через выдержку времени, равную 3 мин (достаточно для стока аммиака из воздухоохладителя), магнитный пускатель *KM8* своими контактами включает электромагнитный вентиль *YA3* стока воды, электропривод *M6* (4 кВт) насоса воды оттаивания и через магнитный пускатель *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 *YA3* стока воды. Процесс оттаивания прекращается, а еще через 3 мин выключается реле *KV7*. Выдержка в течение последних 3 мин обеспечивает сток воды с воздухоохладителя и предупреждает включение электромагнитного аммиачного вентиля и воздухоохладителя сразу же после окончания оттаивания. Реле *KV7* отключает через магнитный пускатель *KM8* электродвигатель *M6* насоса, электромагнитные вентили *YA2* и *YA3* и нагреватель *EK4* воды оттаивания. Это же реле *KV7* размыкающими контактами *KV7:1* и *KV7:2* вновь вводит в автоматический режим цепи управления аммиачным вентилем *YA1* и электроприводами *M2* и *M3* вентиляторов воздухоохладителя.

Кроме устройств управления микроклиматом в камерах, в 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.

## **Тема 7.3**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЕТА, КОНТРОЛЯ И СОРТИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**

### **Средства автоматизации учета и контроля сельскохозяйственной продукции**

Контроль и учет сельскохозяйственной продукции позволяют своевременно выявить и устранить все недостатки производства. Поступающую в хранилище и отпускаемую из него продукцию обязательно учитывают и регистрируют в специальной ведомости или передают данные для компьютерной обработки. 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. Результаты анализов фиксируют в специальных журналах и сообщают агротехническим службам сельскохозяйственных предприятий.

При помощи технических средств автоматически контролируют микроклимат в хранилищах, температуру и влажность хранимого продукта, очищают его и сортируют перед закладкой на хранение, перед поступлением к потребителю.

В современных зернохранилищах семенное зерно хранят в мешках или в закромах вместимостью 100...5000 т, а фуражное зерно — россыпью массой от 500 до 10 000 т. На таких крупных зернохранилищах, как элеваторы, предусмотрено наличие электромеханизированных установок загрузки и разгрузки зерна, активного вентилирования и аэрации зерна. Зерно и зернопродукты закладывают на хранение предварительно очищенными, просушенными и охлажденными до 10 °С и ниже (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, проверяя пробы семян, взятых из отдельных мест хранилища, а температуру — по показаниям датчи-



ков температуры, заложенных в отдельные места хранимой зерновой массы.

Для семенного зерна нельзя допускать снижение температур до  $-20^{\circ}\text{C}$  и ниже, так как из-за наличия свободной влаги и ее замерзания нарушается целостность семян и снижается их всхожесть.

По показаниям датчиков температуры обнаруживают очаги самосогревания зерновой продукции и гнили в зернохранилищах. Самосогревание влажной зерновой массы возникает вследствие протекающих в ней биохимических процессов и плохой теплопроводности. При этом температура в самосогреваемом участке насыпи может достичь  $55\ldots 65^{\circ}\text{C}$ , что приведет к потере посевных, технологических, пищевых и фуражных качеств зерновых продуктов. Самосогревание возникает в невентилируемых местах, в которых находится зерно повышенной влажности, особенно свежесобранное, с большой физиологической активностью.

Процесс самосогревания зерновых продуктов и гниения картофеля и овощей сопровождается не только повышением температуры, но и увеличенным выделением влаги. Вследствие этого очаги самосогревания и гниения можно обнаружить не только датчиками температуры, но и по увеличению показаний датчиков относительной влажности воздуха, закладываемых в массу хранимой продукции.

## **Автоматизация сортирования сельскохозяйственной продукции**

Важной операцией при закладке картофеля на хранение является его сортировка по размерам, отделение комков земли, камней, а также клубней, пораженных гнилью и фитофторозом. Необходимость сортировки посадочного картофеля вызвана тем, что в процессе хранения приблизительно  $15\ldots 20\%$  клубней семенного картофеля поражаются различными гнилями, основную часть из которых составляет сухая гниль.

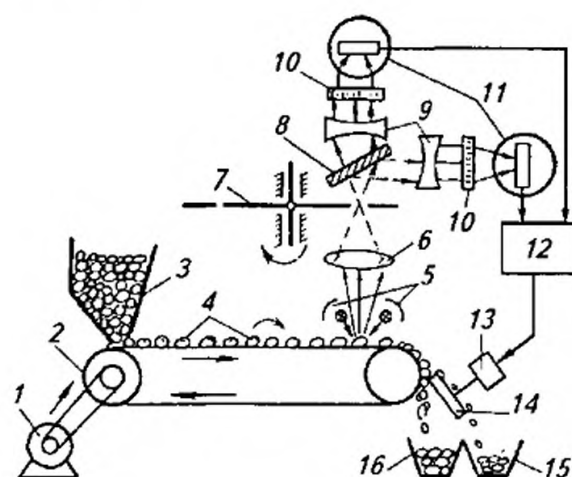
Затраты ручного труда на отделение загнивших клубней перед посадкой составляют  $20\ldots 30\%$  общих трудозатрат на производство картофеля, а посадка несортированного картофеля приводит к недобору  $15\ldots 20\%$  урожая.

Для сортировки картофеля разработаны оптические, радиоизотопные и температурные методы обнаружения загнивших клубней и клубней, пораженных фитофторозом, а также комков почвы и камней.

Рассмотрим принцип работы оптической установки для автоматической сортировки клубней картофеля, использующей специальную характеристику коэффициентов отражения клубней. Спектральные характеристики коэффициентов отражения здоровых и больных клубней, как и комков почвы и камней, имеют большие различия на определенных длинах волн  $\lambda$ .

Установка для автоматической сортировки клубней картофеля работает следующим образом. Клубни картофеля 4 (рис. 7.5) из бункера-питателя 3 поступают на роликовый транспортер, который поштучно их выстраивает и, вращая, перемещает в зону оптического осмотра. Отраженный от клубня оптический поток инфракрасных излучений 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 и 1,25 мкм), поступают на электронный блок обработки 12. Электронный блок 12 определяет разность между этими сигналами посредством вычитания. 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.



**Рис. 7.5. Схема установки для автоматической сортировки клубней картофеля:**

- 1 — электропривод; 2 — транспортер; 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, 16 — емкости соответственно для отходов и здоровых клубней

При осмотре здорового клубня разность сигналов от обоих фотоэлементов положительная, исполнительный механизм 13 не срабатывает, а клубень свободно падает в емкость 16. Время передачи клубней из зоны осмотра в емкость согласуется со временем прохождения их мимо заслонки 14. Производительность современной установки составляет 6 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, поврежденные болезнями. По размерам 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 рис. 7.6, а показан принцип разделения плодов на три фракции по зрелости, а точнее по цвету 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, 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. Сигналы фотоэлементов суммируются и в виде результирующего сигнала подаются на усилительно-преобразовательное устройство 5, которое при помощи исполнительного механизма 6 с заслонкой 7 разделяет плоды на три фракции: I (зеленые), II (белые) и III (красные).

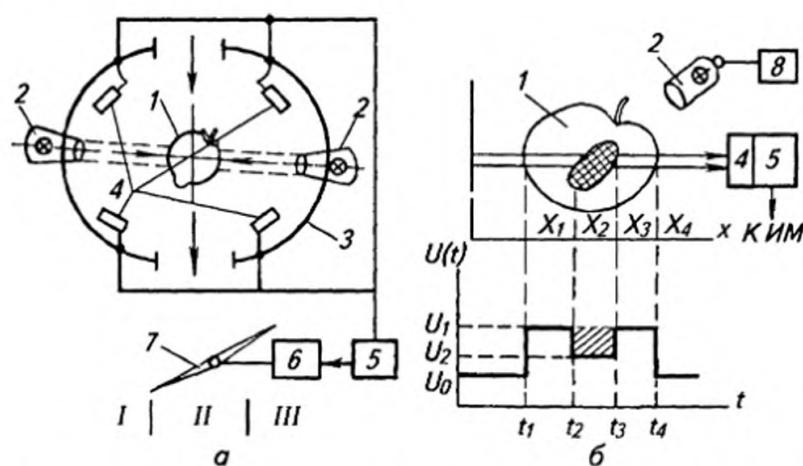


Рис. 7.6. Схема автоматической сортировки томатов (а) и яблок (б):

- 1 — плод; 2 — осветители; 3 — фотометрическая камера; 4 — фотоэлементы;  
 5 — усилительно-преобразовательное устройство; 6 — исполнительный механизм; 7 — заслонка; 8 — привод сканирующего устройства

Для сортировки плодов яблок, имеющих поврежденную поверхность от механических ударов или пятна на коже от болезней, используют сканирующие устройства (рис. 7.6, б). В сканирующей системе видимое излучение от осветителя 2, управляемого при помощи электропривода, поэлементно освещает поверхность плода. Отраженный луч

воспринимается фотоэлементом 4 и направляется в усилительно-преобразовательное устройство 5. Значение выходного сигнала  $U(t)$  фотоэлемента зависит от состояния поверхности плода и изменяется во времени по форме, показанной на нижней части рис. 7.6, б.

Усилительно-преобразовательное устройство 5 вычисляет площадь повреждения:

$$S_n = \sum n(t_3 - t_2), \quad (7.13)$$

где  $n$  — число строк сканирования поврежденного участка поверхности плода (заштрихованная часть на рисунке);  $t_2$  и  $t_3$  — время пересечения сканирующим лучом границ соответственно поврежденного и неповрежденного участков.

Для сортировки объектов по размеру с выхода устройства 5 к исполнительному механизму ИМ сортирующей установки подают сигнал, пропорциональный площади  $S_m$  медианного сечения объекта:

$$S_m = k \sum m(t_4 - t_1), \quad (7.14)$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности;  $t_1$  и  $t_4$  — время пересечения сканирующим лучом профиля плода;  $m$  — число строк сканирования поверхности объекта.

Для автоматической сортировки *листьев табака* на три товарных сорта предложено использовать их отражательные свойства и цветовые характеристики в стандартной калориметрической системе RGB. 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 %, к третьему сорту — свыше 50 %. Сортирующее устройство определяет процент темной зелени на площади листьев табака, в зависимости от которого разделяет листья на три сорта.

Принцип действия сортирующего устройства показан на рис. 7.7. Листья табака 4 поступают на транспортер 2 из подающего устройства 3. Транспортер при помощи электропривода 1 переносит листья в зону сканирования. Оптический поток осветителя 5, отражаясь от листа, проходит через объектив 6, отверстие сканирующего диска 7 и конденсатор 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 площадям участков  $G$  и  $R$ , воспринимаются фотоэлементами 11 и передаются в виде напряжений  $U_R$  и  $U_G$  на электронный блок анализа 12. В электронном блоке напряжения  $U_{оп}$  определяют границу разделения между цветовыми характеристиками  $R$  и  $G$ . Вычислительное устройство 19 совместно с логическими элементами И 17, 18 определяет значение темно-зеленой



площади  $S_G$  и желтой площади  $S_R$  листа и вычисляет процент темно-зеленой площади:

$$K = \frac{S_G}{S_G + S_R} \cdot 100\%. \quad (7.15)$$

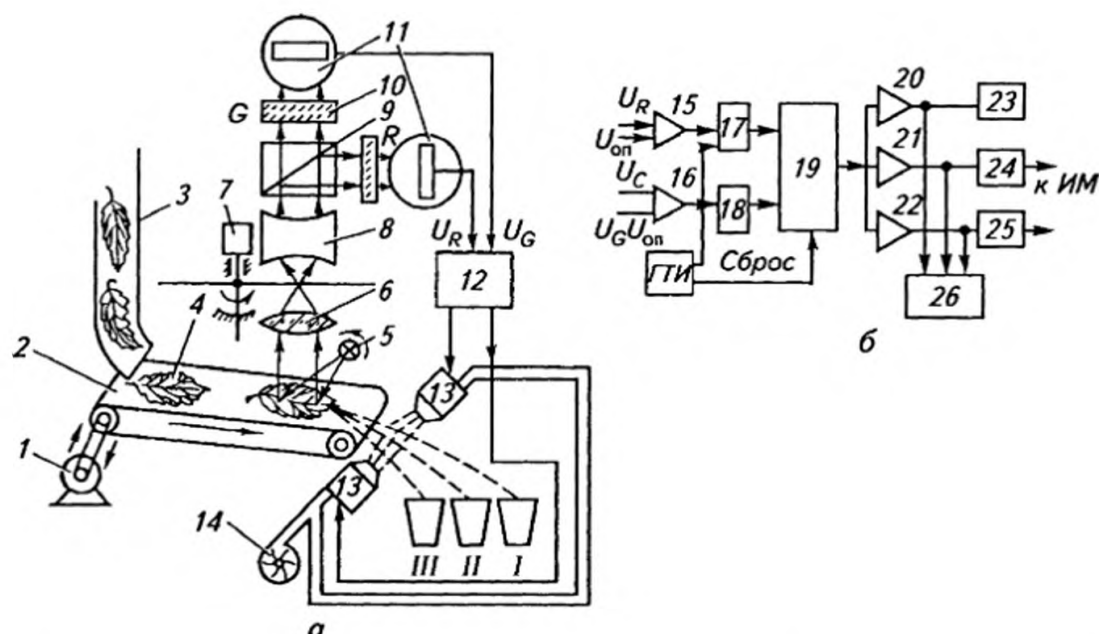


Рис. 7.7. Схема распознающего устройства (а) и электронного блока (б) автоматической сортировки листьев табака на три товарных сорта:

- 1 — электропривод транспортера; 2 — транспортер; 3 — подающее устройство листьев табака; 4 — лист табака; 5 — осветитель; 6 — объектив; 7 — сканирующий диск с электроприводом; 8 — конденсатор; 9 — светорасщепляющая оптика с дихроическими зеркалами; 10 — корректирующий фильтр; 11 — фотоэлементы; 12 — электронный блок анализа; 13 — пневматические исполнительные механизмы; 14 — компрессор; 15, 16 — усилители-компараторы; 17, 18 — логические элементы И; 19 — вычислительное устройство; 20–22 — компараторы; 23–25 — реле исполнительных механизмов; 26 — блок индикации; I–III — емкости для приема листьев табака соответствующего сорта; ГТИ — генератор тактовых импульсов

Генератор тактовых импульсов ГТИ включает в работу логические элементы только при попадании листа табака в поле объектива и сбрасывает результаты вычисления при его уходе.

Выходной сигнал с вычислительного устройства поступает на компараторы 20–22, которые разделяют его на три канала в соответствии с определенным сортом листа. С компараторов сигналы проходят на индикатор 26, определяющий количество листьев по сортам, и на реле 23–25. Листья первого сорта свободно направляются в емкость I, листья второго и третьего сортов при помощи реле 24, 25 и пневматических механизмов 13 — в емкости II и III. Питание пневматических механизмов осуществляется от воздушного ком-

прессора 14. Устройство обеспечивает погрешность сортировки 4,5 % и производительность до 10 листьев в секунду или 65 кг/ч.

Электрические, оптические, тепловые и акустические свойства сельскохозяйственной продукции используют также при создании новых приборов контроля зрелости арбузов, посевных качеств семян, содержания жира и белка в молоке, свежести яиц, упитанности животных и т. п.

## **Тема 7.4**

# **НАЛАДКА И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ХРАНИЛИЩ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**

Все электрооборудование, поставляемое в овоще- и фруктохранилища, предварительно осматривают, проверяют на соответствие документации и испытывают. Первоначальная наладка новой аппаратуры и оборудования сводится к проверке соответствия его параметров технологическим условиям работы. Эти параметры в процессе эксплуатации периодически подстраивают к технологическому процессу выполняемых работ данной установки.

В схемах управления работой электроустановок чаще всего используют релейно-контактную аппаратуру, имеющую высокую износостойкость и надежность. Для нормальной эксплуатации электрооборудования и аппаратуры важно правильно наладить их рабочий процесс.

Проверку начинают с внешнего осмотра силовых и оперативных цепей, обращая внимание на надежность контактных соединений. Обычно цепи проверяют в такой последовательности. Проверяют первичные цепи, внешние соединения, силовые цепи управления, цепи в пределах шкафа, пульта, ящика и пр. При этом применяют метод прозвонивания цепей или метод непосредственного включения. После проверки всех цепей начинают их наладку также по отдельным цепям. При наладке регулируют аппаратуру каждой цепи, а затем уже приступают к наладке работы схемы.

Обслуживающий персонал должен систематически тщательно осматривать электрооборудование и электропроводку, проверять показатели стационарных и контрольных аппаратов и приборов, а также проводить специальные проверки и испытания с применением специализированной переносной аппаратуры. Все полученные данные и выполненные мероприятия записывают в журнал, и эти данные служат для анализа причин возникающих неполадок, для обобщения и разработки мероприятий по предотвращению и устранению таких неполадок.

Под техническим обслуживанием подразумевают комплекс работ для поддержания исправности и работоспособности оборудования при исполь-

зовании его по назначению, а также при хранении и транспортировании. Эти работы бывают регламентированные и нерегламентированные.

*Электродвигатели.* При техническом обслуживании выполняют следующие работы:

очищают корпус от пыли и грязи, удаляют следы масла; продувают обмотки машин сжатым воздухом (под давлением не выше 0,2 МПа) или пылесосом, чтобы удалить пыль и загрязнение с обмоток;

проверяют затяжку болтов и гаек крепления машин к рабочему месту (фундаменту, балке, стенке), крепление подшипниковых щитов и выводных коробок; ослабленные болты и гайки необходимо подтянуть;

проверяют плотность посадки шкива, полумуфт, звездочек; подтягивают ослабленную цепь, ременную передачу;

проверяют надежность зануления (заземления) корпуса машин, пускового устройства, распределительного щита, шкафа, панели, ящика; ослабевшие контакты разбирают, зачищают контактные поверхности до металлического блеска, смазывают техническим вазелином, собирают и затягивают;

снимают крышку коробки выводов, предварительно отвернув болты или гайки ее крепления; внешним осмотром проверяют состояние контактных соединений; подтягивают ослабевшие контакты, окислившиеся, подгоревшие или потемневшие контакты разбирают, зачищают контактные поверхности до металлического блеска; собирают и затягивают болты;

проверяют целостность изоляции выводных концов обмоток и подводных проводов; изоляция не должна иметь механических повреждений, трещин, обуглившихся участков; поврежденные участки следует исправить, заизолировать (в зависимости от марки провода или изоляции применяют хлопчатобумажную или полихлорвиниловую ленту);

снимают защитную оболочку (кожу) машины, крышки; внешним осмотром определяют состояние щеток, щеточного механизма, контактных колец, коллектора, изношенные или выкрошенные щетки заменяют новыми, потемневшие места контактной поверхности колец или коллектора зачищают и полируют стеклянной бумагой (шкуркой); пылесосом или сжатым воздухом продувают щеточный механизм, обмотки, полюса;

проверяют отсутствие заедания в подшипниках или задевание ротора (якоря) за статор (полюс), поворачивая вал электродвигателя вручную;

включают электродвигатель и убеждаются в отсутствии посторонних шумов, вибрации; при их наличии выявляют причину и принимают меры к устранению;

проверяют степень нагрева оболочек, корпуса, подшипниковых щитов;

устанавливают повседневный надзор за выполнением правил эксплуатации и инструкций завода-изготовителя, а также контроль за нагрузкой, температурой подшипников, обмоток, корпуса и соблюдение правил техники безопасности.

*Трансформаторы.* При техническом обслуживании выполняют следующие работы:



очищают кожух от пыли сжатым воздухом или пылесосом; следы масла и копоти удаляют обтирочным материалом, смоченным в керосине или бензине;

проверяют надежность зануления (заземления) оболочки (кожуха) трансформатора, его вторичной обмотки, сердечника; ослабевшие контакты разбирают, зачищают контактные поверхности до металлического блеска, смазывают техническим вазелином, собирают и затягивают болты; у трансформаторов, оборудованных емкостным фильтром для защиты от радиопомех, проверяют состояние и надежность заземления конденсаторов; поврежденные конденсаторы надо заменить;

проверяют состояние доски зажимов осмотром; она не должна иметь трещин, сколов, обгораний; поверхность доски протирают сухим, неворсистым материалом для обтирки;

проверяют контактные соединения у первичной и вторичной обмоток; окислившиеся или подгоревшие и даже потемневшие контактные соединения разбирают, контактные поверхности зачищают до металлического блеска, затем собирают и затягивают болты;

внешним осмотром проверяют состояние изоляции подводящих проводов и кабелей — изоляция должна быть без механических повреждений, отслоений, обуглившихся участков; незначительные повреждения изоляции устраняют, накладывая дополнительную изоляцию хлопчатобумажной или полихлорвиниловой ленты; провода, кабели с большими повреждениями изоляции заменяют новыми;

проверяют работу механизма регулирования силы тока, поворачивая рукоятку регулятора от одного крайнего положения в другое — рукоятка должна вращаться плавно, без заеданий, а сила тока изменяться в соответствии с положением рукоятки и указателем тока; при затрудненном вращении рукоятки снимают кожух трансформатора, проверяют затяжку болтов, протирают и смазывают солидолом ходовой винт механизма; в некоторых случаях у сварочных трансформаторов имеется отдельный регулятор тока — реактивная катушка, ее также осматривают и проверяют как и трансформатор;

включают трансформатор в сеть и проверяют его работу; при этом гудение трансформатора не должно быть громким. При вращении рукоятки регулятора тока сила тока должна изменяться в соответствии с положением рукоятки регулятора и техническим паспортом трансформатора.

*Осветительные установки.* В процессе эксплуатации проводят следующие операции ТО:

проверяют освещенность в контрольных точках хранилища (не реже одного раза в год); перед проверкой освещенности необходимо очистить от пыли и загрязнения все светильники и лампы;

проверяют исправность автоматов осветительных установок один раз в 3 мес. в дневное время при снятом напряжении, а также стационарное оборудование и электропроводку основного и аварийного освещения; не реже одного раза в год проверяют соответствие токов расцепителей и плавких вставок расчетным значениям;

испытание и измерение сопротивления изоляции проводов, кабелей и заземляющих устройств проводят не реже одного раза в 3 года. Испытание изоляции понижающих трансформаторов следует проводить ежегодно; также ежегодно следует измерять нагрузку и напряжение в отдельных точках электрической осветительной сети.

*Теплоэлектронагреватели (ТЭНы).* В процессе эксплуатации периодически проверяют состояние защитных кожухов, подводящих проводов, аппаратуры, заземления. В самих нагревателях проверяют: состояние зажимов, надежность контакта у подводящих проводов, изоляции как проводов, так и самих стержней; изоляцию и сопротивление заземления как внешним осмотром, так и мегомметром. Сопротивление должно быть не более 0,1 Ом. При таком сопротивлении заземляющий контакт разбирают, зачищают, смазывают и вновь собирают.

*Электрокалориферные установки.* Проверяют температуру воздуха на выходе калорифера (она должна быть не более 50 °С), температуру воздуха в обогреваемом помещении (если она ниже заданной, проверяют состояние регуляторов температуры и нагревателей). Калорифер очищают от загрязнений, предварительно снимая боковые стенки, проверяют наличие заземления и его сопротивление.

# **Раздел 8**

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭНЕРГО- И ВОДОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**



## Тема 8.1

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ

### Технологические схемы автоматизации современных 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, газовое и реже твердое топливо.

Наиболее распространены теплогенераторы ТГ-25, ТГ-75, 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 топлива.

Технологическая схема теплогенератора ТГ представлена на рис. 8.1. 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 электроискровых электродов 6. Для контроля наличия пламени предназначен фоторезистор 4.

Схема управления теплогенератором предусматривает возможность его работы в трех режимах: автоматическое отопление, ручное отопление и ручная вентиляция.

### Схемы, приборы и средства автоматизации теплогенераторов

Принципиальная электрическая схема теплогенератора изображена на рис. 8.2. В режиме автоматического отопления универсальные переключатели SA1 и SA2 ставят в положение А.

Когда температура в помещении в результате вентиляции снижается, замыкаются контакты полупроводникового регулятора Р и получают питание программное реле времени КТ и реле КV1, которое отключает



магнитный пускатель *KM1* электровентилятора *M1*. Вентиляция помещения прекращается.

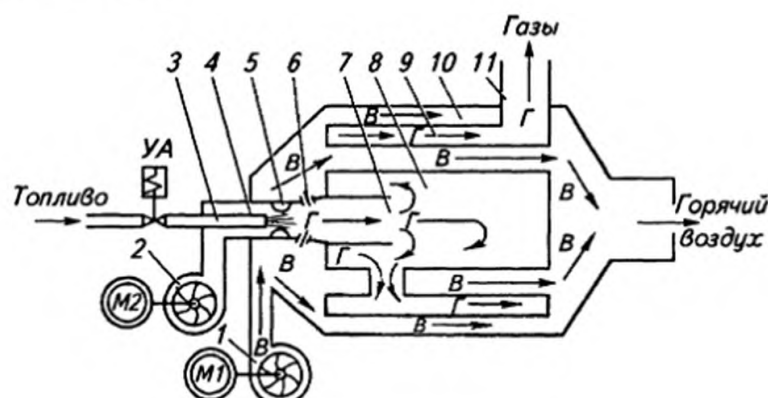


Рис. 8.1. Технологическая схема теплогенератора ТГ:

1 — вентилятор подогретого воздуха; 2 — вентилятор топочного блока;  
3 — топливопровод; 4 — фоторезистор; 5 — горелка; 6 — электроискровые электроды; 7 — камера газификации; 8 — топочная камера; 9 — теплообменник-воздухонагреватель; 10 — корпус теплогенератора; 11 — дымовая труба

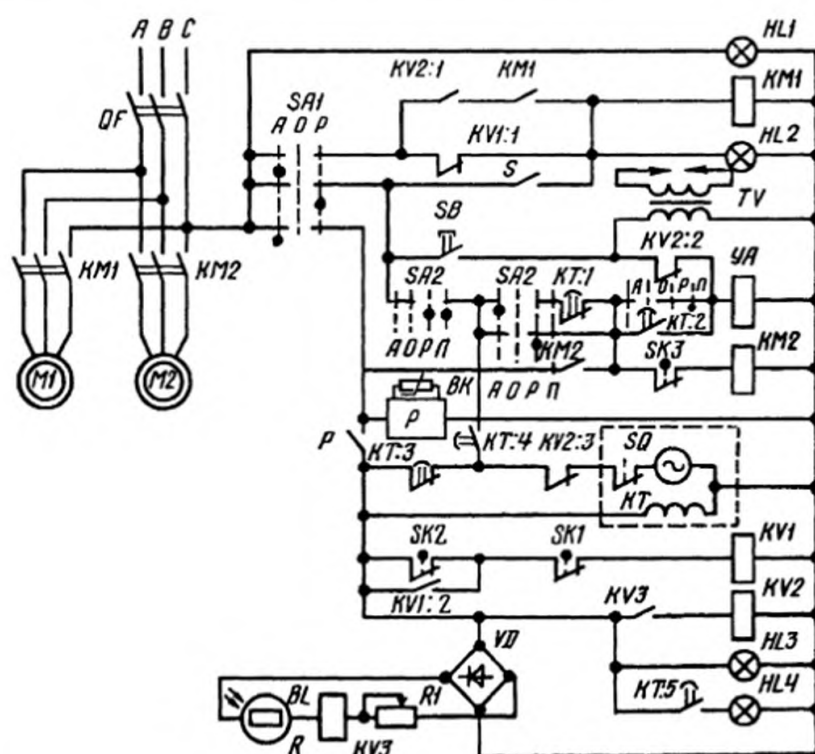


Рис. 8.2. Принципиальная электрическая схема теплогенератора ТГ

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* — *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 топлива

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  $KV1$  обесточивается, в результате чего включается магнитный пускатель  $KM1$  привода вентилятора 1. В помещение начинает поступать воздух, подогретый в теплогенераторе.

Если пуск теплогенератора затягивается более чем на 20...25 с и оказывается безуспешным, то контакты  $KT:1$  отключают электромагнитный вентиль  $УА$  и подача топлива прекращается. Затем контактом  $KT:5$  включается сигнальная лампа  $HL4$ , а размыкающим контактом  $KT:3$  отключается вентилятор  $M2$  топки. В случае кратковременного срыва факела при нормальной работе теплогенератора реле  $KV3$  фотореле  $BL$  отключает реле  $KV2$ , и через его размыкающий контакт  $KV2:2$  включается  $TV$  и подается искра зажигания. Если смесь не воспламеняется, то теплогенератор отключается контактами  $KT:1$  и  $KT:3$ . Повторно его включают вручную, поворачивая переключатель  $SA1$  сначала в положение 0, а затем обратно в положение А. При этом программное устройство  $KT$  возвращается в исходное состояние. Когда температура теплогенератора превысит допустимую, контакты датчика  $SK3$  разомкнутся и отключат теплогенератор. Для нормальной остановки теплогенератора переключатель  $SA1$  переводят в положение 0.

В режиме ручного отопления, к которому обращаются для наладки, опробования, а также в случае отказов автоматики, переключатели  $SA1$  и  $SA2$  ставят в положение Р. Получает питание катушка магнитного пускателя  $KM2$ , и начинается продувка топки. Затем переключатель  $SA2$  переводят в положение П. Включается электромагнитный клапан  $УА$  и топливо подается в камеру сгорания. После необходимого прогрева камеры сгорания замыкается тумблер  $S$ , магнитный пускатель  $KM1$  включает электродвигатель вентилятора  $M1$ .

В режиме ручной вентиляции вентиляторами теплогенератора управляют при помощи тумблера  $S$ .

## Тема 8.2

# АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОДОГРЕВА ВОДЫ, ВОЗДУХА И ПОЛУЧЕНИЯ ПАРА

### Основы автоматизации теплоснабжения

До 20 % добываемого в стране топлива потребляется котельными, производящими 60 % используемой тепловой энергии.

Среднее сельскохозяйственное предприятие имеет от 10 до 20 котлов или теплогенераторов и расходует в год 8...10 тыс. т условного топлива. В целом же по стране работает приблизительно 700 тыс. единиц этого оборудования, которое обслуживает более 1,5 млн человек. Естественно, надежная и экономичная эксплуатация оборудования систем теплоснабжения невозможна без его автоматизации, причем экономический эффект от автоматизации возрастает с увеличением мощности котельной.

Рассмотрим основные положения технологии производства тепловой энергии с точки зрения автоматизации управления этим процессом.

В сельскохозяйственном производстве используют твердое, жидкое и газообразное топливо. Твердое и жидкое топливо состоит из углерода С, водорода Н, кислорода О, азота N, органической серы  $S_{op}$ , колчеданной серы  $S_k$ , золы А, влаги W. Газообразное топливо (природный газ) на 94 % состоит из метана  $CH_4$  и небольшого количества других углеводородов, оксида углерода и водорода.

Основная техническая характеристика топлива — это теплота сгорания  $Q_H$ , характеризующая количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании 1 кг или 1 м<sup>3</sup> топлива. Теплота сгорания зависит от вида и количества топлива (каменный уголь 12...36 МДж/кг, природный газ 35 МДж/м<sup>3</sup>). К другим характеристикам относятся влажность, зольность и содержание летучих веществ — газообразных горючих продуктов, выделяющихся при сгорании топлива.

Топочные устройства должны обладать максимально возможной экономичностью, высокой производительностью и надежностью. Топливо в топке может сгорать на колосниковой решетке (слоевые топки) и во взвешенном состоянии в воздушном потоке (камерные топки).

**Автоматизация подачи топлива** в камеру сгорания котла существенно влияет на производительность процесса получения горячей воды и пара.

