

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова, А. А. Солдатенко**

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
высших учебных заведений Республики Беларусь  
по образованию в области сельского хозяйства  
в качестве лабораторного практикума для студентов  
высших учебных заведений специальностей 1-74 06 05*

*«Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (по направлениям)»  
и 1-53 01 01-09 «Автоматизация технологических процессов  
и производств (сельское хозяйство)»*

Минск  
БГАТУ  
2011

УДК 631.171(07)  
ББК 40.7я7  
Я49

Рецензенты:

кандидат технических наук,  
доцент кафедры автоматизации производственных процессов  
и электротехники БГТУ *О. Г. Барашко*;  
кандидат технических наук, заведующий кафедрой ЭСХП  
БГАТУ *В. А. Дайнеко*;  
главный специалист ОАО «Институт  
БЕЛГИПРОАГРОПИЩЕПРОМ» *С. С. Войтович*

**Якубовская, Е. С.**

Я49 Автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства : лабораторный практикум / Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова, А. А. Солдатенко. - Минск : БГАТУ, 2011. - 196 с. 18ГВЧ 978-985-519-393-8.

Издание предназначено для решения практических вопросов в области автоматизации технологических процессов сельскохозяйственного производства и усвоения методики исследования автоматизации типовых процессов сельскохозяйственного производства.

Для студентов инженерных специальностей, связанных с эксплуатацией, монтажом и проектированием автоматизированных установок, процессов и производств.

УДК 631.171(07)  
ББК 40.7я7

**978-985-519-393-8**

© БГАТУ, 2011

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Лабораторная работа № 5 АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ПРИ ХРАНЕНИИ КАРТОФЕЛЯ.....	8
Лабораторная работа № 6 ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ПОГРУЖНЫМИ НАСОСАМИ.....	20
Лабораторная работа № 7 ИЗУЧЕНИЕ ТИПОВЫХ И СИНТЕЗ САУ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ И ПТИЧНИКОВ.....	27
Лабораторная работа № 9 АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫТЯЖНЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ.....	41
Лабораторная работа № 10 ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ.....	48
Лабораторная работа № 11 ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ САУ МИКРОКЛИМАТОМ В ИНКУБАЦИОННОЙ КАМЕРЕ.....	62
Лабораторная работа № 12 ИЗУЧЕНИЕ САУ КОТЛОАГРЕГАТОВ.....	73
Лабораторная работа № 13 ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПАСТЕРИЗАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ.....	85
Лабораторная работа № 14 ИЗУЧЕНИЕ САУ ТП В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ.....	98
Лабораторная работа № 15 АВТОМАТИЗАЦИЯ СУШКИ ЗЕРНОВЫХ.....	114
Лабораторная работа № 16 АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРА ЯИЦ В МНОГОЯРУСНОМ ПТИЧНИКЕ.....	121
Лабораторная работа № 17 АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЙОГУРТА.....	126
Лабораторная работа № 18 ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ МОБИЛЬНОГО АГРЕГАТА.....	132
Лабораторная работа № 19 ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЖДЕНИЕМ МОБИЛЬНОГО АГРЕГАТА.....	135
Лабораторная