Слоевые топки с неподвижным слоем топлива на колосниковой решетке обслуживают вручную. Перемещение топлива по колосниковой решетке частично механизировано. В одной из таких конструкций топливо по колосниковой решетке перемещается планкой 1 (рис. 8.3, а), совершающей возвратно-поступательные движения от фронта котла к задней стенке топки, и обратно. При этом на прямом ходе планка перемещает топливо к задней стенке, при обратном подрезает слой шлака, обеспечивая доступ воздуха в топку. Управление такой планкой автоматизировано.

Слоевые топки, в которых топливо перемещается вместе с решеткой (рис. 8.3, б), механизированы полностью. Колосниковое полотно, выполненное в виде бесконечной ленты, перемещается со скоростью 2...30 м/ч. Топливо из загрузочной воронки само ссыпается на движущуюся решетку, причем толщину слоя на ней устанавливают с помощью регулируемого шибер. Специальная форма свода топки способствует быстрому нагреву и воспламенению поступившего топлива.

Более совершенна загрузка топлива с помощью пневмомеханических забрасывателей (рис. 8.4, а), использующих энергию вращения ротора ( $n = 410...760 \text{ мин}^{-1}$ ) и сжатого воздуха. Топливо из бункера извлекается питателем 1, совершающим возвратно-поступательные движения, и распределяется роторным метателем по полотну колосниковой решетки. Транспортирование мелкого угля и угольной пыли осуществляется потоком воздуха. Дальность полета крупных кусков топлива значительна (4,5 м и более), поэтому решетки в топках с такими забрасывателями перемещаются от задней стенки к фронту. Основная часть воздуха, необходимого для горения, подается под решетку через систему коробов. Оставшаяся часть воздуха подается непосредственно в топку. Управление механической топкой автоматизировано.

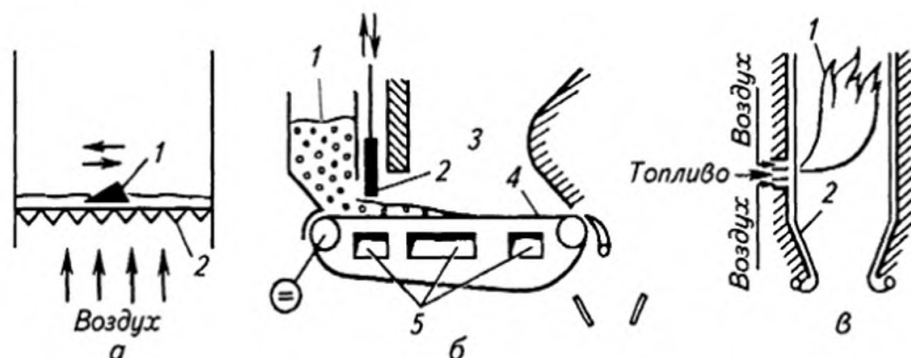


Рис. 8.3. Типы топок:

а — слоевая полумеханическая: 1 — планка; 2 — колосники; б — слоевая механическая: 1 — уголь; 2 — шибер; 3 — топка; 4 — решетка; 5 — воздушные короба; в — камерная: 1 — факел; 2 — экран



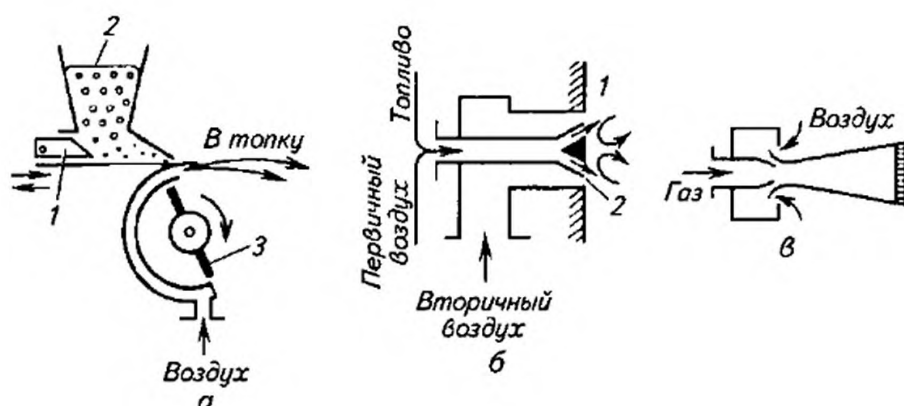


Рис. 8.4. Типы топливоподающих устройств:

а — пневмомеханический забрасыватель: 1 — питатель; 2 — уголь; 3 — роторный метатель; б — пылеугольная горелка: 1 — топка; 2 — форсунка; в — инжекторная горелка

Камерные топки (рис. 8.3, в) для сжигания твердого топлива в воздушном потоке требуют его размола до пылевидного состояния (20...25 мкм). Несмотря на большой расход энергии на помол (до 30 кВт · т/ч), такие топки отличаются большой экономичностью, надежностью и подготовленностью к автоматизации (мощность топки изменяется в зависимости от количества угольной пыли, подаваемой шнековым питателем).

Важнейший элемент камерной топки — горелка (рис. 8.4, б), обеспечивающая транспортирование пыли и ее перемешивание с воздухом.

Транспортирование жидкого топлива в топку обеспечивается форсункой. Вязкое топливо (мазут) должно быть предварительно подогрето до 70...100 °С. Существуют также форсунки, которые распыляют топливо за счет центробежных сил, образующихся при вращении стакана, внутрь которого подается топливо (ротационные форсунки).

Газовое топливо подается в топку через горелку. Инжекторная горелка (рис. 8.4, в) сама подсасывает нужное для сжигания газа количество воздуха. В мощных современных газовых и газомазутных горелках воздух подается специальным вентилятором. Производительность горелки регулируется поворотной заслонкой на подводящем газопроводе.

Важная характеристика топки — мощность, которая пропорциональна расходу топлива.

В сельскохозяйственных отопительных и отопительно-производственных котельных применяют котлы двух типов: паровые и водогрейные. Первые из них работают по принципу естественной циркуляции рабочего тела (воды), а вторые — по принципу принудительной циркуляции, создаваемой специальным насосом.

В паровых котлах с естественной циркуляцией для перемещения рабочего тела используют гравитационный напор, возникающий за счет разности плотностей воды и паровой смеси. Основным элементом котла — барабан 3 (рис. 8.5, а), в который насосом 6 подается вода.

По необогреваемым опускным трубам 1 вода поступает в коллектор, а оттуда в экранные трубы 2, служащие стенками топочной камеры изнутри и обогреваемые теплотой сгорания топлива  $Q$ . Образующаяся в экранных трубах 2 пароводяная смесь вытесняется в барабан 3 водой из опускных труб (естественная циркуляция), где происходит ее разделение на пар и воду. Вода снова опускается в коллектор, а пар поступает в пароперегреватель 4 и оттуда к потребителю.

Часть теплоты выходящих из котла газообразных продуктов сгорания (дымовых газов) идет на нагрев воды в экономайзере 5 и воздуха в воздухоподогревателе 7.

На предприятиях сельскохозяйственного теплоснабжения широко применяют двухбарабанные котлы ДЕ (ДКВР), многие из которых не оборудованы паронагревателем и вырабатывают насыщенный пар при давлении 1,4 МПа. Котлы этого типа недостаточно экономичны, что объясняется отсутствием развитых хвостовых поверхностей нагрева, а также неэффективностью ручного регулирования процесса горения в режиме переменных нагрузок. Автоматизация позволяет значительно уменьшить влияние последней составляющей, особенно при работе котла на жидком или газообразном топливе.

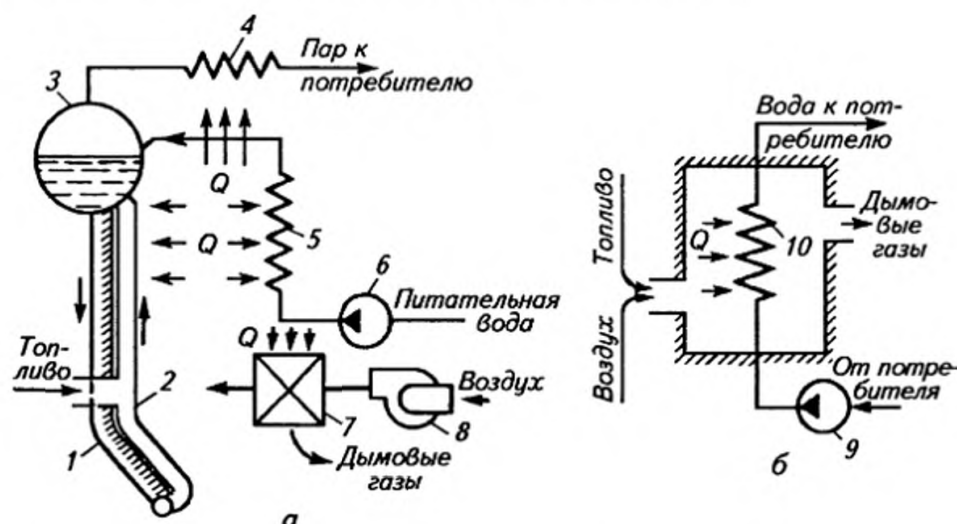


Рис. 8.5. Принципиальные схемы парового (а) и водогрейного (б) котлов:

- 1 — опускные трубы; 2 — подъемные (экранные) трубы; 3 — барабан;  
4 — пароперегреватель; 5 — водяной экономайзер; 6 — питательный насос;  
7 — воздухоподогреватель; 8 — дутьевой вентилятор; 9 — сетевой насос;  
10 — поверхности нагрева

В общем случае схемы автоматизации котла в значительной степени зависят от вида сжигаемого топлива.

Водогрейные котлы (рис. 8.5, б) используют для нагрева воды, циркулирующей в тепловой сети. Наиболее распространены чугунные стационарные котлы, набираемые из отдельных литых секций, соединяемых между собой при помощи ниппелей и стяжек. Котлы этого типа, как правило, работают на твердом топливе, имеют слоевую топку и характеризуются низким уровнем автоматизации.

Более совершенны конструкции водотрубных котлов типа ПТВМ, КВ-ГМ, КВ-ТС, имеющих современную компоновку, большую единичную мощность и высокую степень автоматизации. Все они (кроме КВ-ТС) работают на жидком и газообразном топливе с КПД до 90 %.

Экономическая эффективность процесса выработки тепловой энергии в значительной мере зависит от конструкции вспомогательных поверхностей нагрева котлов, позволяющих в максимальной степени использовать теплоту сгорания топлива. К этим поверхностям нагрева относятся водяной экономайзер (рис. 8.6, а), предназначенный для подогрева питательной воды теплотой выходящих дымовых газов, и воздухоподогреватель (рис. 8.6, б), предназначенный для нагрева воздуха, используемого в топке котла для сжигания топлива (нагрев воздуха на 1 °С эквивалентен снижению температуры выходящих газов на 0,4 °С).

Экономичность работы котельного агрегата оценивают по КПД  $\eta_k$  (рис. 8.7, а), равному отношению количеств теплоты  $q_2$  и  $q_3$ , используемых на выработку и перегрев пара, к общему количеству теплоты  $\Sigma q$ , выделившейся при полном сгорании топлива.

Из косвенных методов оценки экономичности самый распространенный — метод анализа состава дымовых газов, покидающих топку.

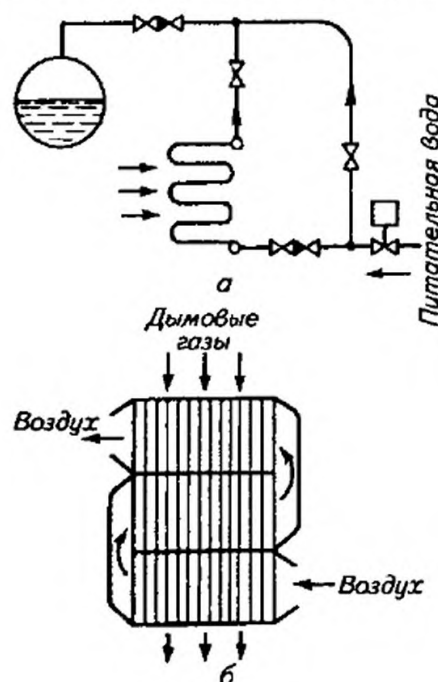


Рис. 8.6. Вспомогательные поверхности нагрева котла:  
а — водяной экономайзер; б — воздухоподогреватель

Как очевидно из рис. 8.7, а, минимум потерь соответствует определенному коэффициенту избытка воздуха в топке  $\alpha_t$ . Этот коэффициент можно оценить по содержанию кислорода в выпускных дымовых газах:

$$\alpha_t = \frac{21}{(21 - O_2)}, \quad (8.1)$$

где 21 — содержание кислорода в атмосферном воздухе, %;  $O_2$  — содержание кислорода в дымовых газах, %.

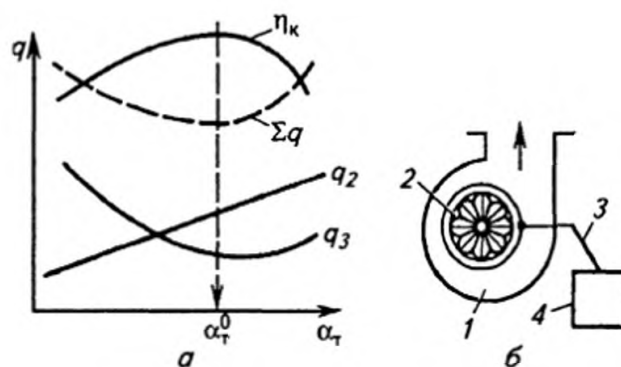


Рис. 8.7. График зависимости КПД котла от коэффициента избытка воздуха в топке (а) и схема устройства для регулирования подачи дутьевого вентилятора (б):

1 — дутьевой вентилятор; 2 — направляющий аппарат; 3 — кинематическая связь; 4 — исполнительный механизм

Управление экономичностью процесса сжигания топлива происходит за счет изменения количества воздуха, подаваемого в топку. Это управление обеспечивается работой регулятора экономичности, воздействующего на производительность вентилятора 8 (см. рис. 8.5, а).

Основной способ управления экономичностью работы котла — изменение количества воздуха, подаваемого в топку вентилятором 8 (см. рис. 8.5, а).

Дутьевой вентилятор радиального типа имеет большую подачу (4...8 тыс. м<sup>3</sup>/ч), поэтому вопрос экономичного регулирования его производительности очень важен.

Из трех известных способов регулирования подачи (дресселированием потока на нагнетании, на всасывании и изменении частоты вращения) самый экономичный — третий. Однако на практике обычно применяют второй — с помощью направляющего аппарата (многосных поворотных заслонок), имеющего привод от электродвигателя (рис. 8.7, б).

Большинство топок отечественных котельных агрегатов работают под небольшим разрежением, создаваемым работой дымососа. Подача дымососа должна соответствовать объему дымовых газов, поскольку повышение разрежения приводит к увеличению присосов наружного воздуха в топку и газоходы, а также к росту объема дымовых газов и снижению КПД котла. Недопустимо и повышение давления в котле более атмосферного, поскольку это приведет к «выбиванию» продуктов сгорания в помещение котельной.

Необходимое (29...30 Па) разрежение в верхней части топки поддерживают, регулируя подачу дымососа с помощью направляющего аппарата аналогичной конструкции, но больших размеров, поскольку подача дымососа значительно больше, чем у вентилятора.

Управление подачей обеих установок автоматизировано.

Принципиальная схема ТП производства пара в паровом котле с естественной циркуляцией показана на рис. 8.8. Топливо  $G_T$  и воздух  $G_B$  поступают в топку котла. Продукты сгорания отдают теплоту



воде, циркулирующей по контуру: барабан котла — опускные трубы — подъемные трубы — барабан котла. Пароводяная смесь в барабане котла разделяется на пар и воду. Пар под давлением  $p_6$  подается в пароперегреватель  $ПП$ , где его температура повышается до  $\theta_n$ , а вода из барабана котла вновь опускается в нижний коллектор. Температуру перегрева пара регулируют, изменяя количество воды  $G_{впр}$ , впрыскиваемой в пароохладитель  $ПО$ . Необходимый для сгорания топлива воздух  $G_v$  нагнетается в топку котла дутьевым вентилятором  $ДВ$  через воздухоподогреватель  $ВП$ , в котором его температура повышается за счет теплоты выходящих дымовых газов.

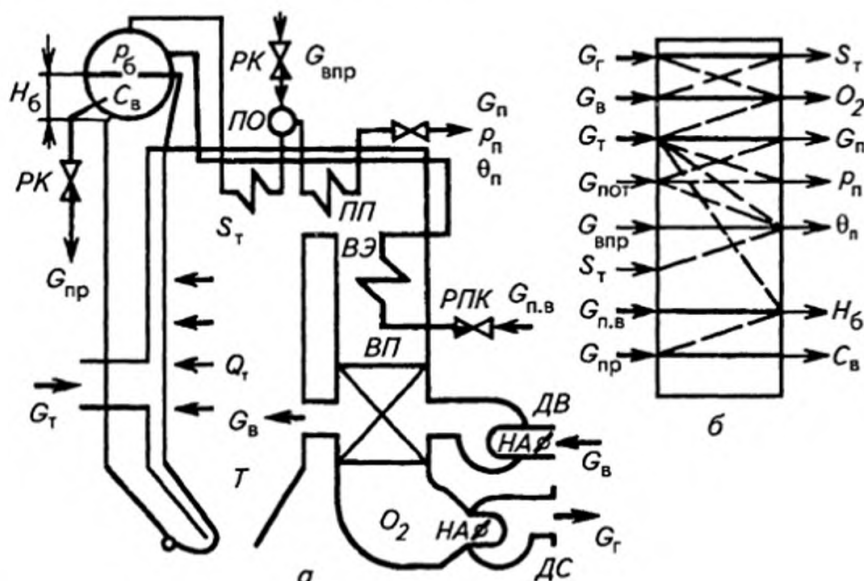


Рис. 8.8. Технологический процесс производства пара в котле (а) и схема связей между основными управляющими воздействиями и регулируемыми параметрами (б):

$T$  — топка;  $ПП$  — пароперегреватель;  $ВЭ$  — водяной экономайзер;  $ВП$  — воздухоподогреватель;  $ДС$  — дымосос;  $ДВ$  — дутьевой вентилятор;  $ПО$  — парохладитель;  $РК$  — регулирующий клапан;  $РПК$  — регулирующий питательный клапан;  $НА$  — направляющий аппарат;  $G_п$ ,  $G_{п.в}$ ,  $G_т$ ,  $G_г$ ,  $G_{пр}$ ,  $G_{впр}$  — соответственно количество пара, питательной воды, топлива, дымовых газов, продувочной воды и впрыскиваемой в парохладитель воды;  $t_n$  — температура пара;  $S_т$  — разрежение в топке;  $O_2$  — содержание кислорода в уходящих дымовых газах;  $H_6$  — уровень воды в барабане котла;  $C_в$  — солесодержание воды в барабане котла

Движение дымовых газов создается дымососом  $ДС$  таким образом, чтобы в верхней части топки было небольшое разрежение  $S_т$ , исключающее «выбивание» дымовых газов в помещение котельной.

Питательная вода подается в барабан котла через водяной экономайзер  $ВЭ$ , где ее температура повышается за счет теплоты дымовых газов. Количество подаваемой воды  $G_{п.в}$  должно обеспечить стабилизацию уровня воды  $H_6$  в барабане котла. В процессе выработки пара солесодержание воды  $C_в$  в барабане котла постоянно растет. Для поддержания этого параметра на допустимом уровне непрерывно выводят часть воды  $G_{пр}$  из нижней части барабана.

Основные регулируемые параметры котла —  $G_{\text{п}}$ ,  $p_{\text{п}}$  и  $\theta_{\text{п}}$ , причем первый параметр может изменяться в соответствии с потребностью, а  $p_{\text{п}}$  и  $\theta_{\text{п}}$  должны быть стабилизированы. Стабильно высокой должна быть и экономичность работы котла, оцениваемая по содержанию  $O_2$  в дымовых газах. Вспомогательные регулируемые параметры: уровень воды в барабане  $H_6$ , ее солесодержание  $C_в$  и разрежение в топке  $S_{\text{т}}$ .

Перечисленные параметры изменяются в результате регулирующих воздействий, а также под действием внешних и внутренних возмущающих воздействий, носящих детерминированный и случайный характер. При этом выходная регулируемая величина одного участка является входной по отношению к другому. Так, давление в барабане котла  $p_6$  — выходная величина по отношению к подаче топлива  $G_{\text{т}}$  и входная для участка регулирования уровня воды в барабане котла.

Таким образом, котел — сложная динамическая система с несколькими входными и выходными величинами. Котельная установка может работать как в установившемся, так и в неустойчивом режиме.

Водогрейные котлы оборудуют регуляторами процесса сжигания топлива, а паровые — еще и регулятором питания котла водой. Автоматическое управление процессом сжигания топлива объединяет в себе три взаимосвязанные системы: управления тепловой нагрузкой (мощностью) котла; управления экономичностью процесса сжигания топлива; стабилизации разрежения в топке.

В общем случае управление тепловой нагрузкой сводится к стабилизации нагрузки котла. Тепловая нагрузка, или мощность, котла в установившемся режиме пропорциональна его производительности  $G_{\text{п}}$  (при постоянных параметрах пара). Следует отметить, что при постоянном давлении пара у потребителей паропроизводительность котла пропорциональна давлению пара в барабане  $p_6$ .

Процесс выработки пара может быть представлен в виде схемы, изображенной на рис. 8.8. Регулируемый параметр — давление пара в барабане  $p_6$ , а регулирующее воздействие — изменение подачи в топку топлива  $G_{\text{т}}$  и воздуха  $G_{\text{в}}$ , в результате чего изменяются количество выделяемой в топке теплоты  $Q_{\text{т}}$  и давление в барабане  $p_6$ . Основные внешние возмущения при регулировании  $p_6$  — изменения потребления пара  $G_{\text{п}}$  и подачи питательной воды  $G_{\text{п.в}}$ . Оба этих возмущения не связаны с работой топки и воздействуют только на режим работы котла.

**Стабилизация разрежения в топке** обеспечивает постоянство небольшого (20...30 Па) разрежения в верхней части топки, исключающего «выбивание» газов в помещение котельной. Кроме того, разрежение способствует устойчивому горению и косвенно характеризует материальный баланс между нагнетаемым в топку воздухом  $G_{\text{в}}$  и выходящими дымовыми газами  $G_{\text{г}}$ . Регулятор разрежения воздействует на направляющий аппарат дымососа, а если дымосос работает на группу котлов, то на поворотную заслонку в газоходе за водяным экономайзером.

Топка котла, как объект управления разрежением, обладает незначительной инерцией. Кроме того, величина разрежения постоянно пульсирует с амплитудой 10...15 Па и частотой в несколько герц. Для компенсации этих недостатков применяют электрическое или пневматическое сглаживающее устройство (демпфер).

Сложность задачи автоматизации процесса питания котла водой определяется жесткими требованиями к уровню  $H_6$  ( $\pm 70...100$  мм), которые объясняются опасностью заброса воды в пароперегреватель или оголения и пережога экранных труб. Особенность барабана котла как объекта регулирования состоит в том, что он заполнен двухфазной средой (пароводяной смесью), параметры которой существенно зависят от давления.

Схемы автоматических регуляторов питания (PIT) котла водой различны; самая простая — это одноимпульсный регулятор, действующий по отклонению уровня в барабане  $H_6$ . В более сложной схеме используется двухимпульсный регулятор, действующий по отклонению уровня в барабане  $H_6$  в сочетании с автоматической компенсацией изменения потребления пара  $G_{II}$ . Это уже комбинированная САР, учитывающая и отклонение регулируемой величины, и возмущающее воздействие.

**Автоматизация вспомогательного оборудования** котельных установок предусматривает: управление работой редукционных и редукционно-охладительных установок, а также деаэрационных установок и регулирование температуры воды, поступающей в тепловую сеть. Помимо этого автоматизации подлежат система подпитки водой тепловой сети, водоподогреватели и водоподготовительные установки.

Отопление и горячее водоснабжение коттеджей, индивидуальных зданий и сооружений может осуществляться от автоматизированной котельной установки АКУ-70. Установка разработана на базе отечественного чугунного котла КЧМ-2М, автоматизированных горелок Junior (Финляндия), долговечного циркуляционного насоса UPS (Германия) и современной автоматики «Саутер» (Швейцария).

Установка АКУ-70 состоит из двух блоков: блока котла и блока горячего водоснабжения, объединенных единой системой автоматики. Блок котла включает в себя водогрейный котел, автоматизированную горелку, датчики защиты котла от перекипания и замерзания. Блок горячего водоснабжения имеет скоростной теплообменник, циркуляционный насос, запорно-регулирующую аппаратуру, устройства, автоматики с датчиками температуры теплоносителя горячей воды и температуры наружного воздуха.

Установка работает на жидком, твердом и газообразном топливе, обеспечивает теплопроизводительность до 70 кВт и температуру горячей воды до 45 °С при расходе 500 кг/ч. При этом максимальная масса установки не превышает 1050 кг, а потребляемая мощность 500 Вт.

Для нагрева холодной воды до 85 °С в системе горячего водоснабжения коттеджей, индивидуальных домов как при наличии центральной системы холодного водоснабжения, так и при ее отсутствии предназначены электроводонагреватели открытого типа «ТАВИА-ЭВАВ». Электроводонагрева-



тели должны располагаться выше точки потребления горячей воды. Корпус электроводонагревателя, как и ТЭНы, не подвержен коррозии, так как выполнен из высококачественной нержавеющей стали марки 12Н8Т10т.

Электронный пульт управления автоматически поддерживает заданную температуру воды. Датчик уровня жидкости предотвращает нежелательную работу ТЭНов «всухую», автоматически отключив электропитание водонагревателя. Автоматическое подпитывающее устройство избавляет от необходимости доливать воду в емкость водонагревателя вручную.

Электроводонагреватели «ТАВИА-ЭВАВ» могут быть укомплектованы дополнительным оборудованием — насосами, КИПиА, запорно-регулирующей арматурой, пластиковыми трубами и т. п.

## **Автоматика системы безопасной эксплуатации котельных**

Автоматика безопасности, объединяющая технологические защиты и блокировки механизмов котла, обеспечивает заданную последовательность операций при растопке котла и его автоматическое отключение при отклонении технологических параметров за допустимые пределы, т. е. при возникновении аварийной ситуации.

**Защита** вступает в действие тогда, когда возможности автоматического или дистанционного управления по предотвращению аварийных отклонений параметра исчерпаны и ТП должен быть изменен или приостановлен. Объем аварийных защит определяется требованиями СНиП и зависит от типа котла и вида сжигаемого топлива.

*Паровые котлы на твердом топливе* (слоевое сжигание) отключаются с остановкой тягодутьевых установок и механизмов, подающих топливо в топку:

- при понижении давления воздуха под колосниковой решеткой;
- повышении давления в топке;

- повышении или понижении уровня воды в барабане котла.

*Паровые котлы на жидком или газообразном топливе* автоматически отключаются с прекращением подачи газа:

- при повышении или понижении давления газа перед горелками;

- повышении давления в топке;

- повышении или понижении уровня воды в барабане;

- понижении давления воздуха перед горелками;

- повышении давления пара;

- погасании факела горелок.

*Водогрейные котлы на твердом топливе* автоматически отключаются с остановкой тягодутьевых установок и механизмов, подающих топливо в топку:

- при повышении температуры воды за котлом;

- повышении или понижении давления воды за котлом;

- уменьшении расхода воды через котел;

- увеличении давления в топке.



*Водогрейные котлы на газообразном топливе.* Эти котлы автоматически отключаются с прекращением подачи газа:

- при повышении температуры воды за котлом;
- повышении давления воздуха перед горелками;
- повышении или понижении давления газа;
- повышении давления в топке;
- уменьшении расхода воды через котел;
- погасании факела в топке.

Все названные типы котлов также автоматически отключаются при исчезновении напряжения питания в цепях защиты. Электрические схемы технологических защит и сигнализации котлов унифицированы.

Типовая схема защиты парового котла совмещает режимы автоматического розжига запальника и горелок с контролем параметров работы парового котла на газообразном топливе. При работе котла на мазуте горелки разжигают вручную. Вид топлива выбирают с помощью переключателя, который устанавливают в положение Г (газ) и М (мазут).

Предпусковые операции — заполнение котла водой, продувка газопровода, включение дымососа и дутьевого вентилятора — выполняют вручную. После выхода котла «На режим» включаются на работу автоматические регуляторы.

На газопроводе и мазутопроводе к котлу установлены клапаны-отсекатели, управляемые соленоидами. При срабатывании любой из защит или исчезновении питающего напряжения в схеме защит соленоиды клапанов отключаются и подача топлива к котлу прекращается.

Отключение котла — серьезное нарушение технологического регламента, поэтому его причины должны быть установлены, проанализированы и устранены. Схема автоматизации котла предусматривает определение первопричины отключения котла. При срабатывании любой из защит, например, от повышения (понижения) давления газа обесточивается реле аварийного останова.

Растопка котла — наиболее сложная и опасная операция в связи с возможностью образования в топке при неработающей горелке взрывоопасной газовоздушной смеси. Для контроля пламени газовых горелок применяют устройства, использующие ионизированный или фотоэлектрический метод контроля пламени.

Аварийное отклонение параметров, вызвавшее останов котла, приводит в действие систему автоматических блокировок.

**Автоматические блокировки** обеспечивают требуемую последовательность включения и отключения оборудования при пуске, остановке котла и разного рода технологических переключениях.

Блокировки бывают:

- запретно-разрешающие, препятствующие нарушению последовательности операций по обслуживанию установки;

- аварийные, отключающие агрегат или его отдельные элементы при возникновении аварии в каком-либо звене;

- замещения, включающие резервное оборудование вместо действующего.

Схема блокировки вращающихся механизмов котла предусматривает автоматический останов всех следующих по технологической цепочке механизмов и запрет на включение механизма, если предшествующий по технологической цепочке механизм не работает.

**Автоматическая сигнализация** обеспечивает автоматическую подачу световых и звуковых сигналов в случае останова котла защитой при повышении или понижении давления жидкого топлива или воды в питательных магистралях, а также при других нарушениях в работе основного и вспомогательного оборудования котельной.

## **Автоматизация электрических теплоустановок**

Электронагревательные установки широко применяют в сельскохозяйственном производстве благодаря их следующим преимуществам: постоянной готовности к действию и исключению использования огневых котельных со специальными помещениями для котлов и хранилищ топлива, транспортировки топлива и золы; возможности полной автоматизации процессов нагрева; улучшению санитарно-гигиенических условий обслуживающего персонала; облегчению в распределении теплоты по большим территориям; уменьшению себестоимости тепловой энергии и пожарной опасности.

Для подогрева воды используют установки как прямого нагрева за счет пропуска тока через воду, так и косвенного нагрева при помощи тепловых электронагревательных элементов (ТЭНов), а также установок индукционного и диэлектрического нагрева. Преимущества прямого электродного нагрева заключаются в простоте устройства, большой скорости нагрева и высоком КПД.

В сельском хозяйстве для подогрева воды при поении животных и для технологических нужд используют электроводонагреватели низкого давления — термосы типа УАП (ВЭТ) с резервуаром вместимостью 50...1000 л, проточные электроводонагреватели типа ЭПВ производительностью 600 л тепловой воды в час и др. Для получения горячей воды и пара применяют электродные котлы типов: КЭВ (котел электродный водогрейный), КЭВЗ (с замкнутым контуром) мощностью 10...6000 кВт, ЭПЗ (электродный прямоточный с замкнутым контуром), КЭПР (котел электродный паровой регулируемый) мощностью 160, 250, 2500 и 5000 кВт и выше.

Для подогрева воздуха в животноводческих помещениях до 5 °С используют стационарные электрокалориферные установки типа СФОА мощностью 5...100 кВт.

Динамические свойства практически всех водогрейных электроустановок описываются передаточной функцией апериодического звена второго порядка. Автоматическое управление электроводонагревателями осуществляется по температуре, а электропаровыми котлами — еще и по давлению пара.

Рассмотрим схемы управления на примерах автоматизации элементных и электродных водогрейных и паровых установок, так как они не имеют принципиальных отличий от установок других типов. Перед включением в сеть элементные водонагреватели обязательно следует заполнить водой, так как в противном случае перегорят нагревательные элементы. Электродные водонагреватели не имеют этой особенности. На рис. 8.9 приведено устройство водонагревателя типа УАП, выпускаемого вместо водонагревателя ВЭТ, и электрическая схема управления им. Водонагреватель предназначен для нагрева воды до  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выполнен в виде стального резервуара 1 с патрубком 4 для горячей воды. Резервуар теплоизолирован стекловатой 2 и закрыт внешним кожухом. Благодаря теплоизоляции температура воды снижается очень медленно. В подводящем трубопроводе установлены обратный клапан 6 и запорный вентиль 7. Водоподогреватель 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 магнитного пускателя КМ, а последний — электронагреватели ЕК. Повторное включение электронагревателя происходит при снижении температуры воды на  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Диод VD применен для облегчения работы контактов SK. ТЭНы более мощных водонагревателей типа УАП устанавливают в двух зонах резервуара: в нижней и верхней. Каждой группой ТЭНов управляет свой термодатчик.

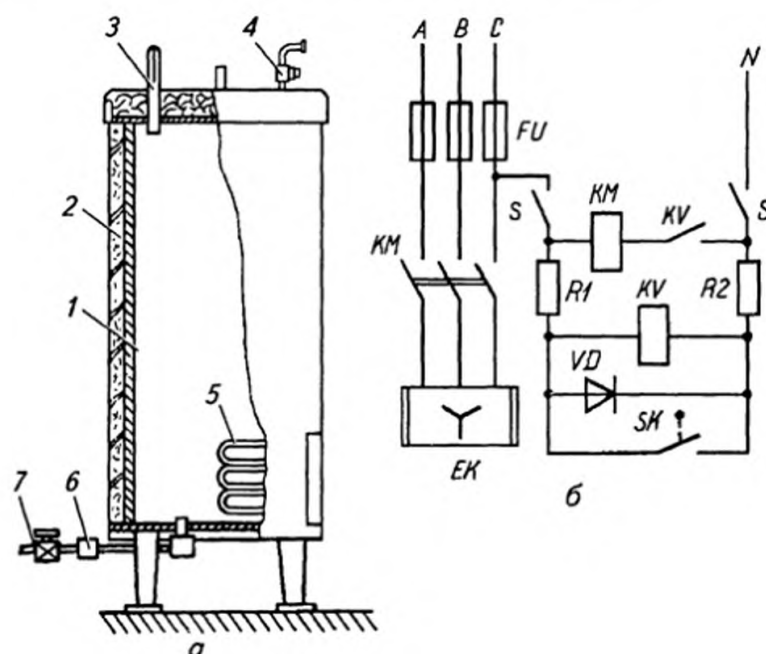


Рис. 8.9. Устройство водонагревателя типа УАП (а) и принципиальная электрическая схема управления им (б):

- 1 — стальной резервуар; 2 — стекловата; 3 — контактный термометр;  
4 — патрубок для горячей воды; 5 — элементные нагреватели; 6 — обратный клапан; 7 — запорный вентиль

На рис. 8.10 приведены устройство и схема управления проточного водонагревателя ЭПВ-2А. Проточные водонагреватели обеспечивают горячей водой сразу после включения. Они имеют плохую теплоизоляцию и малую вместимость, следовательно, не способны сохранять теплоту воды. Вода через водонагреватель должна проходить непрерывным потоком.

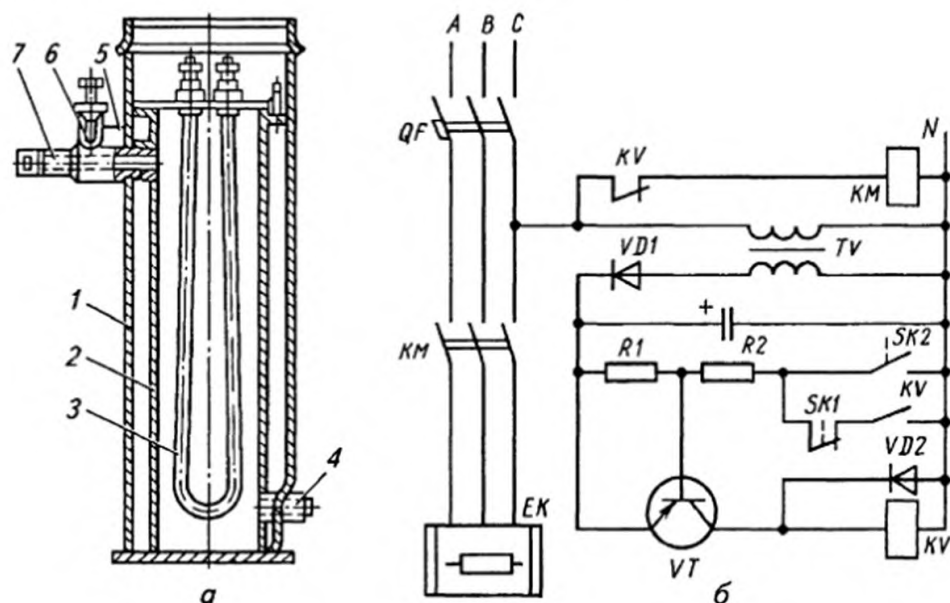


Рис. 8.10. Устройство проточного водонагревателя ЭПВ-2А (а) и принципиальная электрическая схема управления им (б):

- 1, 2 — цилиндрические стенки; 3 — группа ТЭНов; 4 — штуцер подачи холодной воды; 5 — штуцер крепления термодатчика; 6 — предохранительный клапан; 7 — штуцер отвода горячей воды

Холодная вода подается через штуцер 4, а горячая уходит через штуцер 7 с предохранительным клапаном 6. Контактный термодатчик установлен в штуцере 5. В корпусе водонагревателя, состоящем из двух металлических цилиндрических стенок 1 и 2, закреплена группа ТЭНов 3 мощностью 12 кВт, подключенных к трехфазной сети.

Схема управления осуществляет двухпозиционное релейное регулирование температуры воды при помощи контактов SK1 и SK2 термодатчиков. При повышении температуры воды до заданного верхнего значения замыкаются контакты SK2, открывается триод VT и включается реле KV, которое своими контактами при помощи магнитного пускателя KM отключает электронагреватель EK.

Схемой автоматизации водонагревателя ВЭП-600 (рис. 8.11) предусматривается поддержание заданной температуры воды в автопоилках коровника, рассчитанного на 200 животных. Водонагреватель состоит из проточного нагревательного бака 1 с предохранительным клапаном 2, термометром 3, термодатчиком SK1 и нагревательного блока 7. Циркуляцию воды обеспечивает насос 6, который направляет теплую воду ( $\sim 20^\circ\text{C}$ ) из бака 1 к автопоилкам. Неиспользованная в автопоилках вода возвращается в бак 1. Ее температура контролируется тер-



модатчиком *SK2*, устанавливаемым в самой холодной зоне системы поения. Электрооборудование изолировано от водопроводов изоляционными вставками-трубами 5. Поток воды перекрывают запорными вентилями 4.

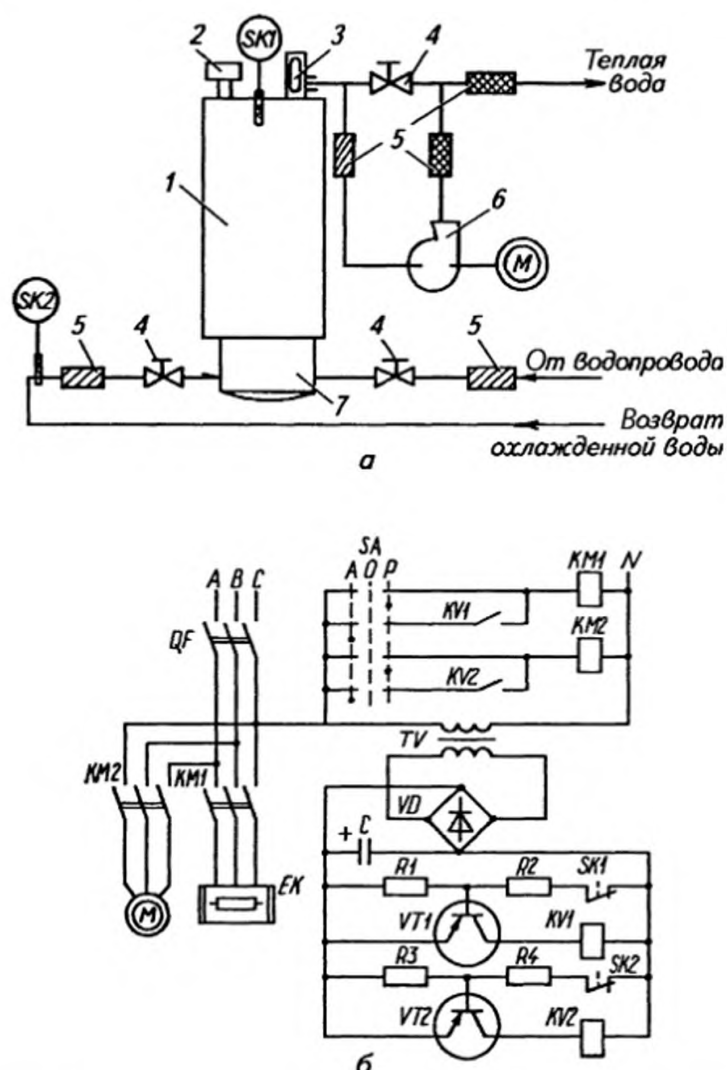


Рис. 8.11. Технологическая схема электронагревателя ВЭП-600 (а) и принципиальная электрическая схема управления им (б):

- 1 — проточный нагревательный бак; 2 — предохранительный клапан;  
3 — термометр; 4 — запорный вентиль; 5 — изоляционная вставка трубы;  
6 — насос; 7 — нагревательный бак

Схема управления работает аналогично схеме управления водонагревателя ЭПВ-2А. При малой температуре контакты *SK1* и *SK2* термодатчиков замкнуты, реле *KV1*, *KV2* и магнитные пускатели *KM1*, *KM2* включены. При повышении температуры воды в баке размыкается контакт *SK1*, триод *VT1* закрывается, реле *KV1* отключается и своим контактом отключает магнитный пускатель *KM1* электронагревателя *KM2* насоса и термореле *SK2*. При снижении температуры возвратной воды контакты *SK2* замыкаются, триод *VT2* открывается, срабатывает реле *KV2* и включает магнитный пускатель *KM2* электронасоса. Благодаря этому охлажденная вода в автопоилках заменяется

на теплую из бака. Для ручного включения и отключения установки ВЭП переводят переключатель *SA* соответственно в положение *P* и *O*.

Автоматическое управление электродными водогрейными и паровыми котлами осуществляется по температуре, давлению и уровню воды в котле. Электродный нагрев воды для получения пара обеспечивает простоту конструкции котла и регулирование мощности в большом диапазоне (от 10 до 100 %). К недостаткам следует отнести 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 накипобразования воду предварительно смягчают или одну и ту же воду используют как теплоноситель между котлом и теплообменным аппаратом.

Электродный водогрейный котел КЭВ-3 имеет номинальную мощность от 25 до 1000 кВт. Корпус 1 (рис. 8.12, а) котла имеет цилиндрическую форму с двойными стенками, между которыми расположена теплоизоляция 2 из стекловолокна. Подвод и отвод воды происходит через нижний 8 и верхний 7 патрубки. В верхней трубке установлены электроконтактные термометры 5 и 6. Корпус закрывается крышкой 3, на которой закреплен кожух, закрывающий электрические выводы электронагревателей.

Трехфазные электронагревательные электроды выполнены из трех пар стальных коаксиальных труб. Между трубами выставлены 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* (рис. 8.12, б) тумблером *S* подключают к цепи датчика *SK1* температуры воды, в режиме отопления — к цепи датчика *SK2* температуры воздуха в помещении. 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 следующим образом. 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 *EK*. Повторное включение происходит при помощи реле *KV1*, *KV3* и пускателя *KM* при размыкании контактов *SK1* вследствие снижения температуры воды. Затем цикл повторяется. При недопустимом повышении температуры замыкаются контакты *SK3* и реле *KV2*, *KV4* аварийно отключают электронагреватель. После этого отключенный котел может включить только обслуживающий персонал. Сигнальные лампы *HL1*, *HL2* и *HL3* загораются соответственно при включении, нормальном и аварийном отключениях котла.

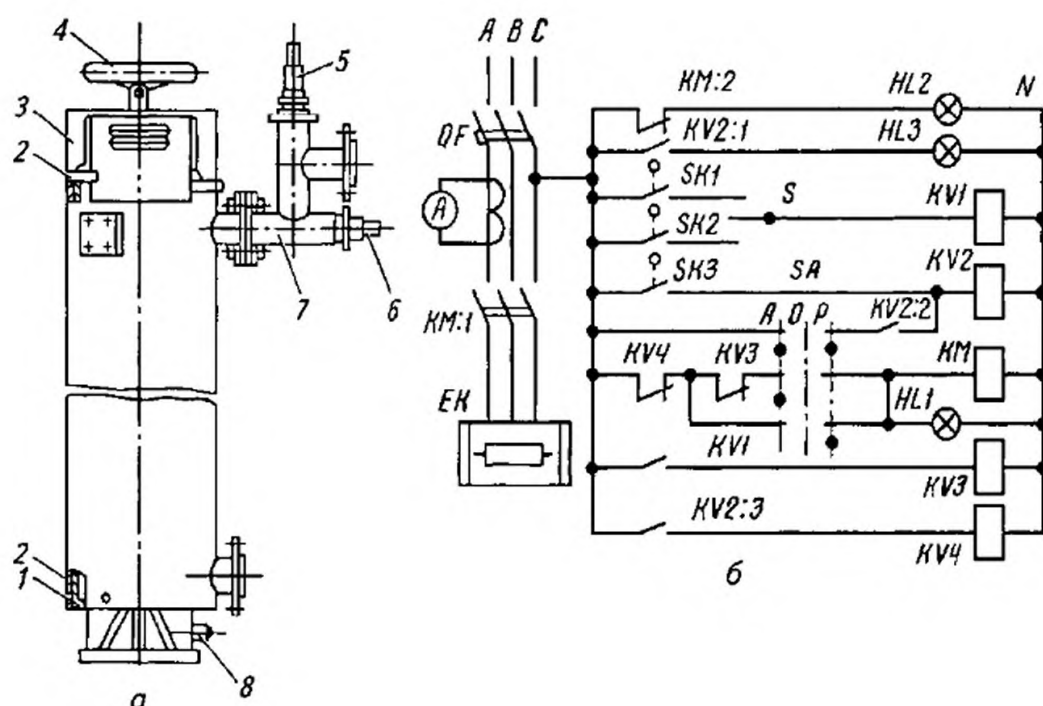


Рис. 8.12. Устройство котла КЭВ-3 (а) и принципиальная электрическая схема управления им (б):

1 — корпус котла; 2 — теплоизоляция; 3 — крышка; 4 — маховик; 5, 6 — электроконтактные термометры; 7 — верхний патрубок; 8 — нижний патрубок

Саморегулируемый электродный паровой котел типа ЭКП работает следующим образом. Электроды 1, выполненные в виде пакета плоских пластин (рис. 8.13), размещены в центральной камере 3. Центральная камера в нижней части корпуса 2 и через вентиль 5 в верхней части свободно соединена 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.

Если потребление 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 СФОА мощностью 5...25 кВт используют в сельском хозяйстве одновременно для отопления и вентиляции животноводческих помещений. Электронагревательные элементы этих установок выполнены из проволоки или ленты (материал — нихром или фехраль). Поверхность элементов нагревается до 200 °С при скорости движения воздуха 10...15 м/с.

Электронагревательные элементы объединены в две или три трехфазные секции, включая и отключая которые в две или три ступени регулируют мощность. Автоматическое или ручное управление происходит в соответствии с положением *A* (рис. 8.14) или *P* переключателя *SA1*.

Переключателем *SA2* выбирают число одновременно работающих степеней электронагревателя. Автоматом *QF1* подают питание на установку, а автоматом *QF2* включается вентилятор *M*. После включения вентилятора переключателем *SA1* включают все три секции *EK1...EK3* калорифера.

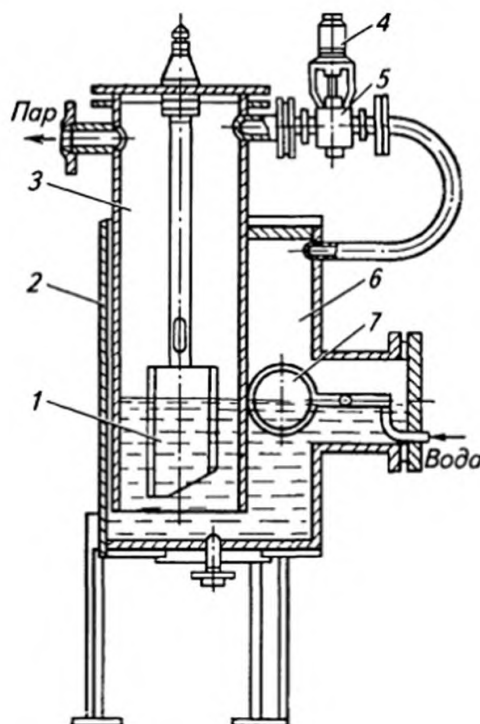


Рис. 8.13. Устройство саморегулируемого электродного парового котла:

1 — электроды; 2 — корпус; 3 — центральная камера; 4 — регулятор давления; 5 — вентиль; 6 — внешняя камера; 7 — поплавковый регулятор

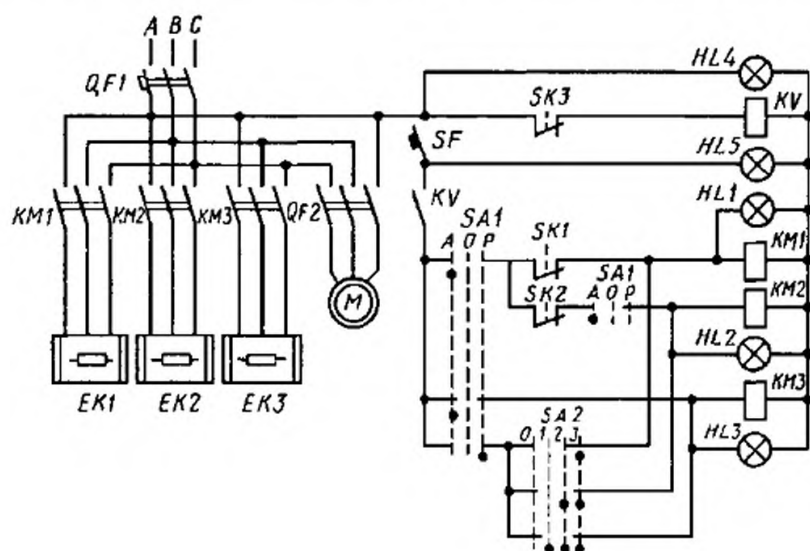


Рис. 8.14. Принципиальная электрическая схема управления калориферной установкой типа СФОА



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* в цепи реле *KV* разомкнутся. При этом 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*.

## Тема 8.3

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

### Типы холодильных установок. Основные принципы получения искусственного холода

Холод применяют в технологиях многих процессов переработки сельскохозяйственной продукции. Благодаря холодильникам значительно сокращаются потери при хранении продукции. Охлажденные продукты можно транспортировать на большие расстояния.

Молоко, предназначенное для переработки или реализации, как правило, предварительно охлаждают. Перед отправкой на предприятие молочной промышленности молоко допускается хранить не более 20 ч при температуре не выше 10 °С.

В сельском хозяйстве мясо охлаждают в основном на фермах и птицефабриках. При этом используют следующие способы охлаждения: в воздухе, холодной воде, в воде с тающим льдом и орошением холодной водой. Подмораживание мяса птицы производят либо холодным воздухом, либо погружением в холодный рассол. Воздушное подмораживание осуществляют при температуре воздуха в холодильных камерах от –23 до –25 °С и скорости движения воздуха 3...4 м/с. Для подмораживания погружением в рассол применяют растворы хлористого кальция или пропиленгликоля с температурой от –10 °С и ниже.

Мясо, предназначенное для длительного хранения, замораживают теми же способами, что и подмораживание. Замораживание воздухом осуществляют при температуре охлаждаемого воздуха от –30 до –40 °С, при замораживании в рассоле температура раствора равна –25...–28 °С.

Яйца хранят в холодильниках при температуре –1...–2 °С и относительной влажности 85...88 %. После охлаждения до 2...3 °С их помещают в камеру хранения.

Фрукты и овощи охлаждают в стационарных хранилищах. Плодоовощную продукцию хранят в холодильных камерах с охлаждающими батареями, в которых циркулирует холодный агент или рассол.

В системах с воздушным охлаждением сначала охлаждается воздух, который затем вентиляторами нагнетается в камеры хранения. В смешанных системах продукты охлаждаются холодным воздухом и от батарей.

В сельском хозяйстве холод получают как безмашинным способом (ледники, льдосоленое 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).

В сельском хозяйстве широко применяют паровые компрессоры и абсорбционные холодильные машины.

Простейший способ получения температуры рабочего тела ниже температуры окружающей среды заключается в том, что это рабочее тело (холодильный агент) сжимают в компрессоре, затем охлаждают до температуры окружающей среды и после этого подвергают адиабатическому расширению. При этом рабочее тело совершает работу за счет своей внутренней энергии и температура его уменьшается по сравнению с температурой окружающей среды. Таким образом, рабочее тело становится источником получения холода.

В качестве холодильных агентов в принципе можно применять любой пар или газ. В первых холодильных машинах с механическим приводом в качестве холодильного агента применяли воздух, но уже с конца XIX в. он был заменен аммиаком и углекислотой, поскольку воздушная холодильная машина менее экономична и более громоздка, чем паровая, из-за большого расхода воздуха, обусловленного его малой теплоемкостью.

В современных холодильных установках рабочим телом являются пары жидкостей, которые при давлениях, близких к атмосферному, кипят при низких температурах. Примерами таких холодильных агентов могут служить аммиак  $\text{NH}_3$ , сернистый ангидрид  $\text{SO}_2$ , диоксид углерода  $\text{CO}_2$  и фреоны — фторохлоропроизводные углеводороды типа  $\text{C}_m\text{H}_x\text{F}_y\text{Cl}_2$ . Температура кипения аммиака при атмосферном давлении составляет  $-33,5^\circ\text{C}$ , «Фреона-12» —  $-30^\circ\text{C}$ , «Фреона-22» —  $-42^\circ\text{C}$ .

В качестве холодильных агентов широко применяют фреоны — галоидные производные насыщенных углеводородов ( $\text{C}_m\text{H}_n$ ), полученные путем замены атомов водорода атомами хлора и фтора. В технике из-за большого разнообразия фреонов и относительно сложного их наименования установлена условная числовая система обозначения, согласно которой каждое такое соединение в зависимости от химической формулы имеет свое число. Первые цифры в этом числе условно обозначают углеводород, производным которого является данный фреон: метан — 1, этан — 11, пропан — 21. Если в соединении присутствуют незамещенные атомы водорода, то их число прибавляют к этим цифрам. Далее к полученной сумме или к первоначальному числу (если все атомы водорода в соединении замещены) дописывают в виде следующего знака цифру, выражающую число атомов фтора. Так получают обозначения: R11 вместо монофтортрихлорметана  $\text{CFCl}_2$ , R12 вместо дифтордихлорметана  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$  и т. д.

В холодильных установках в качестве холодильного агента обычно используют R12, а в перспективе будут широко применять R22 и R142.

Преимущества фреонов — относительная безвредность, химическая инертность, негорючесть и взрывобезопасность; недостатки — низкая вязкость, способствующая утечке, и возможность растворяться в масле.

На рис. 8.15 показана принципиальная схема парокomppressorной холодильной установки и ее идеальный цикл в  $Ts$ -диаграмме. В компрессоре 1 сжимается влажный пар холодильного агента, в результате чего (участок  $a—b$ ) получается сухой насыщенный или перегретый пар. Обычно степень перегрева не превышает  $130...140\text{ }^{\circ}\text{C}$ , чтобы не усложнять эксплуатацию компрессора из-за повышенных механических напряжений и не применять масла специальных сортов. Из компрессора перегретый пар с параметрами  $p_2$  и  $\theta_2$  поступает в охладитель (конденсатор 2). В конденсаторе при постоянном давлении перегретый пар отдает охлаждающей воде теплоту перегрева (процесс  $b—c$ ) и его температура становится равной температуре насыщения  $\theta_{н2}$ . Отдавая в дальнейшем теплоту парообразования (процесс  $c—d$ ), насыщенный пар превращается в кипящую жидкость (точка  $d$ ). Эта жидкость поступает к дроссельному вентилю 3, пройдя через который она превращается в насыщенный пар небольшой степени сухости ( $x_5 = 0,1...0,2$ ).

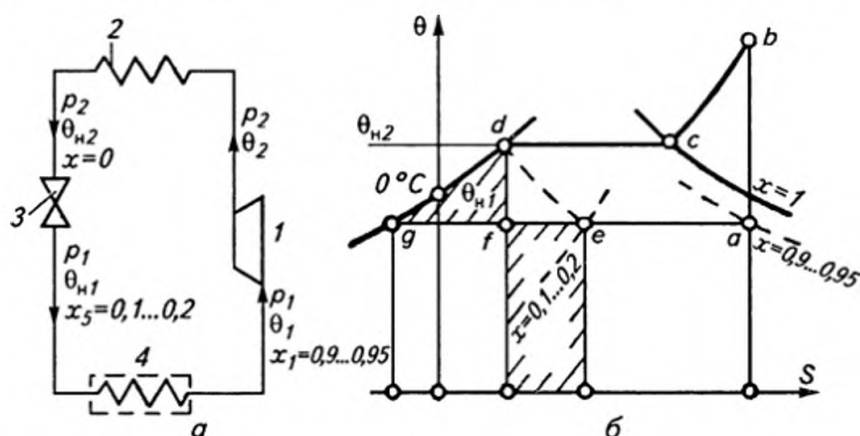


Рис. 8.15. Принципиальная схема парокomppressorной холодильной установки (а) и ее теоретический цикл в  $\theta S$ -диаграмме (б):

1 — компрессор; 2 — охлаждаемое помещение; 3 — дроссельный вентиль; 4 — конденсатор

Известно, что энтальпия рабочего тела до и после дросселирования одинакова, а давление и температура понижаются. На  $Ts$ -диаграмме изображена штриховая линия постоянной энтальпии  $d—e$ , точка  $e$  которой характеризует состояние пара после дросселирования.

Далее влажный пар поступает в охлаждаемую емкость, называемую рефрижератором 4. Здесь при неизменных давлении и температуре пар расширяется (процесс  $e—a$ ), отнимая определенное количество теплоты. Степень сухости пара при этом увеличивается ( $x_1 = 0,9...0,95$ ). Пар с параметрами состояния, характеризуемыми точкой 1, засасывается в компрессор, и работа установки повторяется.

На практике пар после дроссельного вентиля поступает не в рефрижератор, а в испаритель, где отнимает теплоту у рассола, который,



в свою очередь, отнимает теплоту от рефрижератора. Это объясняется тем, что в большинстве случаев холодильная установка обслуживает ряд потребителей холода, и тогда незамерзающий рассол служит промежуточным хладоносителем, непрерывно циркулируя между испарителем, где он охлаждается, и специальными воздухоохладителями в рефрижераторах. В качестве рассолов применяют водные растворы хлорида натрия и хлорида кальция, имеющие достаточно низкие температуры замерзания. Растворы пригодны для использования лишь при температурах, превышающих те, при которых они замерзают как однородная смесь, образуя соленый лед (так называемая криогидратная точка). Криогидратной точке для раствора NaCl с массовой концентрацией 22,4 % соответствует температура  $-21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а для раствора  $\text{CaCl}_2$  с концентрацией 29,9 % — температура  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Показателем энергетической эффективности холодильных установок служит холодильный коэффициент  $\epsilon$ , представляющий собой отношение удельной холодопроизводительности к затраченной энергии.

Действительный цикл парокomppressorной холодильной установки отличается от теоретического тем, что из-за наличия внутренних потерь на трение сжатие в компрессоре происходит не по адиабате, а по политропе. В результате уменьшается затрата энергии в компрессоре и снижается холодильный коэффициент.

Для получения низких температур ( $-40\ldots-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), требуемых в некоторых технологических процессах, одноступенчатые парокomppressorные установки оказываются или неэкономичными, или совершенно непригодными из-за снижения КПД компрессора, обусловленного высокими температурами рабочего тела в конце процесса сжатия. В таких случаях применяют или специальные холодильные циклы, или в большинстве случаев двухступенчатое или многоступенчатое сжатие. Например, двухступенчатым сжатием аммиачных паров получают температуры до  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а трехступенчатым — до  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Основное преимущество абсорбционных холодильных установок по сравнению с компрессорными — использование для выработки холода не электрической, а тепловой энергии низкого и среднего потенциалов. Последнюю можно получить от водяного пара, отбираемого, например, из турбины на теплоэлектроцентралях.

Абсорбцией называется явление поглощения пара жидким веществом (абсорбентом). При этом температура пара может быть ниже температуры абсорбента, поглощающего пар. Для процесса абсорбции необходимо, чтобы концентрация абсорбируемого пара была равна или больше равновесной концентрации этого пара над абсорбентом. Естественно, что в абсорбционных холодильных установках жидкие абсорбенты должны с достаточной скоростью поглощать холодильный агент, и при одинаковых давлениях температура их кипения должна быть значительно выше температуры кипения холодильного агента.

Наиболее распространены водно-аммиачные абсорбционные установки, в которых аммиак служит холодильным агентом, а вода — абсор-

бентом. Аммиак хорошо растворим в воде. Например, при  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  в одном объеме воды растворяется до 1148 объемов парообразного аммиака, и при этом выделяется теплота около  $1220\text{ кДж/кг}$ .

Холод в абсорбционной установке вырабатывается по схеме, изображенной на рис. 8.16. На этой схеме нанесены примерные значения параметров рабочего тела в установке без учета потерь давления в трубопроводах и потерь температурного напора в конденсаторе.

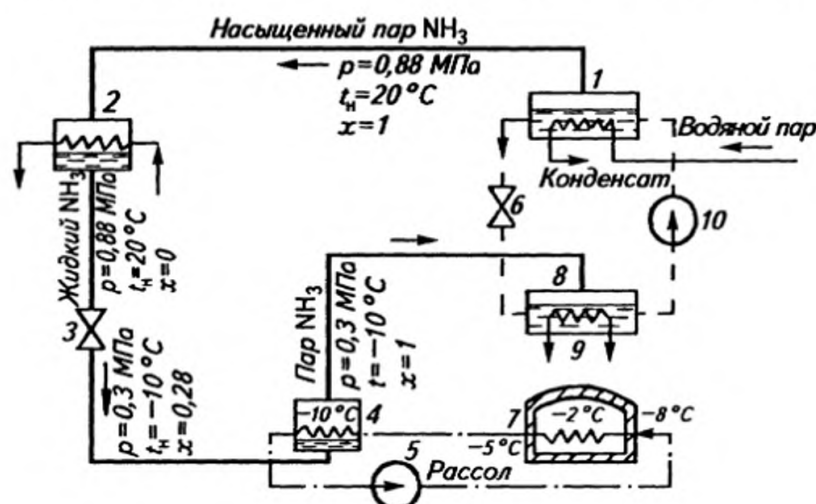


Рис. 8.16. Схема абсорбционной холодильной установки:

- 1 — генератор; 2 — конденсатор; 3 — дроссельный вентиль; 4 — испаритель;  
5 — насос; 6 — переключательный вентиль; 7 — охлаждаемая емкость; 8 — абсорбер;  
9 — змеевик; 10 — насос

В генераторе 1 происходит выпаривание насыщенного аммиачного раствора при подогреве его водяным паром. В результате этого отгоняется легкокипящий компонент — аммиачный пар с незначительной примесью паров воды. Если поддерживать температуру раствора около  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то давление насыщения паров аммиака составит примерно  $0,88\text{ МПа}$ . Чтобы содержание  $\text{NH}_3$  в растворе не уменьшилось, с помощью перекачивающего насоса 10 из абсорбера в генератор непрерывно подается крепкий концентрированный аммиачный раствор. Насыщенный аммиачный пар ( $x \approx 1$ ), получаемый в генераторе, направляется в конденсатор 2, где аммиак превращается в жидкость ( $x = 0$ ). После дросселя 3 аммиак поступает в испаритель 4, при этом давление его снижается до  $0,3\text{ МПа}$  ( $t_n = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и степень сухости становится равной примерно  $0,2 \dots 0,3$ . В испарителе аммиачный раствор выпаривается за счет теплоты, подводимой рассолом из охлаждаемой емкости 7. При этом температура рассола понижается от  $-5$  до  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . С помощью насоса 5 он обратно перегоняется в емкость 7, где вновь нагревается до  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , отбирая теплоту от помещения и поддерживая в нем постоянную температуру, примерно  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Выпаренный в испарителе аммиак со степенью сухости  $x \approx 1$  поступает в абсорбер 8, где поглощается слабым раствором, подаваемым через переключательный вентиль 6 из генератора. Поскольку абсорбция — экзотермическая реакция, то для обе-

спечения непрерывности процесса теплообмена абсорбент отводит охлаждающей водой. Полученный в абсорбере крепкий аммиачный раствор насос 10 перекачивает в генератор.

Таким образом, в рассмотренной установке имеются два аппарата (генератор и испаритель), где теплота подводится к рабочему телу извне, и два аппарата (конденсатор и абсорбер), в которых теплота отводится от рабочего тела. Сравнивая принципиальные схемы парокомпрессорной и абсорбционной установок, можно отметить, что генератор в абсорбционной установке заменяет нагнетательную, а абсорбер — всасывающую части поршневого компрессора. Сжатие холодильного агента происходит без затраты механической энергии, если не считать небольших расходов на перекачивание крепкого раствора из абсорбера в генератор.

В практических расчетах в качестве энергетического показателя абсорбционной установки также принимают холодильный коэффициент  $\epsilon$ , представляющий собой отношение количества теплоты  $q_2$ , воспринимаемого рабочим телом в испарителе, к количеству теплоты  $q_1$ , затрачиваемому в генераторе. Подсчитанный таким образом холодильный коэффициент всегда меньше холодильного коэффициента парокомпрессорной установки. Однако сравнительная оценка энергетической эффективности рассмотренных способов получения холода в результате непосредственного сопоставления способов только холодильных коэффициентов абсорбционной и парокомпрессорной установок неправильна, так как она определяется не только количеством, но и видом затраченной энергии. Два метода получения холода следует сравнивать по значению приведенного холодильного коэффициента, представляющему собой отношение холодопроизводительности  $q_2$  к расходу теплоты топлива  $q_1$ , т. е.  $\epsilon_{пр} = q_2 / q_1$ . Оказывается, что при температурах испарения от  $-15$  до  $-20$  °С (используемых основной массой потребителей)  $\epsilon_{пр}$  абсорбционных установок выше, чем парокомпрессорных, вследствие чего в ряде случаев абсорбционные установки выгоднее не только при снабжении их паром, отбираемым из турбин, но и при снабжении их паром непосредственно из паровых котлов.

## Современные холодильные установки

В сельском хозяйстве холодильные машины применяют для охлаждения молока и мяса на фермах и птицефабриках, фруктов и овощей в хранилищах (как с непосредственным, так и с рассольным охлаждением).

Холодильные установки, используемые на молочных фермах, оборудованы аккумулятором, так называемым танком, предназначенным для аккумуляции холода в промежутках между дойками. В основном эти установки работают в автоматическом режиме. Для охлаждения молока на фермах применяют холодильные установки МХУ-8с, ТОМ-2А,



КСА-500, СМ-1200, УВ-10, АВ-30 и др. На крупных фермах используют холодильные установки АВ-22, АУ-45 с рассольным охлаждением.

Холодильная машина МХУ-8с обеспечивает охлаждение молока за 2 ч с учетом аккумуляции холода (намораживание льда на пластинах испарителя). Длительность аккумуляции холода 5 ч. Таким образом, длительность всего цикла охлаждения составляет 7 ч. Количество замороженного льда на панелях испарителя 450 кг  $\pm$  50 кг. Холодильная мощность установки 9,3 кВт.

Схема холодильной установки МХУ-8с изображена на рис. 8.17. Циркулирующий в испарителе 13 холодильный агент отбирает теплоту от воды в баке 2. Образовавшийся при кипении холодильного агента пар проходит через теплообменник 10, где он дополнительно нагревается жидким холодильным агентом, который поступает из ресивера 8 и имеет более высокое давление и температуру, чем пары после испарителя 13. Пары холодильного агента отсасываются поршневым двухцилиндровым компрессором ФВ-6. Сжатые в компрессоре пары холодильного агента (при этом их температура повышается до 70...80 °С) нагнетаются в конденсатор 7, наружная поверхность которого обдувается окружающим воздухом с помощью вентилятора. Жидкий холодильный агент поступает в ресивер 8, а затем в фильтр-осушитель 9, где он освобождается от влаги и загрязнений. В теплообменнике 10 холодильный агент, отдавая теплоту парам, дополнительно охлаждается. Протекая далее через терморегулирующий вентиль 12, холодильный агент дросселируется. При этом понижается как его давление, так и температура. Из терморегулирующего вентиля 12 холодильный агент поступает в испаритель 13 и цикл повторяется. Холодная вода из бака-аккумулятора 2 насосом 14 подается в охладитель молока 1.

Степень охлаждения устанавливают терморегулирующим вентилем 12.

Для регулирования толщины льда на пластинах испарителя в установке предусмотрено реле температуры 4. Реле давления 5 служит для защиты от чрезмерного повышения давления в конденсаторе.

Танк-охладитель молока ТОМ-2А холодильной мощностью 13,9 кВт предназначен для охлаждения и хранения молока на фермах. Им оборудуют молочно-товарные фермы на 200, 400 и 600 голов. Танк-охладитель молока СМ-1200 конструктивно мало отличается от охладителя ТОМ-2А. Для охлаждения молока используют также установки КСА-2А, КСА-500 (входит в комплект доильной установки «Импульс») и МК-2000Л-2А (на 2000 л молока). Средняя холодильная мощность установки КСА-500 составляет 8,8...9 кВт, МК-2000 — 13,4 кВт на 1000 л молока.

На некоторых фермах применяют охладительно-пастеризационные установки ОПФ-1 и ОПУ-3М производительностью соответственно 1000 и 3000 л/ч. В этих установках происходит очистка, тонкослойная пастеризация и охлаждение молока при полной автоматизации процесса.



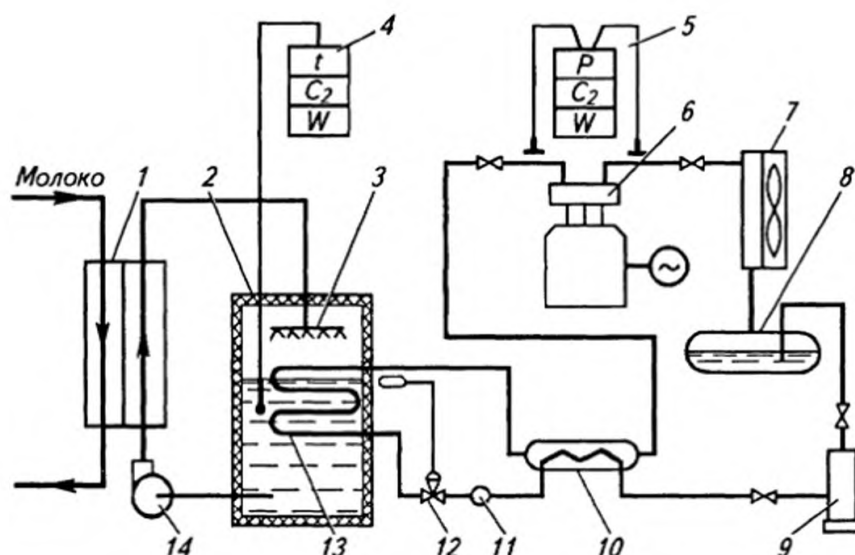


Рис. 8.17. Схема холодильной установки МХУ-8с:

1 — охладитель молока; 2 — бак для охлаждения воды; 3 — коллектор; 4 — реле температуры; 5 — реле давления; 6 — компрессор; 7 — конденсатор с воздушным охлаждением; 8 — ресивер; 9 — фильтр-осушитель; 10 — теплообменник; 11 — смотровое устройство; 12 — терморегулирующий вентиль; 13 — испаритель; 14 — насос

Представляют интерес автоматические холодильные машины типа ФАК мощностью 0,814...1,745 кВт. Они работают с различными по размерам испарительными батареями в диапазоне температур от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+5^{\circ}\text{C}$  при температуре окружающего воздуха до  $40^{\circ}\text{C}$ . Агрегат ФАК-0,7АВ отличается тем, что его конденсатор охлаждается водой.

Более крупные холодильные камеры оборудованы холодильными агрегатами ИФ-49 с водяным и ИФ-56 с воздушным охлаждением. Холодильная мощность обеих машин в стандартном режиме составляет 3,5 кВт.

В овоще- и фруктохранилищах используют хладоновые холодильные машины ХМ-22-ФВ-22/1, ХМ-22-ФВ-22/11, ХМ-22-ФУ-45/1 и др., работающие на холодильных агентах R12 и R22. Эти машины бывают двух модификаций: 1 — с частотой вращения коленчатого вала компрессора  $24\text{ мин}^{-1}$  и 11 — с частотой вращения  $16\text{ мин}^{-1}$ . Их используют как с непосредственным батарейным, так и рассольным охлаждением. Холодильные машины работают при температуре кипения холодильного агента от  $-45$  до  $+5^{\circ}\text{C}$  и температуре охлаждающей воды от 1 до  $30^{\circ}\text{C}$ .

Схема холодильной машины ХМ-ФВ-20 показана на рис. 8.18. После компрессора 9 пары холодильного агента поступают в конденсатор 12, где они охлаждаются и конденсируются. После дополнительного охлаждения в теплообменнике 14 через фильтр-осушитель 16, соленоидный вентиль 18 и терморегулирующий вентиль 19 они поступают в испаритель 1. Из испарителя 1 пары холодильного агента отсасываются компрессором 9. По пути от испарителя 1 до компрессора 9 пары подогреваются в теплообменнике 14 за счет теплоты жидкого холодильного агента, поступающего из конденсатора 12.

Для охлаждения сельскохозяйственной продукции применяют также аммиачные холодильные машины ХМ-АВ-22/1-11, ХМ-АУ-45/1-1, ХМ-АУУ-90/1-11. Их используют для охлаждения молока, мяса, фруктов и овощей.

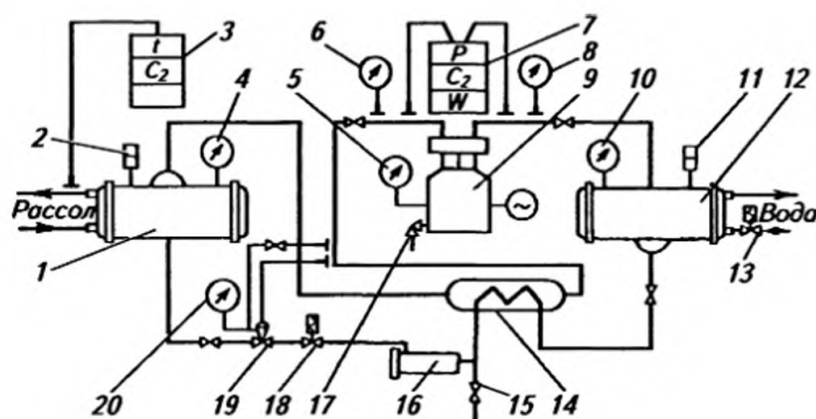


Рис. 8.18. Схема холодильной машины типа ХМ-ФВ-20:

- 1 — испаритель; 2, 11 — предохранительные клапаны; 3 — реле температуры; 4, 6, 20 — мановакуумметры; 5, 8, 10 — манометры; 7 — реле давления; 9 — компрессор; 12 — конденсатор; 13, 18 — соленоидные вентили; 14 — теплообменник; 15 — вентиль для заправки холодильным агентом; 16 — фильтр-осушитель; 17 — вентиль для слива масла; 19 — терморегулирующий вентиль

При водном охлаждении конденсатора используют как прямоточную, так и обратную систему подачи воды. В первом случае охлаждающая вода сбрасывается в канализацию, во втором — она проходит через градирню, где охлаждается в результате теплообмена с воздухом, после чего вновь подается в систему охлаждения конденсатора.

## Автоматическое управление водоохлаждающей установкой

Поскольку схемы автоматизации холодильных установок аналогичны, то рассмотрим их на примере автоматизации наиболее распространенной водоохлаждающей установки типа УВ-10, технологическая и электрическая схемы которой показаны на рис. 8.19.

Установка УВ-10 состоит из компрессора 4 с электроприводом М1, воздушного конденсатора 2 с приводом вентилятора М2, ресивера 1, теплообменника 7, оросительного змеевикового испарителя 12, размещенного в бане 9, холодоносителя с оросителем 10, центробежного насоса 13 для перекачки холодоносителя, фильтров 5, 6, 11 и вентиля.

Установка работает по двум замкнутым контурам: по холодильному агенту и по холодоносителю (воде). Первый контур работает следующим образом. Компрессор 4 отсасывает пары холодильного агента из испарителя 12, сжимает их и нагнетает в конденсатор 2, где холодильный агент охлаждается и конденсируется за счет теплообмена с воздухом, прогоняемым вентилятором М2. Жидкий холодильный агент скаплива-

ется в ресивере 1, а затем проходит через вентиль 3, фильтр-осушитель 6 и теплообменник 7. В теплообменнике 7 агент дополнительно охлаждается за счет регенеративного теплообмена с парами холодильного агента, идущего из испарителя.

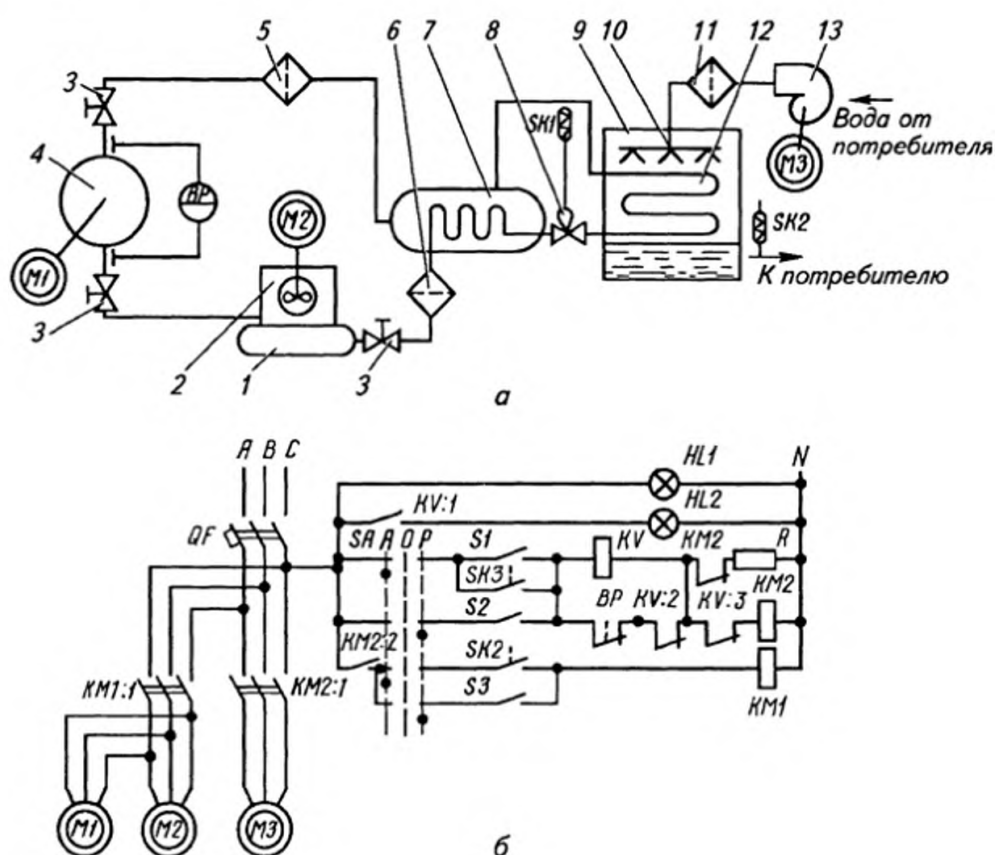


Рис. 8.19. Технологическая схема водоохлаждающей установки (а) и принципиальная электрическая схема управления ею (б)

Охлажденный холодильный агент 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 его в конденсатор. В конденсаторе теплота отводится в окружающую среду при помощи вентилятора.

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 испарителя 12 на 15...20 °С выше температуры кипения холодильного агента. Для поддержания этой разности 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* (рис. 8.19, б). Электропривод *M2* вентилятора включается одновременно с компрессором. Защита от повышения давления нагнетания выше 1,5 МПа и от понижения давления всасывания ниже 0,04 МПа осуществляется датчиком разности давления *BP*, который замыкает 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 *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* и электропривод 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 давления *BP*, а также контактов тепловых реле магнитных пускателей *KM1* и *KM2* (они включаются последовательно с контактами *BP*) реле *KV* расшунтируется и срабатывает. Оно своими контактами включает сигнальную лампу *HL2*, отключает магнитный пускатель *KM2* насоса, а затем блок-контактами *KM2* отключает магнитный пускатель *KM1*. После этого схему в исходное состояние можно привести только вручную путем отключения и включения тумблера *S1*.



## **Тема 8.4**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ОРОШЕНИЯ**

### **Технологические основы автоматизации безбашенной и башенной насосных установок**

Сельскохозяйственное производство является крупным потребителем воды, расходуемой для нужд населения, поения животных, приготовления пищи и кормов, полива растений, уборки навоза и для других 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. Автоматизация позволила увеличить производительность труда по водоснабжению в 20 раз, снизить эксплуатационные затраты в 10 раз. Кроме того, при поении животных из автопоилок увеличивается продуктивность КРС на 10 %, а птиц — 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. Насосы выполняют в моноблоке с электродвигателями и погружают в воду или располагают на поверхности земли.

Для подъема воды из открытых водоемов и шахтных колодцев используют также плавающие центробежные насосы. Широко распространены так называемые объемно-инерционные насосы с электромагнитным вибрационным приводом, рассчитанные 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 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.

Безбашенная автоматическая водоподъемная установка типа ВУ (рис. 8.20) предназначена для подъема воды из открытых водоемов и шахтных колодцев глубиной до 5 м при напоре 25...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, имеющего камеру смешивания 6, воздушный клапан 7, жиклер 10 и диффузор 11.

Схема управления в автоматическом режиме работает следующим образом. Вода к потребителю поступает под давлением воздушной подушки, расположенной над водой в котле. При разборе воды из котла давление в котле снижается и контакты манометрического датчика давления ВР замыкаются, катушка магнитного пускателя КМ получает питание и включает электронасос.

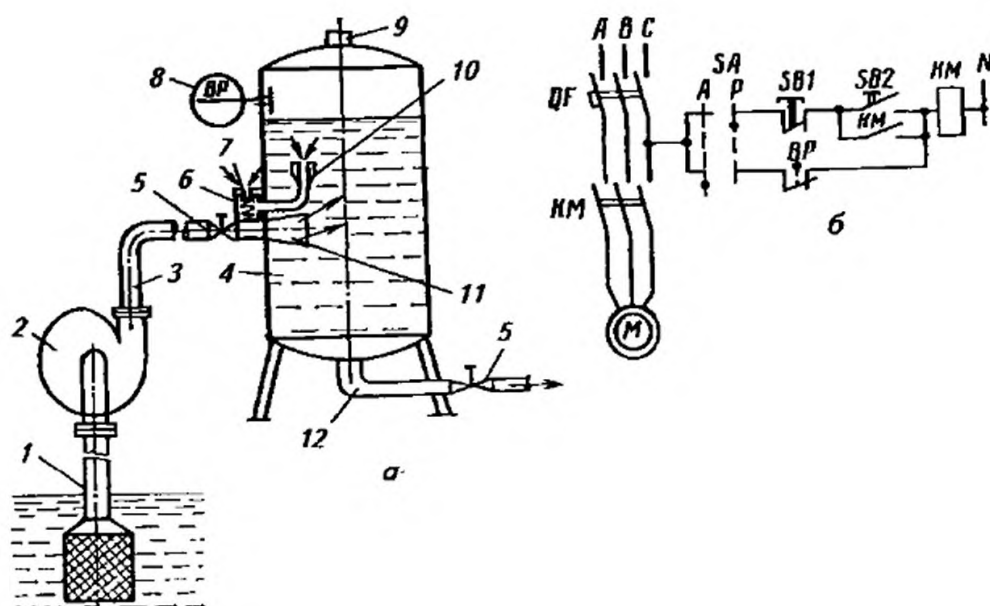


Рис. 8.20. Технологическая схема водоподъемной установки типа ВУ (а) и принципиальная электрическая схема управления ею (б):

- 1 — всасывающая труба; 2 — насосный агрегат; 3 — нагнетательная труба;  
4 — воздушно-водяной бак; 5 — запирающий вентиль; 6 — камера смешивания;  
7 — воздушный клапан; 8 — датчик давления; 9 — предохранительный клапан;  
10 — жиклер; 11 — диффузор; 12 — водоразборная труба

Давление включения (МПа), рассчитывают по формуле

$$p_1 = (H_{св} + H_p + H_{пот}) 10^{-2}, \quad (8.2)$$

где  $H_{св}$  — свободный напор у потребителя, м (для автопоилок 4...6 м, для одноэтажных зданий 8 м, для двухэтажных — 12 м);  $H_p$  — разность

отметок расчетных точек водопроводной сети и минимального уровня воды в баке, м;  $H_{\text{пот}}$  — потери напора в водопроводной сети, м.

При увеличении уровня воды давление в котле повышается до заданного значения, при котором контакты  $BP$  размыкаются и насос отключается.

Давление выключения (МПа), определяют по формуле

$$p_2 = 1,7p_1 + 0,7. \quad (8.3)$$

Ручное управление электронасосом осуществляется кнопками  $SB2$  «Пуск» и  $SB1$  «Стоп».

Объем воздушной подушки в баке постоянно уменьшается, так как часть воздуха растворяется и выносится с водой. Вследствие этого уменьшается давление воздушной подушки и регулирующий объем в котле снижается.

Для автоматического поддержания объема воздушной подушки служит регулятор, обеспечивающий 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 водоподъемные установки имеют низкий коэффициент использования объема бака  $(0,15 \dots 0,2)V$ , большой перепад давлений  $(20 \dots 30 \text{ м})$  при малом регулирующем объеме  $V_p$  и взрывоопасны. Поэтому их применяют ограничено.

Башенная система водоснабжения обычно работает по следующей схеме: водоисточник — насосный агрегат — напорный агрегат — напорный трубопровод — водонапорная башня — водопроводная сеть — потребители воды.

При включении насоса вода поступает одновременно к потребителям и в напорный бак башни. Количество поступающей в бак воды равно разности между подачей насоса и расходом потребителей. После наполнения бака насосный агрегат отключается и водоснабжение потребителей обеспечивается водой, запасенной в баке. Вместимость бака стандартных водонапорных башен-колонн  $15 \dots 50 \text{ м}^3$  и более. При этом общая вместимость бака определяется как сумма трех объемов: регулирующего, запасного и «мертвого». «Мертвый» объем, как правило, невелик. В него входят отстойная часть бака и часть объема бака от его верхней кромки до максимального уровня воды (высотой примерно  $0,3 \text{ м}$ ).

Запасной объем должен хранить хозяйственно-производственный запас на случай перерыва в электроснабжении и, главное, пожарный запас воды, размеры которого определяются строительными нормами и правилами.

Регулирующий объем  $V_p$  ( $\text{м}^3$ ), подача насоса  $G_n$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) и текущее потребление воды  $G_p$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) определяют продолжительность работы насосного агрегата

$$T_p = \frac{V_p}{G_n - G_p}.$$

Продолжительность паузы

$$T_n = V_p / G_p.$$

Соответственно время цикла  $T_{\text{ц}} = T_p + T_n$  и число включений насоса в течение часа

$$n = \frac{1}{T_{\text{ц}}} = \frac{G_p}{V_p} \left( 1 + \frac{G_p}{G_n} \right).$$

Максимальное число включений будет при  $G_n = 2G_p$ :

$$n = 0,25(G_n / V_p).$$

Наибольшее число включений в течение суток

$$n_{\text{max}} = 24n = 6G_n / V_p.$$

По этой формуле определяют рабочий объем  $V_p$ , ограничивающий максимальное число включений насосного агрегата  $n_{\text{max}}$ :

$$V_p = 6G_n / n_{\text{max}}.$$

Рабочий объем бака при автоматическом управлении насосным агрегатом определяется расстоянием  $h$  между датчиками верхнего и нижнего уровней.

Таким образом, для того чтобы обеспечить число включений погружного насоса не более допустимого по техническим условиям, расстояние между датчиками верхнего и нижнего уровней (зона неоднозначности двухпозиционного регулятора) должно быть

$$n = 6G_n / (n_{\text{max}} F),$$

где  $F$  — площадь зеркала воды в баке,  $\text{м}^2$ .

Опыт эксплуатации погружных насосов свидетельствует о том, что  $n_{\text{max}}$  не должно превышать 50...70 (в зависимости от конструкции) с интервалом между включениями не менее 5 мин.

Схема башенной водонасосной станции с датчиком уровня воды изображена на рис. 8.21, а, б. Погружной электродвигатель 1 в монолите с многоступенчатым насосом 2 закреплен на водоподъемных трубах 3 и опущен в скважину 5. Трубы закреплены в плите 7, установленной в санитарно-техническом помещении 11. Скважины укреплены обсадными трубами диаметром 100...450 мм. Электродвигатели выполнены



сухими, полусухими или заполненными водой. Наиболее распространены электродвигатели, заполненные водой. Резинометаллические или пластиковые подшипники также смазываются водой. К электродвигателю подведен кабель 6, закрепленный на водоподъемных трубах хомутами 4. Всасывающая часть трубы снабжена сеткой, задерживающей крупные примеси, которые могут содержаться в воде.

Бак 12 башни выполнен сварным из листовой стали и установлен на кирпичной, железобетонной или металлической опоре. К баку подведен напорно-разводящий трубопровод 10. Конец напорной трубы доведен до верхнего уровня, а отвод воды из бака происходит через обратный клапан у нижнего уровня. Бак оборудован внешней 17 и внутренней 18 лестницами, люком 16, вентиляционным клапаном 15, датчиком уровня 14 и водосливной трубой 13, исключающей переполнение бака водой в случае неотключения насоса. На водопроводе установлены манометр 8 и задвижки 9.

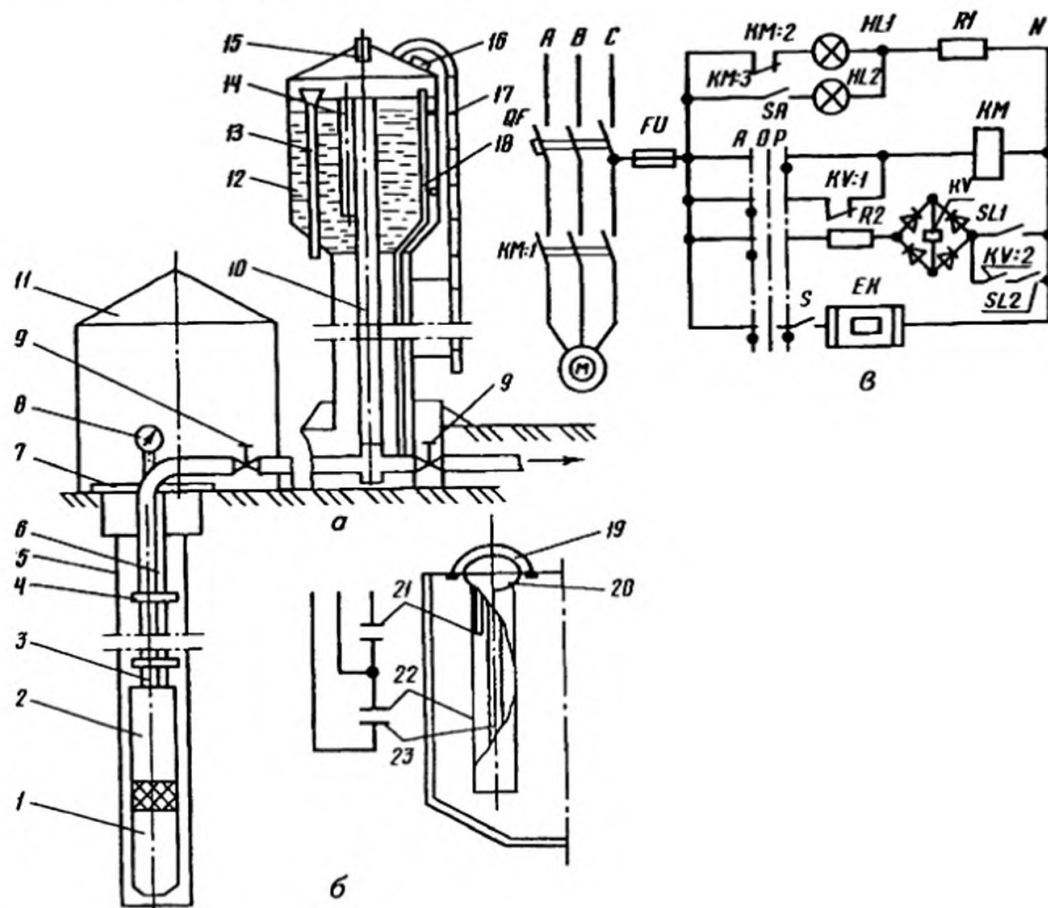


Рис. 8.21. Башенная водонасосная установка с погружным электродвигателем (а), схема датчика уровня воды (б) и принципиальная электрическая схема управления (в):

- 1 — погружной электродвигатель; 2 — многоступенчатый насос;  
3 — водоподъемные трубы; 4 — хомуты; 5 — скважина; 6 — кабель; 7 — плита;  
8 — манометр; 9 — задвижки; 10 — напорно-разводящий трубопровод;  
11 — санитарно-техническое помещение; 12 — бак; 13 — водосливная труба;  
14 — датчик уровня; 15 — вентиляционный клапан; 16 — люк;  
17 и 18 — внешняя и внутренняя лестницы; 19 — скоба; 20 — защитный корпус;  
21, 22 и 23 — электроды соответственно верхнего, нижнего и общего уровней

Электродный датчик уровня состоит из защитного корпуса 20, скобы 19 для крепления датчика в баке и трубчатых электродов: верхнего 21, нижнего 23 и общего 22 уровней. Внутри центрального электрода расположен нагревательный элемент, который включен в холодное время для исключения обмерзания электродов.

На рис. 8.21, в показана принципиальная электрическая схема управления типа ПЭТ башенной водонасосной установкой. 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 состояниях насоса.

Ручное включение электронасоса осуществляют переводом переключателя *SA* в положение *P*, а отключение — в положение *O*. Автоматический режим работы задают переводом переключателя в положение *A*. Если в баке воды нет, то контакты (электроды) датчика верхнего *SL1* и нижнего *SL2* уровней разомкнуты, следовательно, контакты реле *KV* в цепи катушки магнитного пускателя *KM* замкнуты. Магнитный пускатель срабатывает и включает электронасос *M*. По мере накопления воды в баке перекрываются водой сначала контакты *SL2* нижнего уровня, а затем *SL1* верхнего уровня. При этом реле *KV* получает питание через воду. Kontakтами *KV:1* оно разрывает цепь питания магнитного пускателя *KM*, и электронасос отключается. Реле *KV* остается включенным через контакты *KV:2*, *SL1* и *SL2*. Оно отключается 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 определяется по зеленой лампе *HL1*, а включенное — по красной *HL2*.

Защита двигателя осуществляется при помощи типовых расцепителей магнитного пускателя *KM* и автомата *QF*.

На холодный период года выключателем *S* включается электрообогреватель *EK* датчика, предотвращающий обледенение и промерзание электродов датчика уровня.

### **Автоматизация бесконтактных станций управления насосными агрегатами**

Бесконтактная станция управления типа ШЭТ выполнена на полупроводниковых логических элементах. По сравнению с контактными схемами бесконтактные станции дороже, но дорожание окупается увеличением срока службы и надежности работы как самой системы управления, так и электродвигателя насоса.

Принципиальная электрическая схема станции (рис. 8.22) работает следующим образом. Когда в водонапорном баке нет воды, то контакты верхнего *SL1* и нижнего *SL2* уровней разомкнуты. Вследствие этого на входах *Bx.5* и *Bx.6* сдвоенного логического элемента *ИЛИ* — *НЕ* сиг-

налы отсутствуют, а на его выходе сигналы появляются и через диоды VD8 и VD9 поступают на усилитель У, который усиливает входной сигнал, вызывая срабатывание промежуточного реле KV и загорание сигнальной лампы HL. Реле KV своими контактами включает магнитный пускатель KM, а последний — электронасос М. По мере заполнения бака водой вначале замыкаются контакты SL2 датчика нижнего уровня, а затем контакты SL1 верхнего уровня. При замыкании контактов SL2 на Вх.6 подается отрицательный потенциал, вследствие чего на диоде VD9 выходной сигнал исчезает, а на диоде VD8 остается. Благодаря этому насос не отключается. Когда вода замыкает контакты SL1 датчика верхнего уровня, на Вх.5 поступает сигнал и на диоде VD8 выходной сигнал исчезает. Вследствие этого лампа HL и реле KV отключаются, что вызывает выключение электронасоса.

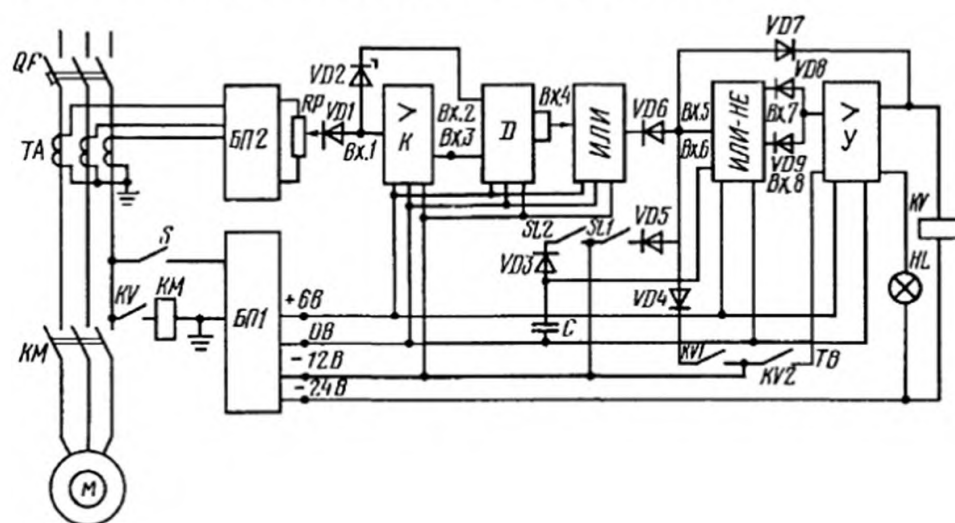


Рис. 8.22. Принципиальная электрическая схема управления водонасосной станцией типа ШЭТ

При расходе воды вначале размыкаются контакты SL1 верхнего уровня, но это не приводит к выключению электродвигателя, так как вместо выходного сигнала от датчика на вход Вх.5 через диод VD7 и реле KV подается отрицательный потенциал от источника: -24 В. При размыкании контактов SL2 нижнего уровня на Вх.6 сигнал исчезает, что вызывает автоматическое повторное включение электронасоса.

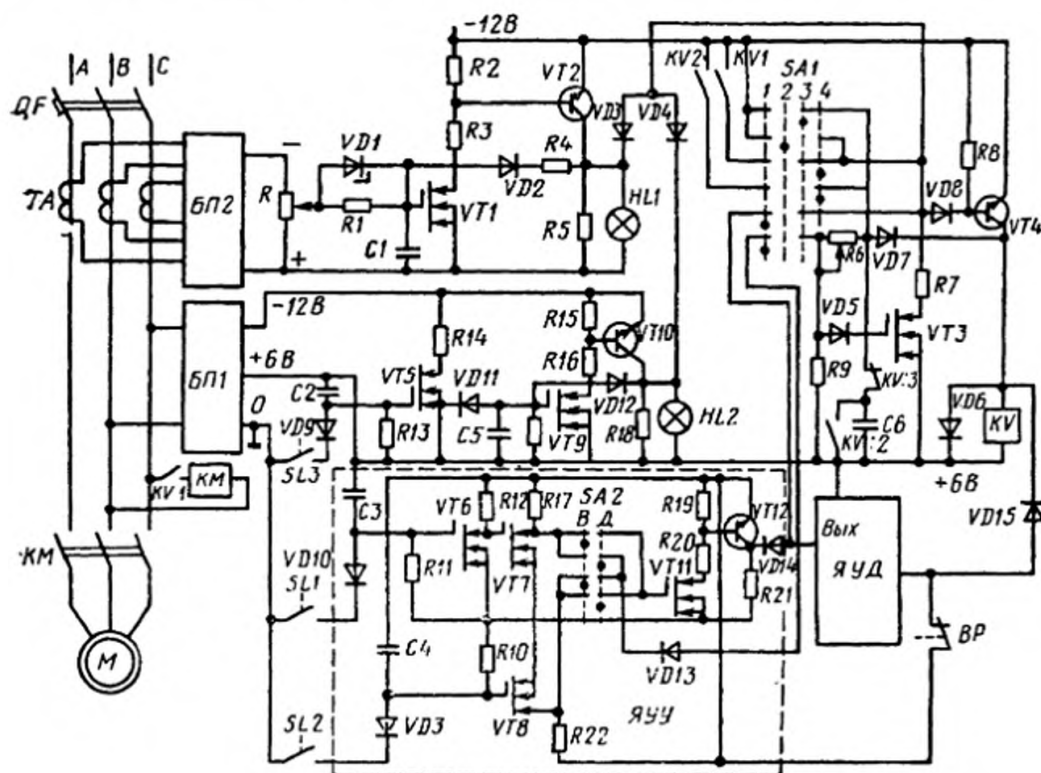
Бесконтактное реле Т-202, логические элементы Д, ИЛИ и блок питания БП2 защищают двигатель от перегрузок и от работы в аварийных режимах. Датчиком тока является трансформатор тока ТА, выпрямленный ток от которого поступает на потенциометр RP. Движком потенциометра RP устанавливают значение токов срабатывания защиты при перегрузках и коротких замыканиях электродвигателя. При токах перегрузки срабатывает бесконтактное реле Т-202, с которого поступает на вход Вх.3 сигнал, вызывающий срабатывание элемента выдержки времени Д. С элемента Д сигнал с выдержкой времени через элемент ИЛИ поступает на вход Вх.5 элемента ИЛИ — НЕ, что вызывает отключение

реле  $KV$  и электронасоса  $M$ . 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 на выходе  $Bx.7$ , 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 конечные станции для дистанционного включения или отключения насоса.

Логические элементы питаются от блока питания  $БП1$ , который подключается выключателем  $S$ .

Комплектное устройство «Каскад» предназначено для автоматического и дистанционного управления погружными электродвигателями мощностью 1...65 кВт водонасосных и дренажных станций. В устройстве предусмотрена защита электродвигателя от перегрузок, коротких замыканий и сухого хода, т. е. 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  $SL1$  (8.23) уровней воды в баке. Датчиком давления  $BP$  служит электроконтактный манометр, устанавливаемый в оголовке скважины на напорном трубопроводе. Цепи управления 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 *TO* (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 выключения насоса с резистора *R22* через диод *VD13* и резистор *R6* поступает на затвор транзистора *VT3*. Этот транзистор открывается с выдержкой времени (2...30 с), устанавливаемой цепочкой, и открывает триод *VT4*. В результате этого срабатывает реле *KY*, которое включает пускатель *KM* и электронасос *M*. Включение насоса 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 *KY* отключается и выключает электронасос *M*, который остается отключенным до тех пор, пока вода в баке не опустится ниже контактов *SL2*. Далее цикл повторяется.

При переключении *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*. 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, обеспечивающих задержку времени включения электронасоса не более 15 мин, с выхода *Вых* ячейки *ЯУД* поступает сигнал положительной полярности, который через диод *VD8* открывает триод *VT4*. Благодаря этому включается реле *KY*, пускатель *KM* и электронасос *M*.

При работе насоса 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 *КМ* и электронасос *М*. При снижении давления воды процесс повторяется.

Следует отметить, что схема ячейки *ЯУД* сложная, многоэлементная, имеет низкую надежность. Контактный манометр работает только на включение насоса, и отключение осуществляется от элемента выдержки времени. Кроме того, давление срабатывания реле *ВР* зависит от расхода и динамического напора воды. Поэтому сегодня в научных и проектных организациях разрабатываются более совершенные схемы управления электронасосом.

При местном дистанционном включении *SA1* переводят 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 *SA1* переводят 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 *М* отключаются.

Защита электродвигателя от перегрузки выполнена аналогично защите станции управления типа ШЭТ. При аварийных 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*, открывая его и триод *VT2*. В результате через диоды *VD3* и *VD8* отрицательный сигнал закрывает триод *VT4* и отключает электронасос *М*. 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 в виде датчика *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 *М*. Одновременно загорается лампа «Сухой ход». При появлении воды транзистор *VT5* открывается, а транзисторы ИГР и *VT10* остаются открытыми за счет обратной связи через диод *VD12*. Вследствие этого повторно включить насос можно только после выяснения и устранения причин его отключения.

## Автоматическое регулирование влажности почвы

Оросительные системы применяют для пополнения запасов воды в недостаточно увлажненной почве, где растения систематически испытывают недостаток в воде. Различают поверхностное орошение, дождевание и капельное орошение.

**Поверхностное орошение** — наиболее простой способ, использующий закрытые трубопроводы или открытые лотки. Вода распределяется через систему распределительных и поливных лотков, оборудованных гидравлическими регуляторами расхода.

**Дождевание** — распространенный способ орошения, эффективно повышающий влажность и снижающий температуру в надземном слое воздуха. Дождевальные системы хорошо поддаются механизации и автоматизации. Система управления дождеванием действует по заранее принятой программе, учитывающей особенности оросительной системы, или в составе замкнутых автоматических систем.

Схема стационарной системы дождевания с программным управлением показана на рис. 8.24. Система состоит из насосной станции 1, магистрального напорного трубопровода 4 и поливных трубопроводов 5 с установленными на них дождевальными аппаратами 6, каждый из которых подключен к трубопроводу через трехпозиционный гидроклапан. При подаче воды в напорный трубопровод открываются гидроклапаны дождевальных аппаратов первого ряда (ближайшие к напорному трубопроводу). Через заданное время программное устройство формирует кратковременный импульс снижения давления в напорном трубопроводе путем закрытия напорного клапана 3 и открытия перепускного клапана 2. Каждый такой импульс приводит к закрытию гидроклапанов действующего ряда дождевальных аппаратов и открытию следующего.

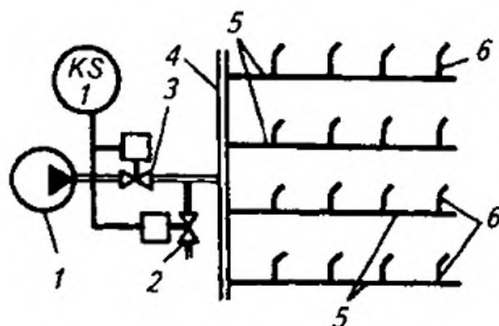


Рис. 8.24. Принципиальная схема автоматизации стационарной системы дождевания:

- 1 — насосная станция; 2 — перепускной клапан; 3 — напорный клапан;  
4 — магистральный напорный трубопровод; 5 — поливные трубопроводы;  
6 — дождевальные аппараты

Преимущество этой системы — отсутствие необходимости специальных каналов связи на орошаемой площади, недостаток — изменение нормы полива только от одного дождевального аппарата к другому в строгой последовательности.

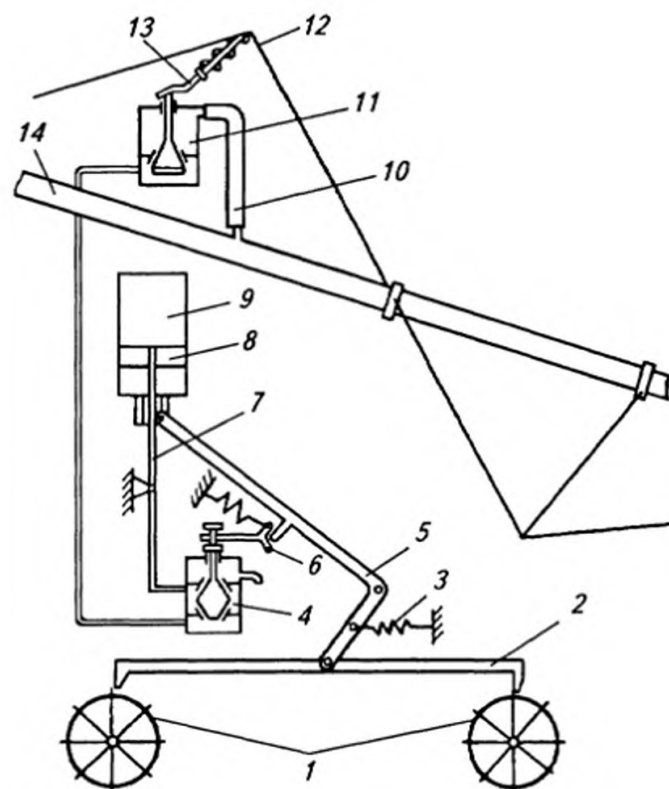


Рис. 8.25. **Схема гидропривода передвижной тележки дождевальной машины «Фрегат»**

1 — ходовые колеса; 2 — толкатель; 3 — возвратная пружина; 4 — клапан-распределитель; 5 — силовой рычаг; 6 — рычажный переключатель; 7 — пустотелый шток; 8 — поршень; 9 — цилиндр; 10 — гибкий шланг; 11 — регулирующий клапан; 12 — тяги; 13 — регулирующий стержень; 14 — трубопровод машины

Значительно более совершенны системы дождевания с широкозахватными дождевальными машинами типа «Фрегат», «Волжанка», ДМ и т. д.

«Фрегат» — самоходная дождевальная машина с гидравлическим приводом передвижения, представляющая собой водопроводящий трубопровод с дождевальными аппаратами, установленный на тележках. Тележки перемещаются по кругу вокруг неподвижной опоры, совмещенной с гидрантом для подачи воды в трубопровод. При этом каждая тележка имеет свой гидропривод, работающий за счет энергии воды, поступающей из трубопровода. Гидропривод (рис. 8.25) обеспечивает автоматическое управление передвижением и управление процессом дождевания.

Вода из водопроводящего трубопровода 14 через регулирующий клапан 11 поступает в распределительный клапан-распределитель 4. Если плунжер клапана-распределителя находится в верхнем положении, то вода по пустотелому штоку 7 поршня 8 поступает в цилиндр 9. Поскольку поршень закреплен на опоре машины неподвижно, а цилиндр способен передвигаться, то под давлением воды он движется вверх, поворачивая колеса 1 тележки на определенный угол через систему: силовой рычаг 5 — толкатель 2. В крайнем



верхнем положении цилиндра силовой рычаг переводит рычажный переключатель 6 и связанный с ним плунжер клапана-распределителя 4 в нижнее положение. В результате цилиндр отсекается от трубопровода, сообщается со сливом и под действием собственного веса опускается, а вода при этом сливается. Толкатель 2 перемещается вправо и входит в зацепление со следующими зацепами колес. В крайнем нижнем положении цилиндра рычажный переключатель 6 перемещает плунжер клапана-распределителя вниз и цикл повторяется. Для сохранения линейности трубопровода тележки, находящиеся на разном расстоянии от оси, должны двигаться с разной линейной скоростью.

При отставании тележки изгибается прилегающий к ней участок трубопровода, что приводит к натяжению тяги 12, связанной с регулирующим клапаном 11. Перемещение плунжера этого клапана вниз увеличивает подачу воды в цилиндр 9, уменьшает время его заполнения и увеличивает частоту ходов толкателя. В результате скорость тележки возрастает и трубопровод машины выравнивается. Аналогичным образом, но с уменьшением подачи воды замедляется ход тележки, если трубопровод изогнулся в противоположную сторону. Такой системой регулирования снабжены все тележки, кроме последней. Эта последняя тележка имеет на трубопроводе и цилиндре кран-задатчик, с помощью которого задается скорость движения тележки, а остальные тележки по описанной схеме синхронизируют с ней свое движение. Кран-задатчик может быть оборудован гидравлическим ИМ и тогда скорость машины может изменяться автоматически.

Равномерность увлажнения орошаемой площади обеспечивается соответствующей регулировкой дождевальных аппаратов (чем дальше от неподвижной опоры, тем выше производительность) и специальной программой полива, учитывающей рельеф, время суток и метеосостояние. Эту программу составляют на сутки. Она реализуется программным устройством с часовым механизмом и управляющим краном-задатчиком скорости.

Программная система не в состоянии компенсировать действие возмущений, носящих случайный характер. Норму полива автоматически корректирует следующая система. Орошаемый участок разбивают на ряд секторов, в начале каждого из которых устанавливают влагомеры. Сигналы от влагомеров суммируются, сравниваются с заданным значением параметра, и действующий по П-закону регулятор корректирует скорость перемещения машины по заданному сектору.

Технология дождевания требует уменьшения нормы в ночное время на 15...20 %. Соответствующая коррекция настройки задатчика скорости машин производится автоматически по сигналу от фотореле. Электрические элементы системы, за исключением влагомеров, имеющих автономные источники питания, питаются от аккумуляторов системы «Фрегат».

В случае питания нескольких машин от одного источника водоснабжения каждая из них должна быть оборудована регулятором давления прямого действия.

Широкозахватные дождевальные машины «Волжанка» и «Днепр» — это машины позиционного действия. В машине «Днепр» обеспечивается автоматическое выравнивание трубопровода во время передвижения, причем в качестве датчиков изгиба трубопровода используют конечные выключатели в цепи управления приводными двигателями.

**Капельное орошение** — самый экономичный способ увлажнения, при котором вода подается прямо в корнеобитаемый слой небольшими дозами, через специальные водовыпускные отверстия (капельницы), устанавливаемые через каждые 50...100 см на увлажняющих трубопроводах. Управление системой капельного орошения должно обеспечить нужную последовательность увлажнения отдельных участков и коррекцию нормы полива каждого из них. Первое требование выполняется за счет установки клапанов с электромагнитным приводом, управляемых программным устройством, второе требование — изменением напора в распределительных трубопроводах, а также дозированием времени работы отдельных секций поливаемого участка.

САУ капельным орошением показана на рис. 8.26. Программа, определяющая очередность и время орошения участков, вводится в блок 1 задания и отработки программы. Сигнал разрешения полива участка поступает на блок 2 элементов И и логический блок 3 сравнения, где сравниваются заданное и действительное значения влажности, измеряемые влагомерами 6. При дефиците влажности логический блок И вырабатывает команду управления соответствующим исполнительным механизмам 4.

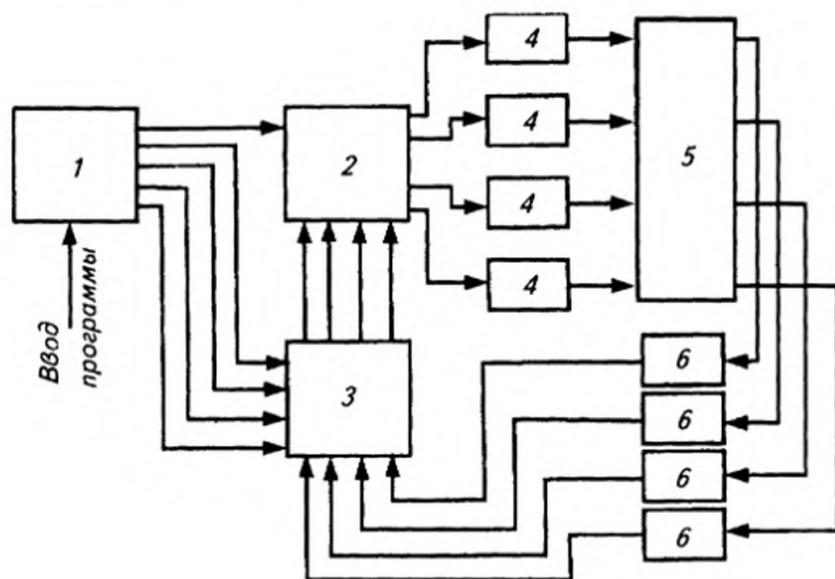


Рис. 8.26. Блок-схема управления капельным орошением:

1 — блок задания; 2 — блок элементов И; 3 — логический блок;  
4 — исполнительные механизмы; 5 — объект орошения; 6 — влагомеры

Известны системы автоматического управления капельным орошением, изменяющие давление в увлажнительных трубопроводах.

Определение сроков и норм полива при использовании систем орошения требует получения оперативной информации об усредненных значениях влагосодержания почвы на поливаемом участке. Соответствующую характеристику получают путем контроля влажности в ряде характерных точек с последующим преобразованием результатов измерений.

Усреднение влажности по глубине слоя почвы достигается выбором измерительного преобразователя, усреднение по площади — за счет контроля влажности в нескольких характерных точках поливаемого участка и последующего определения ее среднего арифметического значения.

## Тема 8.5

# ПРОВЕРКА И НАЛАДКА СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ЭНЕРГО- И ВОДОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Подготовку и эксплуатацию приборов, средств и систем автоматизации **тепловых пунктов** следует начинать одновременно с монтажными работами по установке этих средств согласно проекту. Общее наблюдение за ходом и качеством выполнения монтажных работ и их приемка должны быть поручены представителям службы эксплуатации теплоэнергетического предприятия. Такая совместная работа работников службы эксплуатации с монтажниками способствует повышению качества монтажных работ и сокращению объема пусконаладочных работ.

При наладочных работах и эксплуатации средств автоматического регулирования вместе с данными рекомендациями следует пользоваться заводскими инструкциями по монтажу и эксплуатации и СНиП 3.05.07—85.

Проведение наладочных работ на тепловых пунктах состоит из следующих этапов: анализа технической документации; определения характеристик установленного оборудования; стендовой проверки средств автоматического регулирования; наладки регуляторов; составления технического отчета.

Анализ технической документации на тепловой пункт и средства автоматизации проводят с целью ознакомления с температурными и гидравлическими параметрами объектов и всей системы теплоснабжения в целом, с принятой проектом схемой автоматизации, а также для оценки правильности выбора средств автоматизации. В процессе анализа уточняют задачи автоматического регулирования. Особое внимание следует обращать на соответствие проектной схемы автоматизации технологическим требованиям объекта.

Характеристики оборудования (насосов, водонагревателей и др.) определяют в процессе визуального обследования теплового пункта по табличкам, имеющимся на оборудовании, и сравнения с проектными данными. При несоответствии фактических и проектных данных составляют акт. Дальнейшие работы проводят только после согласования заказ-



чиком возникших разногласий с проектной организацией и получения от нее разрешения на продолжение работ. Кроме того, при обследовании теплового пункта определяют наличие, достаточность и правильность установки контрольно-измерительных приборов (КИП).

По результатам анализа технической документации и визуального обследования составляют заключение о возможности проведения наладочных работ. При необходимости намечают и выполняют мероприятия по доработке схемы автоматизации.

Стендовая проверка проводится для оценки работоспособности средств автоматизации и соответствия их характеристик и параметров паспортным и проектным данным. Если при проверке выявлены существенные недостатки в работе регулятора, то приборы бракуют и заменяют новыми. Для проведения стендовой проверки электронных и гидравлических регуляторов подразделения КИП и автоматики тепло-энергетических предприятий должны быть оснащены специальными стендами. Проверка осуществляется в соответствии с методиками, приведенными в заводских инструкциях по эксплуатации и наладке. Когда указанные стенды отсутствуют, авторы рекомендуют проводить проверку по сокращенной программе, при которой лишь оценивается общая работоспособность регуляторов без уточнения их характеристик. Последние оценивают при наладке регуляторов на объекте и в процессе их эксплуатации. Проверка по сокращенной программе требует меньших затрат времени и ресурсов и представляется целесообразной при массовой автоматизации тепловых пунктов.

Наладка регуляторов состоит в их статической и динамической настройке. Статическая настройка заключается в задании регулятору настроечных параметров для поддержания требуемых для данного потребителя отопительного графика (регулятору системы отопления), температуры горячей воды (регулятору системы горячего водоснабжения), давлений, перепада давлений, расхода (регуляторам гидравлических режимов).

Динамическая настройка заключается в задании регулятору параметров настройки для обеспечения оптимального переходного процесса в реальных условиях эксплуатации. Задание параметров статической и динамической настройки производится путем установки настроечных органов на панелях управления регуляторов в определенное положение по шкалам этих органов.

Порядок проведения наладки и эксплуатации ряда электронных автоматических регуляторов для наиболее применяемых систем отопления и горячего водоснабжения приведен ниже. При этом для каждого из рассматриваемых регуляторов представлены следующие данные:

перечень органов настройки и управления на панелях управления регулятора и общие виды панелей; принятые заводом-изготовителем обозначения указанных органов, диапазоны изменения значений параметров настройки в пределах шкалы настроечного органа;

порядок проведения стендовой проверки регуляторов отопления по сокращенной программе путем задания регулятору специального проверочного температурного графика. В помещении, где производится проверка, к регулятору подключаются датчики температур. Основная идея такой проверки заключается в том, что требуемый для оценки работоспособности прибора баланс его измерительной схемы устанавливается при температуре помещения, в котором находится регулятор с датчиками. Преимущество такой проверки — в отсутствии необходимости имитации датчиков температур магазинами сопротивления, что существенно упрощает задачу стендовой проверки;

порядок наладки регулятора отопления на объекте и его эксплуатации.

Статическая настройка — задание регулятору определенного отопительного графика — индивидуальна для каждого из рассмотренных регуляторов в силу различия их конструкций. Для большинства регуляторов отопительный график задается в виде прямой линии, касательной к теоретическому отопительному графику, для обеспечения наилучшего приближения. Наибольшую точность поддержания требуемого отопительного графика обеспечивает регулирующий прибор РС29.2.32(33), позволяющий реализовать график по линейному закону.

Динамическая же настройка в основном осуществляется одинаково для всех рассмотренных ниже регуляторов, которые являются пропорционально-интегральными (ПИ). ПИ-регуляторы имеют два настроечных параметра — коэффициент передачи (усилия)  $K_p$  и время изодрома  $T_{\text{и}}$ . Коэффициент передачи  $K_p = Y / \Delta X$ , где  $Y$  — изменение положения регулирующего органа, % полного его хода;  $\Delta X$  — отклонение регулируемого параметра, °С. Время изодрома (удвоения)  $T_{\text{и}}$  — время, в течение которого регулирующий орган переместится на такую же величину, как и от пропорционального воздействия.

В процессе наладки устанавливают значения этих настроечных параметров по данным их расчета или по опытным данным для аналогичных регуляторов, наносят импульсное возмущение, например путем изменения подачи теплоносителя или изменения задания регулируемого параметра  $u$ , и наблюдают по показывающему термометру переходный процесс изменения регулируемой температуры. Характер переходных процессов в системе автоматического регулирования с ПИ-регулятором при различных сочетаниях параметров динамической настройки  $K_p$  и  $T_{\text{и}}$  показан на рис. 8.27. Сравнивая характер наблюдаемого переходного процесса с процессами, приведенными на рис. 8.27, можно легко определить направление изменения параметров настройки  $K_p$  и  $T_{\text{и}}$ , а следовательно, добиться оптимального качества процесса регулирования.

По данным наблюдения переходного процесса целесообразно построить кривую разгона, по которой определить коэффициент усиления объекта регулирования  $K_{\text{об}}$ , время запаздывания  $T_{\text{зап}}$  и постоян-

ную времени объекта  $T_{об}$ . Тогда предварительно задаваемые регулятору значения настроечных параметров можно рассчитать по формулам

$$K_p = (0,7 \dots 1) T_{об} / (K_{об} T_{зап}); \quad (8.4)$$

$$T_{и} = (0,3 \dots 0,35) T_{об} + T_{зап}. \quad (8.5)$$

Окончательную настройку регулятора выполняют в соответствии с данными рис. 8.27.

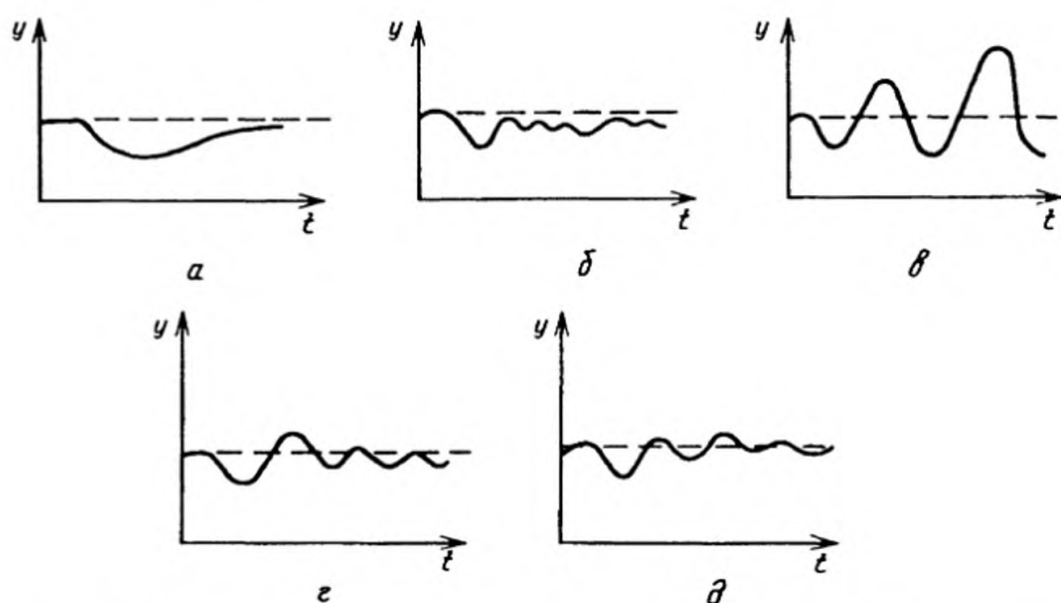


Рис. 8.27. **Переходные процессы в системе автоматического управления с ПИ-регулятором при импульсном возмущающем воздействии:**

*а* — при заниженном значении  $K_p$  и увеличенном  $T_{и}$ : процесс затянут, отклонение управляемого параметра велико; *б* — при заниженном значении  $K_p$  и уменьшенном  $T_{и}$ : процесс затянут при излишней колебательности; *в* — при завышенном значении  $K_p$  и уменьшенном  $T_{и}$ : процесс затянут, отклонение управляемого параметра большое; *г* — при слишком малом значении  $T_{и}$ : неустойчивость процесса; *д* — при оптимальных значениях  $K_p$  и  $T_{и}$ : небольшое отклонение управляемого параметра при минимальной продолжительности переходного процесса

Следует отметить, что регуляторы некоторых типов, например «Электроника-Р1М», имеют фиксированные (неизменяемые) параметры динамической настройки и поэтому наладка их состоит лишь в статической настройке.

Кроме рассмотренных выше параметров настройки, в процессе наладки регулятора устанавливают требуемые значения следующих параметров: зоны нечувствительности, определяющей точность регулирования; постоянной времени демпфирования регулируемого параметра, уменьшающей частоту и число включений исполнительного механизма; длительность включения исполнительного механизма, устраняющая возможность автоколебательного процесса при подходе регулируемого параметра к заданному значению. Значения этих пара-



метров согласовывают с инструкциями заводов-изготовителей регуляторов.

Надежность и высокую эффективность работы **насосных станций** можно обеспечить только при соблюдении следующих условий:

высоком качестве проекта и строительно-монтажных работ; наиболее полном удовлетворении требований строительной системы по количеству и качеству подаваемой воды, а также способности работать в режимах, исключающих перерасход электроэнергии и производительных сбросов (наиболее жесткие требования в этом отношении предъявляют к насосным станциям закрытых систем и многоступенчатых каскадов);

хорошо отлаженных управлении и производстве работ по эксплуатации насосных станций оросительных систем.

Оперативный или дежурный персонал должен обеспечить бесперебойную работу насосных станций в соответствии с плановыми графиками водоподачи, командами дежурных диспетчеров оросительных систем или иного должностного лица, в ведении которых находится насосная станция. Кроме того, оперативный персонал должен контролировать работоспособность оборудования и сооружений и при необходимости устранять неполадки своими силами или с помощью специализированных ремонтных бригад.

В процессе эксплуатации насосных станций можно выделить четыре основные фазы.

1. По окончании монтажа оборудования должны быть выполнены пусконаладочные работы. Эти работы начинаются с проверки точности установки оборудования и вспомогательных систем, надежности затяжки болтов фланцевых соединений и фундаментов, зазоров между рабочими колесами насосов и неподвижными деталями корпусов, равенства углов поворота лопастей рабочих колес осевых насосов, качества монтажа подшипников, соосности насосов и двигателей, наличия масла в ваннах подшипников и системе регулирования.

По окончании подготовительных работ следует приступить к пробному пуску агрегата. Для этого нужно сначала включить вспомогательные системы: вакуум-систему, систему технического водоснабжения при необходимости смазки уплотнений и охлаждения подшипников, систему регулирования при наличии в основных агрегатах гидропривода, а затем агрегат. Продолжительность первого пробного пуска обычно составляет несколько секунд. После остановки агрегата его следует тщательно осмотреть и устранить обнаруженные неполадки. Затем осуществить пуск агрегата (обкаточные испытания), в процессе которого определить уровни и температуру масла в ваннах подшипников, проверить работу сальников, нагрев обмоток электродвигателя, уровень вибрации агрегата и иногда строительных конструкций. Продолжительность обкаточных испытаний может составлять два-три часа. Пробный пуск и обкаточные испытания агрегатов малой и средней мощности можно совмещать.



После отключения, вторичного осмотра и устранения замеченных неполадок агрегат можно включить под рабочую нагрузку, во время которой еще раз проверяют температуру подшипников и обмоток электродвигателя, контролируют расход охлаждающей воды, определяют параметры агрегата (подачу воды при различных напорах, мощность, коэффициент полезного действия, уровень вибрации, отсутствие кавитации). Под рабочей нагрузкой агрегат должен находиться 8...15 ч. После остановки и повторного осмотра его можно предъявлять приемной комиссии и службе эксплуатации для последнего контрольного испытания. В процессе контрольного испытания проверяют комплектность оборудования, соответствие его рабочих показателей заводским и проектным параметрам. Продолжительность испытаний обычно превышает 20 ч для агрегатов малой и средней мощности и 12 ч — для крупных.

2. Основные работы по эксплуатации насосных станций должен выполнять оперативный персонал с учетом инструкций по эксплуатации насосной станции заводов-изготовителей оборудования и Правил техники безопасности. Обязанности оперативного персонала во многом зависят от назначения и степени автоматизации насосной станции. Так, персонал автоматических насосных станций, как правило, не должен постоянно находиться на станции. Его задача — периодически осматривать сооружения и оборудование. На оросительных насосных станциях, подающих воду из канала в канал, присутствие оперативного персонала обязательно, так как он должен по команде диспетчера включать (выключать) основные агрегаты, контролировать работу оборудования, механизмов и сооружений, своевременно устранять неполадки.

Контроль за состоянием сооружений включает в себя: осмотр состояния облицовок, определение фильтрации воды через земляные сооружения и деформационные швы, осадка и перемещений сооружений, уровня вибрации строительных конструкций, перепада уровней воды на сороудерживающих решетках и сетках; фиксирование перемещений отмелей и деформации берегов в зонах водозаборных сооружений.

Резервные агрегаты можно ремонтировать только с разрешения диспетчера. Дежурный персонал на резервных агрегатах может только очищать коллекторы и контрольные кольца, доливать масло в ванны, смазывать механизмы.

В процессе нормальной работы насосной станции с помощью приборов наблюдают за нагрузкой агрегатов, температурой подшипников и обмоток электродвигателя, исправностью вспомогательных систем, за уровнем вибрации.

Для тщательной проверки гидромеханического и электротехнического оборудования, КИП и средств автоматики необходимо выполнять профилактические осмотры. В процессе осмотра должно быть проверено состояние шеек валов, подшипников, коллектора, контактных колец и щеток, всех рам и аппаратуры автоматики, высоковольтного

оборудования, компенсаторов и клапанов срыва вакуума, системы регулирования и запорной аппаратуры.

3. Основные ремонтные работы на насосных станциях выполняют в осенне-зимний период по окончании полива. К этому времени составляют дефектные ведомости по сооружениям и оборудованию, подлежащим ремонту; завозят материалы и запасные детали; определяют стоимость работ и сроки их выполнения. После капитального ремонта оборудования необходимо выполнить весь комплекс пусконаладочных работ, описанный выше.

4. По окончании полива и ремонтных работ сооружения и оборудование насосных станций должны быть подготовлены к зимней консервации. Следует спустить воду из корпусов насосов, трубопроводов и других емкостей. В зданиях насосных станций, в которые может поступать вода или где установлено оборудование, сохранность которого гарантирована только при плюсовой температуре, следует предусмотреть отопление. КИП, электро- и гидромеханическое оборудование при необходимости укрывают чехлами и покрывают специальной смазкой согласно требованиям заводов-изготовителей.



**Раздел 9**  
**АВТОМАТИЗАЦИЯ**  
**УСТАНОВОК**  
**ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО**  
**ОБЛУЧЕНИЯ И ОБОГРЕВА**

---

---





## **Тема 9.1**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВОК ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ**

### **Технологические основы облучения растений в парниках и теплицах**

Искусственное облучение в сооружениях защищенного грунта применяют при выращивании рассады и в селекционных целях. При этом решаются следующие задачи: выгонка ранней рассады овощей весной; продление светового дня при выращивании овощей с использованием солнечного излучения; выращивание зеленых кормовых трав для животных; выгонка овощных растений для получения большой зеленой массы в стебле (луковичные); выращивание овощей при полном отсутствии солнечного излучения; выращивание цветочных культур и управление сроками их цветения в осенне-зимне-весенний период года.

В научных целях широко применяют специальные сооружения и устройства для проведения исследований в области селекции, физиологии, генетики, при испытаниях сортов растений в экстремальных условиях микроклимата и т. д. Эти устройства позволяют в несколько раз ускорить экспериментальные работы в области растениеводства, особенно в селекции, и значительно сократить сроки внедрения результатов. На рис. 9.1 представлены спектральные характеристики источников излучения, применяемых в теплицах. Из спектральных характеристик очевидно, что даже для конструктивно идентичных облучательных установок, выполненных на базе, например, люминесцентных ламп, при одинаковой их удельной мощности и прочих равных условиях только вследствие их различной единичной мощности и спектрального состава волн разность уровней фитооблученности растений может достигать 50...80 %. Влияние многих других факторов, например расстояния от источников излучения до растений, может приводить к увеличению разности уровней фитооблученности в 3 раза и более при одинаковой удельной мощности. Это означает, что расход электрической энергии для обеспечения заданных условий облучения растений в действующих и проектируемых установках может во столько же раз превосходить минимально необходимый.

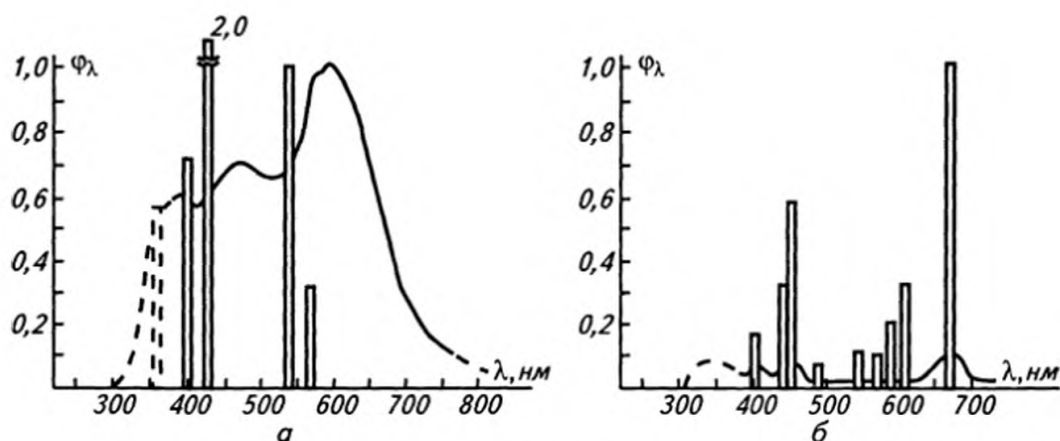


Рис. 9.1. Спектральная плотность излучения:  
а — лампы ЛФ-40-2; б — лампы ДРФ-1000

При сравнительной оценке и окончательном выборе типа источника излучения недостаточно знать его КПД полного излучения и фитоотдачу. Следует также учитывать полезный срок службы, стоимость источника, эксплуатационные расходы и другие показатели.

Большое внимание необходимо уделять эксплуатационным характеристикам источника, имея в виду специфические условия работы его в теплицах: высокую влажность и температуру, возможные значительные отклонения напряжения от номинального значения, возможность попадания влаги на колбы при поливе растений и вероятность поражения электрическим током обслуживающего персонала.

Для создания требуемых уровней облучения растений требуется значительная мощность источников: 400 Вт/м<sup>2</sup> и более. Такими мощностями осветительные установки не обладают.

Применяемые конструкции облучательных установок разнообразны по исполнению и типу используемых источников излучения. Принципиально в облучательных установках можно использовать любой из типов источников, излучение которого находится в пределах 300...750 нм. Однако эффективность источников излучения различная. Кроме того, их эксплуатационные свойства применительно к специфическим условиям рабочей среды в теплицах могут по-разному влиять на надежность работы.

Используемые в овощеводстве облучательные установки по конструктивным признакам можно разделить на стационарные, передвижные и мобильные. Стационарные установки применяют, как правило, с газоразрядными источниками излучения сравнительно большой единичной мощности. Такие установки требуют наименьших затрат на обслуживание, и поэтому технический персонал предпочтение отдает им. Однако такие установки требуют очень больших установленных мощностей, чем при использовании передвижных установок. Стационарные установки, выполненные на базе специальных газоразрядных ламп низкого давления, более эффективны, но при этом вместо одной лампы, например мощностью 1000 Вт, следует установ-

ливать 20...30 ламп низкого давления, что затрудняет эксплуатацию установок.

Передвижные установки позволяют при прочих равных условиях не менее чем в два раза уменьшить установленную мощность для облучения растений на одинаковой площади при том же расходе электроэнергии, потому что одна установка поочередно может работать на двух и более участках, облучая растения в разные периоды суток. Конструкции таких установок несколько сложнее стационарных, поскольку требуют устройства для передвижения их с одного участка на другой. В передвижных облучательных установках можно применять газоразрядные лампы как низкого, так и высокого давления. При использовании этих установок удастся значительно улучшить условия облучения за счет более равномерного распределения излучения по поверхности растений. Наряду с установками, движущимися возвратно-поступательно, разработаны установки, перемещающиеся по окружности (карусельные) и потребляющие энергию повышенной частоты. Повышение частоты приводит к облегчению балластных устройств для газоразрядных ламп низкого и высокого давления, а также к увеличению эффективной отдачи источников оптимального излучения.

Назначение облучательных установок и особенности их работы в теплицах определяют ряд специальных требований к их конструкциям:

- спектральный состав энергии излучения должен быть благоприятным для осуществления процесса фотосинтеза и не содержать излучений, подавляющих развитие растений;

- облученность должна равномерно распределяться по поверхности растений и быть достаточной для протекания основных процессов в растениях;

- установка не должна перегревать растения и препятствовать уходу за ними;

- устройство и эксплуатация облучательной установки должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к электрическим устройствам, работающим в особо опасных помещениях (из-за вероятности поражения электрическим током обслуживающего персонала).

## **Агротехнические нормы облучения рассады растений**

Для роста, развития и урожайности тепличных культур решающее значение имеют интенсивность и спектральный состав света, а также продолжительность светового дня. Солнечное излучение является, как известно, основным источником энергии для растений, а оптимизация фотосинтеза путем регулирования микроклимата — важнейшей задачей в тепличном овощеводстве. Чем больше будет количество поступающей солнечной энергии, тем относительно выше должны быть температура воздуха и концентрация в нем  $\text{CO}_2$ , но до определенного уровня.



С повышением температуры расход ассимилятов на дыхание может превысить их приход от фотосинтеза. По этой причине, например, наблюдается опадение завязей томата при ранних посадках, коротком дне и повышенной ночной температуре.

Для жизнедеятельности растений особенно необходимы фотосинтетически активное излучение — часть оптического излучения с длиной волн 380...710 нм, обеспечивающая фотосинтез растений. Физиологически активное излучение (300...800 нм) содержит также длинные ультрафиолетовые и короткие инфракрасные лучи. Они способствуют процессам роста и развития растений: фотосинтезу, передвижению веществ в растении, фотопериодической реакции, движению пластид.

Спектральный состав света существенно влияет на рост и развитие растений. Красное (720...620 нм) и оранжевое (620...595 нм) излучения — основной вид энергии для фотосинтеза: оно задерживает переход к цветению. Синие и фиолетовые лучи (490...380 нм) участвуют в фотосинтезе, стимулируют образование белков, морфогенез и переход к цветению растений короткого дня, замедляя развитие растений длинного дня. Длинные ультрафиолетовые лучи (315...380 нм) задерживают вытягивание стебля, повышают содержание некоторых витаминов, а средние ультрафиолетовые (280...315 нм) повышают холодостойкость растений, способствуют процессу их закалывания. Желтые (595...565 нм) и зеленые (565...490 нм) лучи минимально физиологически активны.

Требовательность к освещенности тепличных культур различна. У одной и той же культуры она может изменяться в зависимости от способа выращивания (посев семян, рассадный способ или способы, основанные на использовании запаса пластических материалов, — выгонку, доращивание и др.; табл. 9.1).

Слабая освещенность может вызвать вытягивание и последующее искривление стебля растения, что вызывает полегание рассады, высаженной в поле. При густом стеблестое вследствие высокой концентрации ростовых веществ происходит быстрый рост стебля. При запаздывании с расстановкой рассады стебель вытягивается. После расстановки освещение стебля улучшается, ростовые вещества разлагаются и вытягивание прекращается. Если освещать стебель с одной стороны, то верхушка растения наклоняется в ту же сторону вследствие распада ростовых веществ на освещаемой стороне.

Недостаточная освещенность приводит к снижению урожая и задержке его формирования, уменьшению содержания сахаров и витаминов, ухудшению товарных качеств.

Для рационального использования естественного света в теплицах подбирают оптимальные площади питания, способы формирования растений, применяют шпалерный способ культуры. Световые условия в культивационных сооружениях меняются в зависимости от периода года, конструкции сооружения, погодных условий и особенностей фитоценоза. Поступающее количество световой энергии летом примерно

в 10 раз больше, чем зимой, тогда как продолжительность солнечного излучения увеличивается только в 2...3 раза. В связи с этим становится ясно, что понятие «солнечный день» зимой и летом неоднозначное: зимой в теплицу поступает 240 Дж/см<sup>2</sup> в сутки, летом 2400 Дж/см<sup>2</sup>. В разных почвенно-климатических зонах, в периоды недостаточной освещенности, применяют методы выращивания, основанные на использовании растениями запаса пластических веществ, или применяют электродосвечивание.

#### 9.1. Агротехническая группировка овощных культур по требовательности к свету с учетом выращивания в защищенном грунте

Группа	Культура, способ выращивания	Минимальная освещенность, тыс. лк	Минимальная продолжительность освещения, ч/сут
1	Все культуры при выращивании их посевным и рассадным методом	5...6	8...10
2	Все овощные культуры при выращивании их методом доращивания, выгонки (кроме растений 3-й группы); вешенка	0,5...2	5...6
3	Шампиньон Салатный цикорий, ревень, отбеленная спаржа при выгонке Салат ромэн, лук-порей, цветная капуста (при средней массе 1 растения 0,8...1 кг), брюссельская капуста при доращивании	Без света	

На интенсивность освещения влияют погодные условия. При сплошной облачности к поверхности земли поступает не более 20 % световой энергии. Изменяется и спектральный состав солнечного излучения: утром, вечером и зимой (преобладают красные и инфракрасные лучи), летом (ультрафиолетовые и синие). В ясные солнечные дни летом доля рассеянного света менее 20 %, а зимой может быть 75 % и более.

Очень большое значение имеет светопроницаемость и чистота кровли. Принято считать, что увеличение освещенности теплицы на 1 % означает повышение урожайности тоже на 1 %. Загрязнение стекла может снизить урожайность на 50 % и более.

Снег и конденсационная вода также приводят к значительным потерям света. В зимний период особенно сильно снижает освещенность наледь на кровле теплицы, для ликвидации которой включают обогрев шатра.

Светопроницаемость стекла или полимерного покрытия кровли имеет первостепенное значение в световом режиме теплицы. Освещенность снижается затеняющим действием конструктивных элементов и отопительных труб. Белая окраска труб и элементов конструкции теплиц улучшает освещенность в теплице. Однако солнечного излуче-

ния иногда может оказаться в избытке, вследствие чего слишком повысится температура. Тогда в качестве крайней меры стекла покрывают меловой суспензией. Это примерно на 50 % ослабляет освещенность без изменения спектрального состава. В теплицах, имеющих систему дождевания кровли, можно быстро создать затенение и также быстро его устранить при изменении погоды. При слишком длительном затенении можно получить отрицательный эффект.

Территория СНГ по естественной освещенности разделена на восемь световых зон, исходя из притока фотосинтетически активного излучения за декабрь и январь в теплицы. Для каждой зоны разработаны основные технологические сроки и севообороты для выращивания овощных культур в теплицах.

В северных и центральных районах естественная освещенность в зимние месяцы недостаточная и возникает необходимость применения искусственного дополнительного облучения. Различают два способа применения электрического света при выращивании растений: в качестве дополнительного к естественному (электродосвечивание) и в качестве единственного источника света (электросветокультура). Каждый из этих способов может быть применен при выращивании рассады и взрослых растений.

Наиболее экономически эффективным является досвечивание рассады, поскольку в этом случае процесс продолжается короткий период (25...40 дней) и облучению подвергается большое количество растений (25...100), размещенных на единице площади. Электродосвечивание рассады позволяет ускорить получение продукции на 20...25 дней и повысить урожай на 20...25 %. Окупаемость дополнительных затрат на электрооборудование составляет один-два года. Затраты электроэнергии в третьей световой зоне на растение огурца составляют примерно 5 кВт · ч, а на одно растение томата — 8 кВт · ч.

При появлении первых всходов пленку с рассады снимают и включают систему электродосвечивания, которая активизирует рост и развитие растений. Рациональное использование мощности системы облучения достигается перемещением ламп и дифференциацией режима досвечивания в зависимости от возраста рассады. В фазе сеянцев и начале роста пикированной рассады, когда растения занимают небольшую площадь, следует устанавливать высокую удельную мощность, размещая все облучатели в два ряда только над грядой с рассадой. Перед расстановкой рассады по всей площади секции облучатели рассредоточивают, т. е. их размещают не в два, а в четыре ряда, при этом удельная мощность снижается. Параметры размещения облучателей даны в табл. 9.2.

Интенсивность электродосвечивания после расстановки рассады целесообразно снижать, так как необходимо подготовить растения к переходу от облучения в рассадном отделении к полному отсутствию такового после высадки в теплицу. Установлено, что рассада томата, выращенная при повышенном уровне досвечивания, будучи высажена в условия слабой освещенности, формирует растения, у которых плохо

завязываются плоды на первых кистях. Рекомендуемый режим досвечивания рассады указан в табл. 9.3.

**9.2. Высота подвески и расстояние между облучателями ОТ-400 в зависимости от уровня освещенности**

Освещенность, лк	Удельная мощность, Вт/м <sup>2</sup>	Облучаемая площадь, м <sup>2</sup>	Высота подвески, м	Расстояние между облучателями при квадратном размещении, м
1000	33	12,25	2	3,50
1500	51	7,83	1,60	2,80
2000	69	5,76	1,36	2,40
3000	105	3,80	1,25	1,95
4000	156	2,56	1,10	1,60
5000	193	2,07	1	1,44
6000	230	1,74	0,90	1,32
8000	350	1,74	0,86	1,07

**9.3. Режим электродосвечивания при выращивании рассады огурца и томата**

Фаза развития растений	Продолжительность досвечивания рассады			
	огурец		томат	
	количество часов в день	дней	количество часов в день	дней
Всходы	24	2...3	24	2...3
Сеянцы	—	—	16	10...12
Рассада:				
до расстановки	16	10...12	16	10...15
после расстановки	14	10...12	14	20...25

Для поздних весенних сроков посева и осенних культур электродосвечивание рассады не применяют.

Выращивание растений только при искусственном освещении не экономично. Однако этот способ используют при выращивании овощных культур в районах Заполярья в специальных теплицах, оборудованных облучателями, устройствами для создания оптимального микроклимата и автоматикой.

Известно, что при полном искусственном освещении продолжительность выращивания огурца после высадки рассады составляет 60...70 дней, томата — 70...100 дней, длительность облучения в сутки — соответственно 12...14 ч (для огурца) и 14...16 ч (для томата), удельная мощность ламп — соответственно 600...700 и 800...900 Вт/м<sup>2</sup>.



## Автоматизация облучательных установок

В качестве источников искусственного облучения чаще всего используют ртутные ДРЛФ-400Е, ДРЛФ-400И и ксеноновые ДКСТЛ лампы, спектр излучения которых близок к солнечному. Отечественная промышленность серийно выпускает тепличные облучатели ОТ-400 и ОТА-520 с лампами ДРЛФ-400. В комплект последних входят также три люминесцентные лампы мощностью до 40 Вт каждая.

Системы досвечивания включаются от фотореле или реле времени. При этом суммарную продолжительность светового дня устанавливают 14...18 ч. Особенность управления этими системами — строгая последовательность (поочередность) включения отдельных групп ламп, позволяющая избежать ударных нагрузок на источник электропитания.

Ксеноновые лампы ДКСТЛ мощностью 10 кВт используют в комплектных системах СОРТ-1-10. Эти системы включает оператор, а розжиг лампы обеспечивает специальное устройство (рис. 9.2). Это устройство содержит зарядный трансформатор  $T1$ , разрядник, батарею конденсаторов  $C1$ ,  $C2$  и трансформатор  $T2$ , в течение 5...15 с вырабатывающий импульсы напряжением 25 кВ в моменты пробоя воздушного промежутка разрядника. Эксплуатация такого устройства требует выполнения ряда условий, в том числе защиты растений от мощного инфракрасного излучения лампы, минимального удаления ламп от щита управления и др.

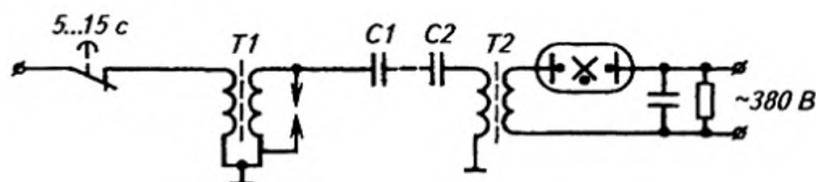


Рис. 9.2. Схема устройства для розжига ксеноновых ламп

## Тема 9.2

# АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВОК УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ

### Биологические основы ультрафиолетового облучения в животноводстве и птицеводстве

Ультрафиолетовое излучение существенно влияет на жизнедеятельность живых организмов. Биологическое действие ультрафиолетового излучения на организм сельскохозяйственных животных проявляется через фотохимические реакции в кожных покровах, слизистых оболочках и органах зрения, а также через воздействие озона, оксидов азота и аэроионов, возникающих при ультрафиолетовом облучении.

Под воздействием ультрафиолетового излучения в коже животных образуется витамин *D*, активно участвующий в регулировании обмена веществ. При недостатке витамина *D* нарушается минеральный, белковый и углеводно-жировой обмен, вследствие чего возникают такие заболевания, как ацидоз, осмеомалиция, рахит и др. При этом задерживаются рост и развитие молодняка, учащаются заболевания, снижается продуктивность взрослых животных и птицы.

Кроме витамина *D*, в коже образуются и другие биологически активные вещества, которые током крови распространяются по всему организму и оказывают благотворное влияние на большинство протекающих в нем процессов. Под влиянием ультрафиолетового излучения улучшается усвояемость кормов, увеличивается продуктивность, усиливается воспроизводительная функция, приплод появляется на свет более жизнеспособным и устойчивым к заболеваниям.

Поздней осенью и зимой в северных районах нашей страны количество естественного ультрафиолетового излучения, достигающего поверхности земли, сокращается в десятки раз по сравнению с весенне-летним периодом. Естественное ультрафиолетовое излучение в помещениях вовсе отсутствует, поэтому животные и птицы, содержащиеся в них, испытывают острую ультрафиолетовую недостаточность.

Существуют различные способы восполнения недостатка витамина *D* у животных и птиц: добавление в кормовой рацион витаминных подкормок — способ широко распространенный, но весьма дорогостоящий; ультрафиолетовое облучение кормов с целью обогащения

их витамином *D*; ультрафиолетовое облучение непосредственно животных и птиц. Экономическая целесообразность и эффективность искусственного ультрафиолетового облучения животных и птиц доказана многочисленными исследованиями и подтверждена практическим опытом сельскохозяйственных предприятий.

Ультрафиолетовое облучение цыплят, утят, индеек и кур заменяет кормовые источники витамина *D* и часто оказывается эффективней благодаря лучшей сохраняемости птиц, увеличению на 10...15 % яичной продуктивности кур-несушек, повышению на 4...11 % приростов массы цыплят-бройлеров и мясных утят. Облучение яиц перед инкубацией повышает выводимость на 5...10 %. Известно множество примеров эффективного использования ультрафиолетового излучения в овце-, кролико-, звероводстве и т. д.

Ультрафиолетовое облучение сельскохозяйственных животных нужно проводить на фоне удовлетворительных условий содержания и кормления при неукоснительном соблюдении рекомендуемых доз (табл. 9.4).

#### 9.4. Рекомендуемые суточные дозы ультрафиолетового облучения сельскохозяйственных животных и птицы

Вид и возраст животных, птицы	Доза облучения' мэр · ч/м <sup>2</sup>
Телята до 6 мес.	120...140
Телята старше 6 мес.	160...180
Телки, нетели	180...210
Коровы, быки	270...290
Поросята-сосуны	20...25
Поросята-отъемыши	60...80
Поросята на откорме и свиноматки	80...90
Овцематки	245...260
Ягнята с трехдневного возраста до отбивки	220...240
Цыплята:	
содержание на полу	15...20
в клетках с решетчатыми передними стенками (с учетом затеняющего действия клеток)	20...25
в клетках со штампованными передними стенками	40...50
Куры-несушки, при содержании на полу	20...25
Куры-несушки, при содержании в клетках (с учетом затеняющего действия решетчатых стенок клеток)	40...50

Доза облучения — это рекомендованное на основании биологических исследований количество облучения, воздействие которого на объект вызывает требуемый эффект. Количество эритемного облу-

чения  $A_3$  равно произведению эритемной облученности  $E_3$  на продолжительность облучения  $t$ :

$$A_3 = E_3 t.$$

Как очевидно из этой формулы, одну и ту же дозу облучения можно получить при множестве сочетаний облученности с продолжительностью облучения. При облучении живых организмов с целью повышения их продуктивности более предпочтительно сочетать малую облученность с большой продолжительностью времени облучения, не превышающей, однако, продолжительности светового дня.

### **Автоматическое управление ультрафиолетовым облучением**

Дозирование ультрафиолетового излучения при стационарной установке ведется по времени ее работы при известном значении облученности на расчетной поверхности. Во избежание переоблучения животных на расчетной поверхности должны быть соблюдены оптимальные параметры облучения.

Совместное действие на объект облучения видимого и ультрафиолетового излучений вызывает эффект, превосходящий сумму эффектов от их раздельного воздействия. Осуществить комбинированное облучение сельскохозяйственных животных и птиц можно при помощи различных средств облучения. Например, облучение животных и освещение помещений можно выполнять при помощи отдельных облучательной и осветительной установок. Облучательная установка в этом случае может быть стационарной с эритемными люминесцентными лампами или подвижной с дуговыми ртутно-кварцевыми лампами. Можно применять и переносные облучатели типа ОРК или ОРКШ с лампами ДРТ-400. Наряду с облучательной установкой в помещении должна быть смонтирована и осветительная установка на базе люминесцентных ламп. Обе установки должны иметь раздельные сети питания и управления, раздельные облучатели, светильники и конструкции их крепления.

Облучение животных и освещение помещений можно выполнять при помощи осветительно-облучательной установки на базе двухламповых светильников-облучателей, в которых установлены эритемная и осветительная люминесцентные лампы. Примером такого облучателя может служить выпускаемый промышленностью облучатель ОЭСП-02 с лампами ЛБР-40 и ЛЭР-40. Такая осветительно-облучательная установка имеет малую металлоемкость. Во многих странах ее использование экономически оправдано, но затраты на монтаж все же высоки из-за значительной протяженности электрической цепи.

Осветительно-облучательная установка может быть создана на базе эритемно-осветительных ламп (ЛЭО-15, ЛЭО-15П, ДРВ7Д 220-160), излучение которых содержит как видимое, так и ультрафиолетовое



излучение с длиной волны более 280 нм. Указанные лампы обеспечивают на протяжении работы установки ультрафиолетовое облучение животных и освещение помещения. Установки отличаются низкой металлоемкостью, небольшими расходами на эксплуатацию, на монтаж облучателей и проводки. Недостатки установки обусловлены невысокой надежностью зажигания и работы газоразрядных ламп низкого давления при пониженных температурах, повышенной влажности и в условиях агрессивной окружающей среды. Дуговые ртутно-вольфрамовые лампы лишены этих недостатков, но малый срок службы и высокая стоимость препятствуют их широкому использованию в облучательных установках сельскохозяйственного назначения.

Режимы ультрафиолетового облучения животных и птиц зависят от рекомендуемых доз облучения и типа используемых облучателей. Продолжительность такого облучения может составлять 3...5 мин для инкубационных яиц или вылупившихся цыплят и 5...6 ч для взрослых животных. В любом случае следует регистрировать полученную объектом экспозицию, и чем чувствительнее биологический объект, тем точнее должно быть дозирование ультрафиолетового облучения.

Простейший и наиболее распространенный прибор автоматического программного управления ультрафиолетовыми установками — двухпрограммное моторное реле времени 2РВМ. Подзаводка пружины его часового механизма осуществляется электрическим приводом автоматически. Диск имеет две программы, рассчитанные на 24 ч каждая. Интервалы включения и отключения нагрузки могут быть заданы с точностью  $\pm 15$  мин для одной программы и  $\pm 20$  мин для другой.

Для более точного управления ультрафиолетовым облучением целесообразно использовать установку ПРУС-2. Эта установка может реализовывать любую программу изменения продолжительности ультрафиолетового облучения для различных видов животных и птиц. Основным элементом установки — часовой механизм *КТ* (рис. 9.3), подобный примененному в реле 2РВМ. Программа задается механически при помощи косоусеченного цилиндра. Считывается она через рычаги-копиры двумя микровыключателями *SQ1* и *SQ2*, которые через магнитные пускатели *KM1* и *KM2* включают или отключают ультрафиолетовые лампы. Копирный механизм обеспечивает срабатывание микровыключателей с интервалом 2...5 мин.

Наивысшая точность дозирования ультрафиолетового излучения достигается при использовании облучательных установок в составе системы автоматического управления. Функциональная схема такой САУ показана на рис. 9.4.

Облучательная установка *ОУ* включается коммутирующим устройством *КУ* по команде программного реле времени *ПРВ*. Количество облучения измеряется счетчиком излучения *СИ* при помощи измерительного приемника *П* и усилителя-преобразователя *УЛ*. Сравнивающее устройство (компаратор) постоянно сравнивает показания счетчика с сигналом задатчика *З* дозы облучения. При совпадении количества

облучения с наперед заданной дозой компаратор подает на коммутирующее устройство команду о выключении облучательной установки.

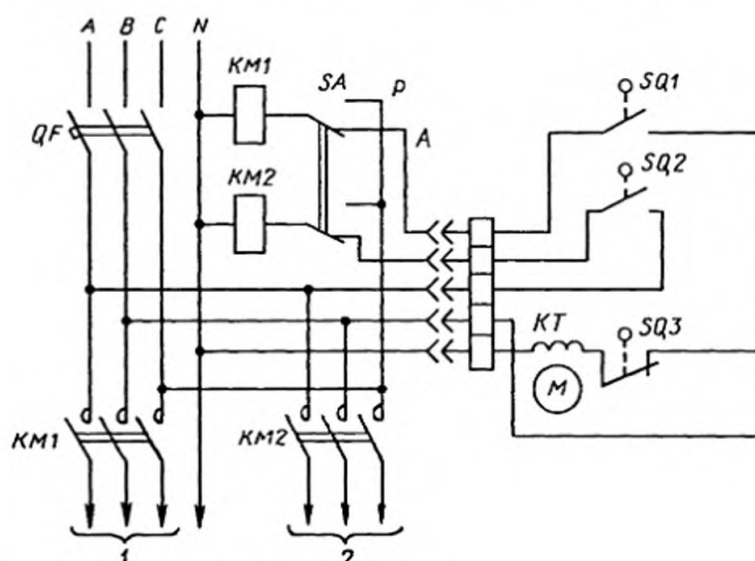


Рис. 9.3. Принципиальная электрическая схема установки ПРУС-2

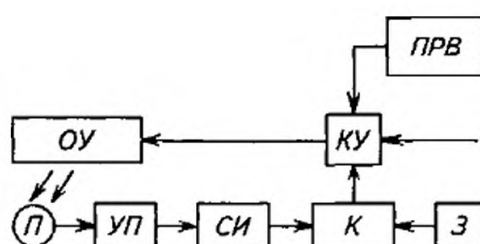


Рис. 9.4. Функциональная схема САУ дозированием ультрафиолетового облучения

Поскольку измерительная часть САУ определяет реально полученное объектом количество облучения, отклонение потока излучения источников от ожидаемого значения компенсируется соответствующим изменением продолжительности облучения объекта.

## **Тема 9.3**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВОК ИНФРАКРАСНОГО ОБОГРЕВА**

### **Технологические основы инфракрасного обогрева**

Инфракрасное излучение используют в сельскохозяйственном производстве для обогрева молодняка животных и птицы, сушки овощей и фруктов, для предпосевной обработки семенного материала зерновых и овощных культур, дезинсекции и во многих других технологических процессах.

Инфракрасное излучение так же, как и видимое, и ультрафиолетовое позволяет передавать энергию при отсутствии непосредственного контакта между источником и приемником.

Передача энергии имеет ряд преимуществ перед конвекцией или теплопроводностью. Поток инфракрасного излучения имеет направленное распространение и может быть сконцентрирован на приемнике излучения. Применяя различные типы источников и формы отражателей инфракрасного излучения, можно создавать локализованное облучение или обеспечивать требуемую равномерность распределения облучения по облучаемой поверхности.

Инфракрасное излучение многими веществами поглощается избирательно. Воздухом инфракрасное излучение почти не поглощается, а коэффициент его поглощения водой весьма высок.

Электрические источники инфракрасного излучения обладают высоким коэффициентом полезного действия, малыми инерционностью, металлоемкостью и массой при значительных единичных мощностях, легко поддаются регулированию и управлению при помощи средств автоматизации.

На большей части территории России холодный осенне-зимний период, длящийся 5...8 мес, характеризуется пониженными температурами и является наиболее трудным для содержания сельскохозяйственных животных.

Молодняк животных и птиц в первые дни после рождения имеет весьма несовершенный механизм терморегулирования. Низкая температура, высокая влажность воздуха отрицательно сказываются на развитии и росте молодняка, ведут к нарушению обмена веществ, простуд-

ным заболеваниям, расстройству пищеварения и к гибели животных. Требуемый тепловой режим в животноводческих помещениях может быть обеспечен системой общего обогрева или комбинированной системой общего и локального обогрева.

Система обогрева, предназначенная для поддержания необходимых температур во всем животноводческом помещении, требует значительных затрат энергии. Поэтому целесообразна комбинированная система, при которой температура воздуха повышается лишь в ограниченной зоне содержания молодняка животных. Для обеспечения локального обогрева используют электрообогреваемые полы, электронагревательные коврики, маты, панели и другие нагревательные установки. В сельском хозяйстве широко применяют обогрев молодняка источниками инфракрасного излучения.

Поток инфракрасного излучения, достигая тела животного, частично отражается, но остальная его часть поглощается кожей и подкожной тканью, создавая тепловой эффект. В облучаемых участках кожи количество крови увеличивается в 10...15 раз, через 1...2 мин появляется тепловая эритема.

Поглощение инфракрасного излучения живым организмом — достаточно сложный биологический процесс, в котором участвует весь организм животного. Действуя на нервную систему организма через тепловые рецепторы кожи, излучение улучшает функции желез, кроветворных органов и кровоснабжение тканей тела. Однако длительное непрерывное термическое разрежение и чрезмерная эритема кожи оказывают отрицательное воздействие на организм животного. Прерывистый же режим облучения, чередование воздействия высоких и низких температур подвергают нервную и сосудистую системы своеобразному тренингу, способствующему закаливанию организма.

Таким образом, инфракрасное излучение в отличие от других средств местного обогрева не только оказывает на животных согревающее действие, но и усиливает биологические процессы в их организме, а следовательно, улучшает состояние, развитие, прирост массы и сохранность животных. Наиболее благоприятные условия для содержания молодняка животных позволяет создавать сочетание безынерционных инфракрасных облучательных установок с аккумулирующими теплоту обогреваемыми полами, электронагревательными ковриками, матами, панелями, препятствующими потерям теплоты через пол.

Помимо благотворного влияния на организм животных и птиц, известны другие положительные эффекты от воздействия инфракрасного излучения на сельскохозяйственные объекты. Например, дозированное воздействие инфракрасного излучения на семена положительно влияет на их посевные качества. При облучении семян яровой пшеницы температура их поверхности за 10...30 с повышается до 25...45 °С, что не только не снижает качество зерна,



но и увеличивает урожай. В установке для инфракрасного облучения семян последние перемещаются по лотку под лампами накаливания. За 40...60 с пребывания семян в машине они нагреваются до 48...55 °С. Обработкой зерна в установке достигают несколько целей: зерно подсушивается, подвергается дезинсекции, проходит предпосевную обработку, повышающую всхожесть, качество растений и урожай. Дезинсекцирующее действие инфракрасного излучения основано на его селективном воздействии на живые организмы, в зависимости от содержания в них влаги. Типовая установка для инфракрасной обработки семян характеризуется мощностью 16 кВт, производительностью 500 кг/л и удельным расходом электроэнергии 25...40 кВт · ч/т.

Для дезинсекции мешкотары создан передвижной дезинсектор. Дезинсектор состоит из двух плоских вертикальных инфракрасных излучателей, между которыми бесконечной цепью с крюками перемещаются мешки. В течение 70 с ткань нагревается до 100 °С и находящиеся на ней насекомые гибнут. Мощность установки 12,6 кВт, производительность 600 мешков за час, удельный расход энергии 1 кВт · ч на пять мешков.

Большинство зрелых плодов, овощей и ягод отличается от незрелых своей окраской, поврежденные плоды — окраской и формой. На данных признаках основан принцип действия фотосортировальных машин. В этих машинах сортировка плодов осуществляется по результатам анализа соотношения инфракрасных потоков пропускания, поглощения и отражения. Например, машина для сортировки томатов определяет степень их зрелости на основании сопоставления коэффициентов отражения от их поверхности излучений с длинами волн 55, 640 и 660 нм. Машина разделяет томаты на пять фракций в момент движения их через фотометрическое устройство со скоростью 0,12 м/с. По команде электронного устройства толкатели сбрасывают плоды в одну из пяти приемных емкостей.

Инфракрасное излучение применяют также при пастеризации молока. Инфракрасная пастеризация обладает существенными преимуществами перед традиционными способами в теплообменных аппаратах. При воздействии инфракрасного излучения за 3...4 с уничтожается 99,8...99,9 % бактерий, после чего молоко может храниться при температуре 5 °С в течение 8...10 сут. При этом отмечается сохранение естественного вкуса, быстрота обработки и сокращение удельных затрат на пастеризацию в 1,5...2 раза.

При ремонте сельскохозяйственной техники и электродвигателей одним из перспективных направлений в использовании инфракрасного излучения считают сушку лакокрасочных покрытий. Для сушки обмоток статоров электродвигателей без их демонтажа с фундамента целесообразно использовать инфракрасные лампы, имеющие малые размеры при относительно большой единичной мощности.

## Автоматическое управление инфракрасным обогревом

В облучательных установках используют инфракрасные облучатели ССПО1-250, ОРИ-1, ОРИ-2, ОВИ-1, размещаемые над станками с животными. Облучатели укрепляют при помощи подвесок на трубах или тросах, предназначенных для прокладки проводов электрической сети установки.

Электробрудер БП-1 применяют для обогрева 500...600 цыплят при содержании их на полу. Брудер представляет собой конструкцию в виде полой шестигранной усеченной металлической пирамиды — корпуса 7 (рис. 9.5, а) с упорами 8 переменной высоты для установки на полу и тросовой подвеской 4 для крепления брудера к потолку помещения. Под зонтом брудера смонтированы четыре «темных» излучателя 3 — ТЭНы мощностью 250 Вт каждый. Принципиальная электрическая схема брудера БП-1 показана на рис. 9.5, б. Излучатели  $R1...R4$  собраны в мостовую схему, в измерительную диагональ которой включена сигнальная лампа  $HL2$ , зажигающаяся при перегорании одного из ТЭНов.

Температура под зонтом брудера поддерживается на заданном уровне с точностью  $2...3\text{ }^{\circ}\text{C}$  с помощью температурного реле, выполненного на базе сильфона с легковоспламеняющейся жидкостью. При повышении температуры жидкость в сильфоне испаряется, объем сильфона увеличивается, и последний, воздействуя на микровыключатель  $SQ1$ , выключает излучатели. При снижении температуры происходит обратный процесс, в результате которого излучатели включаются. Под зонтом брудера установлена лампа освещения  $HL1$ , которая во время установки температурного режима может включаться переключателем  $S$  параллельно ТЭНам и использоваться как лампа сигнализации включения и отключения инфракрасных излучателей.

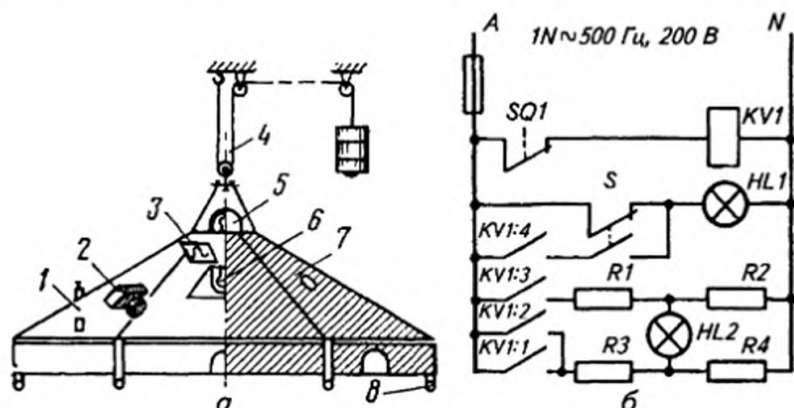


Рис. 9.5. Устройство (а) и принципиальная электрическая схема (б) брудера БП-1:

- 1 — контрольный термометр; 2 — терморегулятор; 3 — ИК-излучатель;  
4 — тросовая подвеска с противовесом; 5 — сигнальная лампа перегорания ТЭНов; 6 — лампа освещения; 7 — корпус; 8 — упоры

Автоматизированные установки ИКУФ-1 и «Луч» предназначены для одновременного инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения молодняка сельскохозяйственных животных. В состав одной уста-

новки входят 40 облучателей и пульт управления. Каждый облучатель содержит две инфракрасные 1 (рис. 9.6) и одну эритемную 2 лампы (или эритемно-осветительную лампу) с пускорегулирующим устройством 3. Облучатель установки ИКУФ-1М сходен по конструкции с облучателем ИКУФ-1, но имеет герметичное исполнение и не содержит переключателей для управления инфракрасными и ультрафиолетовыми лампами.

Облучательная установка «Луч» (рис. 9.7) имеет две эритемные лампы 1 и инфракрасную лампу 2. Они могут быть установлены под различными углами к вертикали для получения требуемого распределения инфракрасной облученности по облучаемой поверхности.

Мощность каждого облучателя автоматизированных установок составляет 520 Вт. Принципиальная электрическая схема установки «Луч» показана на рис. 9.8.

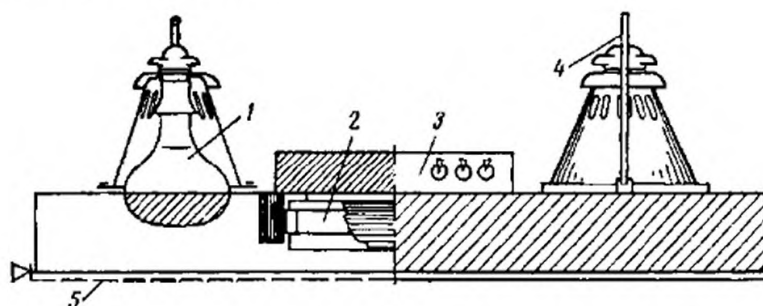


Рис. 9.6. Конструкция облучательной установки ИКУФ-1:

1 — ИК-лампа; 2 — эритемная лампа; 3 — кожух ПРА с переключателями;  
4 — подвеска; 5 — защитная решетка

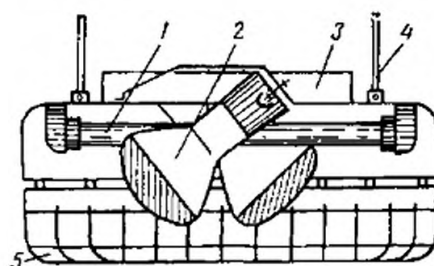


Рис. 9.7. Конструкция облучателя установки «Луч»:

1 — эритемная лампа; 2 — ИК-лампа; 3 — кожух ПРА; 4 — подвеска;  
5 — защитная решетка

Силовая часть схемы (рис. 9.8, а) содержит рубильник  $S1$  включения установки, автоматические выключатели  $QF1$ ,  $QF3$  и магнитные пускатели  $KM1$ ,  $KM3$  для включения инфракрасных ламп двух групп облучателей, автоматические выключатели  $QF2$ ,  $QF4$  и магнитные пускатели  $KM2$ ,  $KM4$  для включения автотрансформаторов  $T1$ ,  $T2$  для питания эритемных ламп двух групп облучателей. В ручном режиме работы группы облучателей управляются вручную кнопками  $SB1...SB6$ , в автоматическом — двухпрограммным реле времени  $KT1$  (рис. 9.8, б). Одна программа используется для управления инфракрасными источниками, другая — ультрафиолетовыми. При помощи автоматических

выключателей любая группа источников инфракрасного или ультрафиолетового излучения может быть исключена.

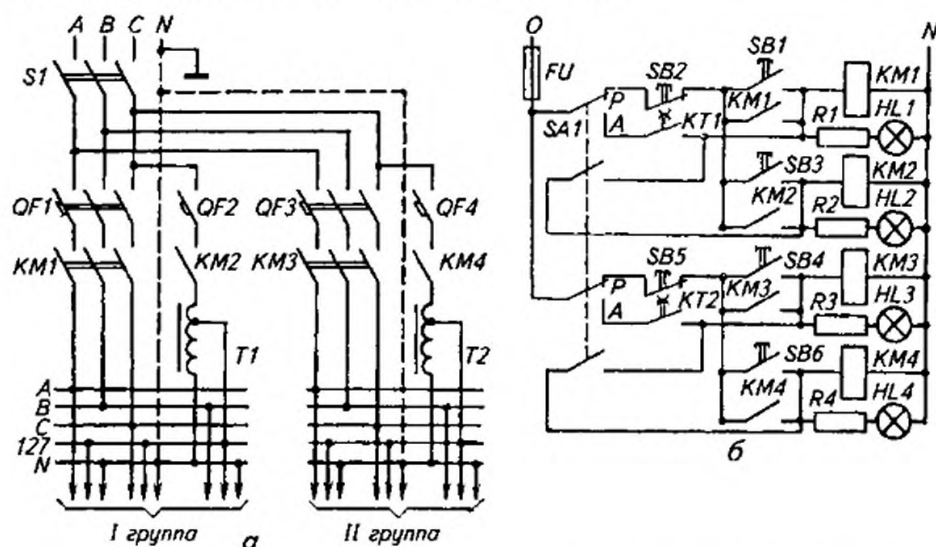


Рис. 9.8. Силовая схема (а) и схема управления (б) облучательной установкой

Кроме перечисленной аппаратуры схема управления установкой «Луч» содержит регулятор для изменения напряжения питания инфракрасных источников напряжения.

Шкафы управления всех установок уплотнены с целью защиты аппаратуры от пыли и влаги.

## Особенности эксплуатации облучательных установок

Несоблюдение правил эксплуатации облучательных установок снижает эффективность их работы, создает опасность поражения электрическим током людей и животных. Тепловые явления, возникающие при аварийных режимах в электрических установках, могут вызвать опасный разрыв отдельных ее частей и привести к пожару или взрыву.

При приемке облучательных установок в эксплуатацию проверяют: фактическую облученность, обеспечиваемую установкой; соответствие проектной документации марок проводов, площади их поперечного сечения и способа прокладки, а также типов (марок) защитных элементов; схемы соединения проводов и распределение нагрузок по фазам; надежность крепления изолирующих опор, аппаратуры, деталей, конструкций; соответствие нормам сопротивления изоляции проводки.

Основная задача эксплуатации облучательных установок — обеспечить эффективность их работы, содержать в исправности все элементы установок. Для обеспечения заданного уровня облучения необходимо следить за напряжением в сети и состоянием облучателей. При слишком больших отклонениях или колебаниях напряжения необходимо выяснить причину этого и устранить ее. Важное значение имеет своевременная чистка облучателей, так как из-за пыли их КПД и, следовательно, излучение могут снизиться в 1,5...2 раза и более. Частота



чисток облучательных приборов зависит от условий окружающей среды: в помещениях с большим содержанием пыли, копоти — четыре раза в месяц; в помещениях с малой загрязненностью — два раза в месяц.

Состояние изоляции следует проверять не реже одного раза в два года, а для помещений с тяжелыми условиями среды — не реже одного раза в год. Сопротивление изоляции проводов измеряют на участке между двумя смежными предохранителями или за последним предохранителем при включенных выключателях, вынутых плавких вставках и вывернутых лампах. Значение сопротивления изоляции должно быть не менее 0,5 МОм.

Для работы облучательных установок составляют график-расписание режима облучения. При отклонении напряжения сети более чем на 5 % в режим облучения должны быть внесены соответствующие поправки для обеспечения заданной дозы облучения. Облученность, создаваемую источниками ультрафиолетового излучения, нужно периодически проверять уфиметром. По мере старения ламп нужно соответственно увеличивать длительность облучения. При снижении облученности в результате старения ламп более чем на 30 % их следует заменить новыми. Возвратно-поступательное движение облучателей в установках для ультрафиолетового облучения должно происходить автоматически. При остановке облучателей напряжение должно автоматически отключаться.

Лица, обслуживающие облучательные установки, должны иметь квалификацию по технике безопасности не ниже III группы и периодически в Установленном порядке проходить проверку соответствующих знаний. При работе с действующими источниками ультрафиолетового излучения (особенно типа ДРТ и ДБ) персоналу необходимо надевать очки из дымчатого или толстого бесцветного стекла и избегать облучения незащищенных частей тела. Помещения, в которых работают источники ультрафиолетового излучения, следует проветривать для удаления озона и оксидов азота.

Особое внимание с точки зрения обеспечения безопасности персонала необходимо обращать на работу облучательных установок в теплице. Все теплицы относятся к категории особо опасных помещений. Во время ухода за растениями персонал может касаться элементов конструкций облучательных установок, расположенных в непосредственной близости, что при неудовлетворительном состоянии изоляции может привести к поражению электрическим током. Существует и другая опасность: при поливе растений случайные брызги воды могут приводить к разрушению раскаленных до высокой температуры колб ламп ДРЛ и им подобных. Эксплуатация в теплицах облучательных установок, содержащих несколько тысяч газоразрядных ламп, требует достаточных знаний и опыта.

**Раздел 10**  
**АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕМОНТА**  
**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ**  
**ТЕХНИКИ**

---

---

# **Глава 10.1**

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДИАГНОСТИКИ, МОЙКИ, РАЗБОРКИ И СБОРКИ АГРЕГАТОВ**

### **Технологические основы диагностики сельскохозяйственной техники**

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 усложняются задачи по повышению качества обслуживания и сокращению сроков ремонта машин и агрегатов. Решение этих задач обеспечивается широкой автоматизацией производственных процессов.

Технологические процессы ремонта сельскохозяйственной техники характеризуются большим разнообразием применяемого оборудования. При этом особое значение приобретает автоматизация диагностики, с помощью которой определяют годность агрегата, причину выхода машины из строя, необходимость и объем ремонта.

Сельскохозяйственные предприятия, ремонтные мастерские и специализированные фирмы технического сервиса непрерывно развивают свою ремонтную базу, оснащают ее все более современным оборудованием и приборами, а при капитальном ремонте сельскохозяйственной техники переходят на поточные линии. Следует отметить, что суммарные затраты на поддержание тракторов и другой сельскохозяйственной техники в работоспособном состоянии за срок эксплуатации в 2...3 раза превышает первоначальную стоимость этих машин. В то же время, не имея приборов для диагностики техники и высококвалифицированных кадров, механизаторы до 30...40 % машин направляют в ремонт преждевременно. Следовательно, с целью сокращения затрат на обслуживание и ремонт сельскохозяйственной техники необходимо широко использовать средства диагностики.

Обычно применяемая техническая диагностика позволяет изучать и устанавливать признаки неисправностей составных частей машин, разрабатывать методы и средства определения технического состояния объектов диагностирования.

Внедрение технической диагностики 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 основанную разборку агрегатов, ускорить ремонт, снизить до 30 % трудоемкость обслуживания и ремонта, повысить мощность, экономичность и надежность техники. Благодаря своевременной диагностике и обслуживанию на 20 % сокращается число ремонтов и на 20...30 % потребность в запасных частях. Постоянно совершенствуются методы и технические средства диагностики, разрабатываются электронные приборы и автоматические системы технической диагностики сельскохозяйственной техники.

Диагностирование состоит из трех основных этапов: получение информации о техническом состоянии объекта; обработка и анализ полученной информации: выявление причины неисправности и принятие решения о ее устранении. На основе проведенной диагностики устанавливают 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 с целью 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 позволяет использовать в диагностике положения теории вероятности, что значительно повысит точность определения причины неисправности.

При субъективном методе диагностирования обслуживающий персонал выявляет неисправности по внешнему осмотру, ощупыванию, прослушиванию, остукиванию деталей и т. д. Однако оценка технического состояния часто получается неточной и не соответствует требованиям, предъявляемым к технической диагностике. Только опытный мастер-диагност может правильно оценить состояние отдельных частей машины.

Приборный метод диагностирования бывает прямым и косвенным. 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, нутромеров, щупов, масштабной линейки, рулетки, штангельциркуля, угломеров, зубомеров, калибраторов, тахометров и т. п. Широко используют также приборы измерения



температуры, усилий, давления, крутящих моментов, расхода жидкостей и газов, ускорений и вибраций, состава отработавших газов, жидкостей и других величин.

При косвенном диагностировании техническое состояние деталей и узлов оценивают по косвенным параметрам, например, зазор сопряжения поршень — зеркало цилиндра двигателя определяют по количеству газов, прорывающихся в картер.

Для прямых методов диагностирования требуются простые измерительные приборы, но трудоемкость процесса высокая и требуется разработка агрегатов. Косвенные методы характеризуются большой информативностью, не требуют разборки агрегатов, но при этом возникает потребность в сложных и дорогих приборах.

Для оценки технического состояния сельскохозяйственной техники создано много диагностических приборов и установок, при помощи которых удастся 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. 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 %).

В процессе диагностирования используют большой набор технических средств. В сельскохозяйственном производстве широко применяют безразборную диагностику и прогнозирование остаточного ресурса сборочных единиц при помощи контрольно-измерительных приборов (КИП). Ими измеряют крутящий момент и мощность двигателя, силу тяги и тормозные усилия на колесах, подачу и давление масляных насосов, давление в смазочной системе, загрязненность фильтров гидросистемы, давление впрыска, качество распыления топлива форсунками, давление сжатия в цилиндрах двигателя и момент подачи в них топлива.

Наиболее распространены следующие методы приборного диагностирования состояния рабочих органов и машин: по структурным параметрам; по изменениям параметров рабочего процесса; спектрофотометрический; акустические.

*Диагностирование по структурным параметрам* 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 иногда требует разборки агрегатов, механизмов и характеризуется невысокой точностью диагностики работоспособности машин в целом.

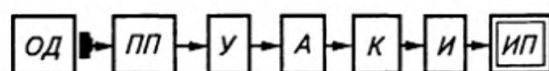
*Диагностирование по изменениям параметров рабочего процесса* эффективно при обследовании двигателей внутреннего сгорания. К этим параметрам относятся температура нагрева масла в смазочной системе и отработавших газов и воздуха в коллекторе, амплитуды пульсаций давления топлива в топливной аппаратуре, результаты анализа содержания отработавших газов. Метод диагностики по изменениям параметров рабочего процесса характеризуется малой трудоемкостью, но имеет низкую точность.

Рассмотренные методы выполняются при постоянном участии оператора-диагноста. В автоматических системах функция оператора сводится к включению системы в начале проверки и отключению ее в конце диагностики. Автоматические системы диагностики используют спектрофотометрические и виброакустические методы контроля с набором электронных приборов.

*Спектрофотометрический метод диагностирования* 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 с помощью 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 связи с этим спектрофотометрическое диагностирование рекомендуется в качестве предварительной экспресс-оценки технического состояния машины. Окончательно причину неисправности определяют более точными методами.

При *акустических методах диагностирования* регистрируют амплитуду и характер акустических сигналов (шумов и вибраций). Амплитуду и частоту шумов и вибраций измеряют по мере износа деталей и увеличения зазоров между сопряженными поверхностями. Задача виброакустической системы диагностики заключается в выделении сигнала, порождаемого возникшим дефектом, из многочисленных акустических помех, соответствующих нормальной работе агрегата. Для этого используют приборы спектрального анализа, позволяющие выявлять причину, частоту и мощность вибраций, возникших из-за определенных дефектов.



**Рис. 10.1. Функциональная схема акустической системы диагностики:**

ОД — объект диагностики; ПП — первичный преобразователь акустических колебаний; У — усилитель; А — анализатор; К — квадратор; И — интегратор; ИП — измерительный прибор

Для осуществления акустических методов на объекте диагностики ОД устанавливают первичный преобразователь акустических колебаний *ПП* (рис. 10.1), с которого электрический сигнал подается на усилитель *У*, а затем на анализатор *А*. 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 входе дает значение мощности (квадрат напряжения), а интегратор осредняет мощность вибраций исследуемого диапазона за определенный промежуток времени. Значение мощности регистрирует измерительный прибор *ИП*. Метод акустической диагностики большинства узлов и агрегатов в сельскохозяйственной технике пока находится в стадии разработки.

### **Автоматизация технологических процессов мойки, разборки и сборки агрегатов**

При ремонте техники значительную долю общей трудоемкости работ занимают процессы очистки и мойки. Наружные части машин и снятые агрегаты моют холодной или горячей водой. Первичную мойку сельскохозяйственных машин проводят на открытых площадках с использованием обычных шлангов и центробежных насосов, развивающих давление 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. Наиболее распространенные 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.

Повысить качество моечно-очистительных работ и одновременно снизить их трудоемкость можно только с применением средств автоматизации. Ремонтные предприятия оборудуют моечным конвейером с щеточными установками для обмыва и очистки, а также оборудованием для обдува вымытых машин. Мойка и обдув происходят следующим образом. Машина подъезжает к конвейеру и направляется на него по сигналу светофора, который позволяет выдерживать минимальную дистанцию между машинами. Когда корпус машины, перемещающийся по конвейеру, пересекает луч света, отключается фотореле системы автоматизации, в результате чего включаются подача теплой воды и щеточный механизм, т. е. начинается мойка движущейся машины. Приближаясь к установке обдува, машина пересекает второй луч света. При этом происходит обесточивание второго фотореле, отключение установки щеточной мойки, прекращение подачи воды и включение электровентиляторов обдува. Как только машина выходит из зоны



обдува, фотореле срабатывает и электровентиляторы обдува останавливаются.

Специальные моечные камеры имеют частичную автоматизацию технологических процессов: управление температурой и уровнем моечных растворов, периодическую очистку от загрязнений, создание качающихся или вращающихся движений камеры мойки по заданной программе.

Автоматизация разборочных и сборочных процессов сопряжена с большими трудностями, исходящими из специфики выполнения работ. Поэтому разборочные и сборочные операции в условиях мастерских выполняют в основном вручную. Однако на поточных линиях широко применяют механизированные приспособления: гайковерты, винтоверты, гидравлические и пневматические молоты, прессы, дрели и т. п.

### **Автоматическое управление тельфером**

При сборке агрегатов весьма распространенной технологической операцией является транспортирование объекта сборки на очередное рабочее место. Наиболее сложные процессы автоматической сборки — ориентация одних деталей относительно других и их сопряжение. Обычно некоторые сборочные операции, легко выполняемые вручную, трудно поддаются автоматизации, и, наоборот, трудно выполнимые вручную операции могут быть легко 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 машин и агрегатов используют электрокары, тельферы и мостовые краны. Наиболее распространены тельферы — подвесные тележки. Грузоподъемность тельферов — 0,2...5 т. Тельферы малой грузоподъемностью имеют один электродвигатель для подъема деталей, а их тележку вручную перемещают вдоль балки.

Тельферы большой производительности имеют два электродвигателя для подъема *M1* и перемещения *M2* (рис. 10.2). 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 двутавровой балке 8 на ходовых колесах 9, которые приводятся во вращение электродвигателем 10 (*M2*) через редуктор. Электроэнергия подводится к двигателям 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 отпускании кнопки разрываются соответствующие цепи магнитных пускателей *KMP...KMН*, и электродвигатели отключаются от сети. Такой метод управления называется толчковым.



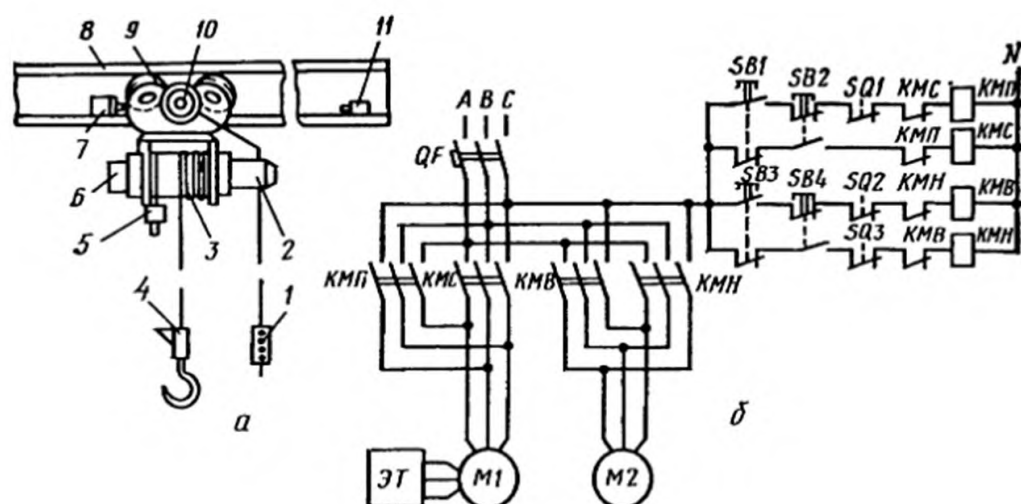


Рис. 10.2. **Общий вид тельфера (а) и принципиальная электрическая схема управления им (б):**

- 1 — кнопочная станция; 2 — двигатель; 3 — подъемный барабан; 4 — крюк;  
 5, 7, 11 — конечные выключатели; 6 — электромагнитный тормоз; 8 — балка;  
 9 — ходовые колеса; 10 — электродвигатель

Конечные выключатели 5, 7 и 11 ограничивают перемещение груза при его подъеме ( $SQ1$ ) и горизонтальном передвижении ( $SQ2$  и  $SQ3$ ). При их размыкании двигатели останавливаются.

Электродвигатели подъема груза имеют электромагнитный тормоз 6 ( $\mathcal{E}T$ ), который при включенном двигателе отодвигается от барабана 3, а при неработающем двигателе стопорит барабан, исключая самопроизвольное опускание груза.

## Глава 10.2

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

### Основы восстановления изношенных деталей

Гальванический способ восстановления изношенных деталей сельскохозяйственной техники основан на осаждении металлов путем электролиза водных растворов солей металлов или кислот. На деталь (катод) подводят отрицательный потенциал источника питания. В качестве анода используют пластину из металла, который необходимо нанести на деталь, или пластины из нерастворимого металла, например свинца. К пластинам присоединяют положительный потенциал источника питания.

Массу металла, осаждаемого на катоде, определяют по формуле Фарадея

$$G = cIt, \quad (10.1)$$

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 подвергают специальной обработке. Их шлифуют, промывают, обезжиривают, протравливают 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 кривой тока электролиза:

автоматическое реверсирование тока, т. е. периодическую смену полярности напряжения на детали с отрицательной на положительную, и наоборот (длительность нахождения детали под отрицательным

напряжением — на порядок больше, чем под положительным напряжением);

асимметричный ток, т. е. выпрямленный ток с различным коэффициентом выпрямления.

Процесс осаждения металла разбивается на несколько циклов. После погружения деталей в ванну и подключения электродов через определенную выдержку времени  $t_0$  устанавливают заданные для детали плотности тока прямой (катода  $j_k$ ) и обратной (анода  $j_a$ ) полуволны. Через 1 мин плотность тока  $j_a$  плавно снижают до нуля. После этого за время  $t_3$  происходит плавное увеличение плотности выпрямленного катодного тока до предельного значения  $j_{кп}$ . Плотность тока  $j_k$  и время  $t_3$  выбирают и корректируют в зависимости от заданных параметров микротвердости, сцепляемости и толщины наращиваемых покрытий, а также 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 (менее  $300 \text{ А/м}^2$ ) и наличие анодного тока в периоды  $t_1$  и  $t_2$  обеспечивает 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.

## Автоматизация процессов восстановления деталей при ремонте

Частичная автоматизация процесса восстановления деталей может быть достигнута с помощью универсального источника питания, принципиальная электрическая схема которого представлена на рис. 10.3.

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  $TV$ , ( $10 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ ), тиристорный блок  $ТБ$ , шунты  $R1$  и  $R2$  в цепях измерения тока. Блок управления имеет катодный  $KУ$  и анодный  $AУ$  усилители, регуляторы катодного  $РКТ$  и анодного  $РАТ$  токов, блоки фазоимпульсного управления катодными тиристорами  $VD1...VD3$  (БФУК) и анодным тиристором  $VD4$  (БФУА), а также электродный коммутатор  $ЭК$ .

Изменяя положение переключателя  $SA1$ , 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  $РА1$  измеряет значение анодного

тока, амперметр  $PA2$  — 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 отрицательных микросхемах. Усилитель  $KУ$  одновременно инвертирует сигнал.

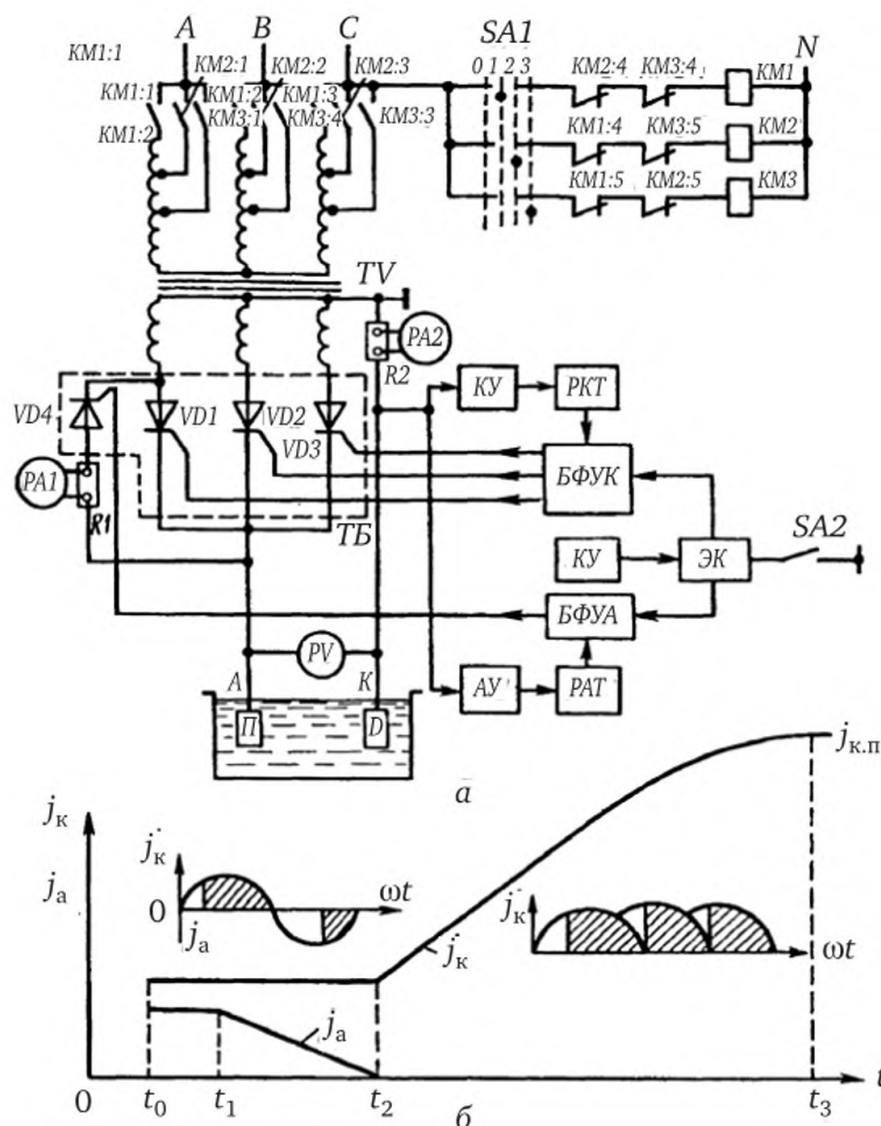


Рис. 10.3. Принципиальная электрическая схема электролитической установки (а) и диаграмма изменения плотности тока при железнении деталей (б):

ТБ — тиристорный блок; КУ — катодный усилитель; АУ — анодный усилитель; РКТ — регулятор катодного тока; РАТ — регулятор анодного тока; БФУК — блок фазоимпульсного управления катодными тиристорами; БФУА — блок фазоимпульсного управления анодным тиристором; ЭК — электродный коммутатор; ПУ — программное устройство

Блок БФУК поочередно управляет коммутацией тириستоров  $VD1... VD3$ , а БФУА — коммутацией тиристора  $VD4$ .



На блоке 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 рис. 10.3, б. При включенном SA2 работают тиристоры от VD1...VD3. Они дают пульсирующую форму выпрямленного тока, показанную в правой части рис. 10.3, б.

Переключая первичную одну обмотку трансформатора, устанавливают заданную плотность тока ( $3...6 \text{ кА/м}^2$ ) на восстанавливаемой детали. При помощи программного механизма ПУ в процессе гальванопокрытий автоматически изменяют угол открытия тиристоров VD1...VD4 в соответствии с временной диаграммой рис. 10.3, б.

Чередование циклов осаждения металлов также достигается при помощи программного устройства. Оно же обеспечивает управление параметрами режимов обработки: стабилизацию температуры электролита, плотности тока, кислотности растворов, устанавливает продолжительность выдержки деталей в ванне, обеспечивает 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  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Для малых ванн применяют двухпозиционные регуляторы, для больших — регуляторы пропорционально-интегрального действия, которые управляют электрическим обогревателем раствора.

Автоматическое регулирование плотности тока осуществляют посредством изменения угла открытия тиристоров VD1...VD4. Заданное значение плотности тока устанавливается программным устройством ПУ в зависимости от режима электролиза, а фактическое — измеряется и определяется по значению падения напряжения на шунтах — резисторов R1 и R2. Фактическое значение тока доводится до заданного при помощи выпрямителей КУ и АУ, регуляторов тока РКТ и РАТ и блоков управления БФУК и БФУА 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 энергии, либо при помощи программного реле времени.

Гальванические цеха оборудуют поточными линиями, в которых обрабатываемые детали транспортируются по определенной программе. Программой предусматривается необходимая последовательность перемещения и продолжительность выдержки деталей в ваннах при обезжиривании, промывке, протравливании, гальванопокрытии, сушке и других операциях. С этой целью гальванические поточные

линии оснащают манипуляторами и автооператорами, которые перемещают детали из одной ванны в другую в соответствии с заданным технологическим процессом.

Автоматизация гальванических процессов повышает качество покрытий, снижает стоимость обработки, трудоемкость работ и расход химикатов, улучшает условия труда, ускоряет процесс ремонта.

## **Глава 10.3**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБКАТКИ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

### **Режимы обкатки автотракторных двигателей**

Обкатка — завершающая операция при ремонте двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Обкатка обеспечивает приработку взаимно трущихся поверхностей деталей. В процессе обкатки выявляются и устраняются дефекты, снижающие надежность ДВС при 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 мин<sup>-1</sup> и заканчивая при 1000...1400 мин<sup>-1</sup>. При горячей холостой обработке 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. При этом электродвигатель переводится в режим генератора. Вырабатываемая им электроэнергия поступает в общую электросеть. Нагружают ДВС постепенно, начиная с 1600...1800 мин<sup>-1</sup>. Нагрузка изменяется ступенями от 10...20 % до 85...100 % номинальной мощности обкатываемого ДВС. После обкатки на этом же стенде ДВС подвергают испытанию для выявления надежности его работы и определения основных технико-экономических показателей.

### **Автоматизация обкаточных стендов**

Для обкатки ДВС используют стенды ГОСНИТИ с асинхронными электродвигателями мощностью 4,5...160 кВт и частотой вращения 750...1500 мин<sup>-1</sup>. Электродвигатели используют с контактными кольцами в цепи ротора, к которым присоединяют жидкостные реостаты. Изменяя глубину погружения электродов в жидкость, регулируют частоту вращения.

Неширокий диапазон регулирования частоты вращения и самопроизвольное ее отклонение из-за изменения сопротивления реостата при электронагреве жидкости — существенные недостатки этих стенов.

Более перспективным является использование автоматических обкаточно-испытательных стенов с асинхронно-вентильным каскадом (АВК) (рис. 10.4) мощностью выше 60 кВт. Стенд содержит кинематически соединенный с валом обкатываемого двигателя 3 асинхронный электродвигатель 1 с фазным ротором. Токи обмоток ротора выпрямляются мостовыми схемами 22–24, инвертируются трехфазным инвертором тока ИТ и через согласующий трансформатор 15 направляются в сеть. Благодаря наличию АВК в сеть возвращается (рекуперируется) до 80 % забираемой стендом энергии.

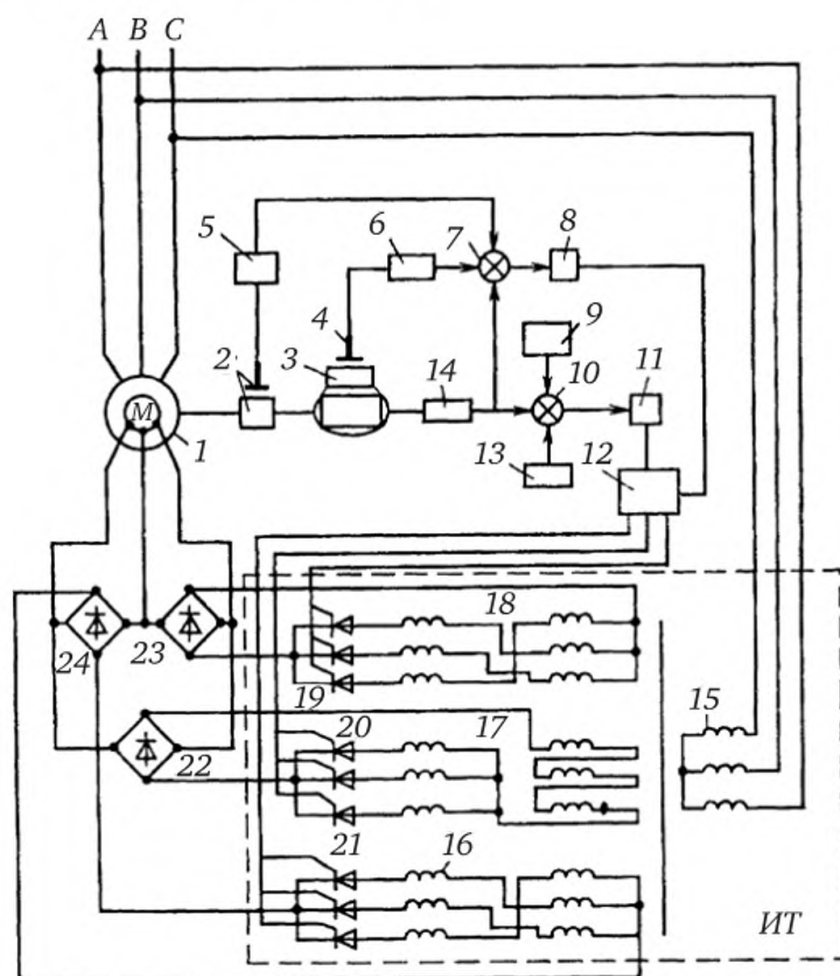


Рис. 10.4. Принципиальная электрическая схема обкаточно-испытательного стенда с АВК:

1 — электродвигатель; 2 — датчик крутящего момента; 3 — двигатель внутреннего сгорания; 4 — датчик скорости изменения температуры масла; 5, 6, 8 и 11 — усилители-преобразователи; 7 и 10 — элементы сравнения; 9 — задатчик программы обкатки; 12 — блок фазоимпульсного управления; 13 — датчик крутящего момента; 14 — тахометр; 15 — первичная обмотка трансформатора; 16–18 — секционированные вторичные обмотки трансформатора; 19–21 — вентили инвертора тока; 22–24 — мостовые схемы



Для автоматического управления режимами обкатки стенд оборудован соответствующими приборами.

Вторичные обмотки 16 и 18 соединены по схеме «зигзаг», а обмотка 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 усилителей 8, 11, блока управления 12 и инвертора тока ИТ происходит обработка 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 и мотороремонтных предприятиях обкаточно-испытательные стенды имеют программное управление по трем-пяти независимым параметрам, а также компьютерный контроль и обработку технико-эксплуатационных параметров ДВС при обкатке.

## Перечень лабораторных работ

### Работа 1. Исследование электромагнитных реле

**Содержание работы.** Изучить устройство, принцип действия и технические характеристики электромагнитных реле; ознакомиться со способами изменения выдержки времени различных реле. Измерить токи срабатывания и отпускания. Определить коэффициенты возврата и запаса при срабатывании и отпускании реле. Установить минимально и максимально возможные выдержки времени.

**Оборудование, приборы.** Стенд с закрепленным на нем набором различных электромагнитных реле, электросекундомером, мегомметром, миллиамперметром, вольтметром.

**Порядок выполнения работы.** Собрать схему. Изменяя потенциометром напряжение на обмотке реле, определить силу тока и напряжение его срабатывания в момент загорания лампы. Уменьшая потенциометром напряжение на реле, определить значения силы тока и напряжения его отпускания в момент погасания лампы. Измерения повторить не менее 3 раз для каждого реле и по результатам вычислить среднее значение параметров.

Измерить при помощи мегомметра (действуя по инструкции, прилагаемой к нему) сопротивление изоляции обмотки реле. Определить выдержку времени с помощью электросекундомера, включенного в схему совместно с реле так, что выполняется условие одновременного пуска секундомера после замыкания или размыкания реле.

**Отчет.** В отчете должны быть указаны схема исследования реле, способы регулирования выдержек времени, результаты испытаний, необходимые формулы, значения вычисленных параметров и технические характеристики реле.

### Работа 2. Исследование датчиков температуры

**Содержание работы.** Изучить устройство, принцип действия и основные характеристики датчиков температуры. Получить основные характеристики.

**Оборудование, приборы.** Стенд с набором датчиков температуры (полупроводниковые терморезисторы, термометры сопротивления, термопары и т. д.), электрические приборы для получения основных характеристик и электрические схемы испытания датчиков.

**Порядок выполнения работы.** Ознакомиться с устройством датчиков, установленных на стенде. Изучить электрические схемы включения датчиков и измерительных приборов по руководству к лабораторной работе. Собрать электрические схемы. Снять вольтамперные характеристики датчиков, установленных на стенде. Снять температурные характеристики, т. е. зависимость сопротивления от температуры нагрева  $R = f(\theta)$ , для чего датчик поместить в термостат, температура в котором измеряется ртутным термометром. Собрать схему термореле и определить его температуры срабатывания и возврата.

**Отчет.** В отчете следует дать краткое описание принципа действия исследуемых датчиков, результаты проведенных опытов, расчетные формулы, графики зависимостей выходных величин от входных, электрические схемы исследований, проанализировать полученные результаты.

### **Работа 3. Исследование фотодатчиков**

**Содержание работы.** Изучить принцип действия и устройство фотоэлементов и фотосопротивлений. Снять вольт-амперные характеристики фотоэлементов с внешним (вакуумных и газонаполненных) и внутренним фотоэффектом и фотосопротивлений при различных значениях освещенности. Собрать схему фотореле и испытать ее в работе (управление асинхронным двигателем). Значение катодного сопротивления  $R$  в цепи фотоэлемента задает преподаватель.

**Оборудование, приборы.** Установка для снятия вольт-амперных характеристик должна содержать осветитель и фотоэлемент. Целесообразно, чтобы осветитель был выполнен в виде трубы с вмонтированным в нее патроном для лампы накаливания и объективом, собирающим световой поток в параллельный пучок. Фотоэлемент необходимо поместить в светонепроницаемую камеру и внутри нее укрепить панель для фотоэлемента и фотосопротивления. На передней стенке камеры расположить окно с диафрагмой. Чтобы уменьшить влияние постороннего света на фотокатод, диафрагму располагают в насадке, зачерненной изнутри. Отверстие диафрагмы делают таким, чтобы освещался весь фотокатод. Измерения следует выполнять после того, как установлено определенное расстояние между осветителем и камерой, соответствующее максимальному фотопотоку при номинальном напряжении на лампе. Для удобства сборки схемы фотореле с электронным усилителем вводы всех элементов, в том числе и электронной лампы, снабжают зажимами и монтируют на панели.

**Порядок выполнения работы.** Снять вольт-амперную характеристику выбранных фотоэлементов и фотосопротивлений при различных освещенностях, устанавливаемых изменением отверстия диафрагмы. Собрать схему управления асинхронным двигателем от фотореле. Схема должна работать по принципу светового барьера, то есть при попада-

нии света на фотоэлемент реле получает питание (электронная лампа открыта), а при отсутствии света реле теряет питание (лампа закрыта). Установить определенное значение светового потока и испытать действие всей установки. Измерить силу токов срабатывания и отпускания реле.

**Отчет.** В отчете должно быть краткое описание принципа действия и назначения исследуемых датчиков, таблицы результатов проведенных опытов, необходимые формулы, расчетные данные, графики зависимостей выходных величин от входных, электрические схемы исследований, анализ полученных результатов, выводы.

#### **Работа 4. Исследование индуктивных датчиков и тензосопротивлений**

**Содержание работы.** Изучить устройство, принцип действия и основные характеристики индуктивных датчиков и тензосопротивлений. Получить основные характеристики испытываемых датчиков.

**Оборудование, приборы.** Лабораторная установка должна содержать стенд, на котором закреплены индуктивные датчики, устройство для испытания тензосопротивлений и электрические схемы для получения основных характеристик индуктивных датчиков и тензосопротивлений. Для получения зависимостей выходных величин датчиков от приложенных усилий в схемы необходимо ввести приборы для измерения токов датчиков. В установке должно быть предусмотрено включение индуктивных датчиков по дифференциальной схеме.

**Порядок выполнения работы.** Ознакомиться с датчиками, установленными на стенде, изучить электрическую схему соединений датчиков и измерительных приборов. Собрать электрические схемы исследований. Изменяя положение подвижной части индуктивных датчиков, получить зависимость  $I = f(\delta)$ . Изменяя массу груза  $m$  от нуля до максимального значения и, наоборот, снимают для тензосопротивлений зависимости  $I_T = f(m)$ . Чтобы повысить чувствительность тензосопротивлений, два тензодатчика включают в измерительный мост и наклеивают на стальную пластинку сверху и снизу (это увеличивает чувствительность в 2 раза, способствует температурной компенсации и исключает влияние измеряемых деформаций, например поперечных. Результаты измерений вносят в протокол испытаний и по ним строят зависимости: для индуктивных датчиков  $I = f(\delta)$ , а для тензодатчиков  $I = f(\sigma)$ , где  $\sigma$  — напряжение изгиба, определяемое как отношение момента изгиба  $M_{\text{и}}$  к моменту сопротивления пластины  $M_c$  в месте наклейки датчиков;  $M_{\text{и}} = PL$  ( $P$  — сила тяжести груза,  $L$  — расстояние от места приложения груза до центра тензодатчика).

**Отчет.** В нем должно быть краткое описание принципа действия и назначения исследуемых датчиков, таблицы результатов проведенных опытов, расчетные формулы и результаты расчетов, графики зависимостей выходных величин от входных, электрические схемы исследований, анализ полученных результатов, выводы.



## Работа 5. Определение постоянных времени различных элементов САУ

**Содержание работы.** Овладеть методами и навыками определения постоянных времени различных элементов систем.

**Оборудование, приборы.** Для снятия кривой разгона электродвигателя в схеме используют тахогенератор и регистрирующий вольтметр. Напряжение подают, замыкая рубильник. Для исследования гидроцилиндра необходимо иметь потенциометрический или индуктивный датчик, преобразующий перемещение поршня в напряжение. При снятии кривой разгона сначала включают двигатель масляного насоса, а затем полностью открывают золотник. Нагревательный элемент исследуют при помощи термопары, выводы которой подключают к вольтметру с большим внутренним сопротивлением. Время нагрева отсчитывают по секундомеру, начиная с момента замыкания рубильника.

**Порядок выполнения работы.** Сначала снимают кривые разгона объектов. Затем по кривым разгона методом касательной определяют постоянные времени. Рассчитывают зависимости  $y = f(t)$  по формуле

$$y = y_{\text{уст}}(1 - e^{-t/T}) + y_{\text{нач}}e^{-t/T},$$

где  $y_{\text{уст}}$  и  $y_{\text{нач}}$  — соответственно установившееся и начальное значения управляемой величины.

**Отчет.** В нем должны быть принципиальные схемы и описание установок, таблицы с данными расчетов зависимости  $y = f(t)$ , опытные и расчетные кривые  $y = f(t)$ , построенные для каждого элемента на одном графике, выводы.

## Работа 6. Наладка двухпозиционного автоматического регулятора

**Содержание работы.** Изучить методику наладки САУ с двухпозиционным регулятором.

**Оборудование, приборы.** Двухпозиционная САУ температуры, состоящая из регулирующего прибора, датчика, исполнительного органа (промежуточное реле), регулирующего органа (нагревательного элемента), стеклоэмалевого резистора (сопротивлением около 2500 Ом). Передаточная функция резистора должна быть получена заранее, и ее параметры представлены в описании к лабораторной работе. В полость стеклоэмалевого резистора помещают датчик и измерительный прибор — термометр.

**Порядок выполнения работы.** Осмотреть элементы и приборы, входящие в САУ, записать паспортные данные датчика, регулирующего прибора, исполнительного и регулирующего органов, объекта управления (нагревательного элемента).

Проверить правильность монтажа элементов САУ и их соединений.

Начертить структурную схему САУ.

Согласно заданным преподавателем значениям  $g$  и  $\Delta u_{\text{доп}}$  настроить регулирующий прибор.

Включить САУ и измерить регулируемую величину  $y(t)$ , соответствующую включенному и отключенному состоянию регулятора. Построить график изменения регулируемой величины и найти значения  $\Delta u_1$ ,  $\Delta u_2$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ . Определить параметры регулирования САУ и сравнить их с рассчитанными по формулам. При необходимости скорректировать параметры настройки регулирующего прибора и повторить эксперимент.

**Отчет.** В отчете следует указать схему включения регулятора, результаты замеров управляемой величины и график изменения ее во времени, теоретические и экспериментальные параметры работы САУ.

## ЛИТЕРАТУРА

Гайдук, А. Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB : учеб. пособие / А. Р. Гайдук, В. Е. Беляев, Т. А. Пьявченко. — 4-е изд., стер. — СПб. : Лань, 2017.

Кузьмин, А. В. Теория систем автоматического управления : учеб. пособие / А. В. Кузьмин, А. Г. Схиртладзе. — Старый Оскол : ТНТ, 2017.

Латышенко, К. П. Автоматизация измерений, контроля и испытаний. Практикум : учеб. пособие для академического бакалавриата / К. П. Латышенко, В. В. Головин. — 3-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017.

Петраков, Ю. В. Теория автоматического управления техническими системами : учеб. пособие / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. — Старый Оскол : ТНТ, 2017.

Рогов, В. А. Средства автоматизации и управления : учебник для академического бакалавриата / В. А. Рогов, А. Д. Чудаков. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017.

Сазонов, Г. Г. Основы автоматического управления : учеб. пособие / Г. Г. Сазонов. — Старый Оскол : ТНТ, 2017.

Селевцов, Л. И. Автоматизация технологических процессов : учебник / Л. И. Селевцов, А. Л. Селевцов. — 4-е изд., стер. — М. : Академия, 2016.

Серебряков, А. С. Автоматика : учебник и практикум для академического бакалавриата / А. С. Серебряков, Д. А. Семенов, Е. А. Чернов ; под общ. ред. А. С. Серебрякова. — М. : Издательство Юрайт, 2016.

Технические средства автоматизации и управления : учебник для академического бакалавриата / О. С. Колосов [и др.] ; под общ. ред. О. С. Колосова. — М. : Издательство Юрайт, 2017.

Шишмарев, В. Ю. Автоматизация технологических процессов : учебник / В. Ю. Шишмарев. — 10-е изд., стер. — М. : Академия, 2016.

Юревич, Е. И. Теория автоматического управления / Е. И. Юревич. — 4-е изд., перераб. и доп. — СПб. : БХВ — Петербург, 2016.

**Наши книги можно приобрести:**

**Учебным заведениям и библиотекам:**  
в отделе по работе с вузами  
тел.: (495) 744-00-12, e-mail: [vuz@urait.ru](mailto:vuz@urait.ru)

**Частным лицам:**  
список магазинов смотрите на сайте [urait.ru](http://urait.ru)  
в разделе «Частным лицам»

**Магазинам и корпоративным клиентам:**  
в отделе продаж  
тел.: (495) 744-00-12, e-mail: [sales@urait.ru](mailto:sales@urait.ru)

**Отзывы об издании присылайте в редакцию**  
e-mail: [gred@urait.ru](mailto:gred@urait.ru)

**Новые издания и дополнительные материалы доступны**  
на образовательной платформе «Юрайт» [urait.ru](http://urait.ru),  
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»

*Учебное издание*

**Бородин Иван Федорович,  
Андреев Сергей Андреевич**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**Учебник для вузов**

Формат 70×100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Гарнитура «Charter». Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 29,25.

**ООО «Издательство Юрайт»**  
111123, г. Москва, ул. Плеханова, д. 4а.  
Тел.: (495) 744-00-12. E-mail: [izdat@urait.ru](mailto:izdat@urait.ru), [www.urait.ru](http://www.urait.ru)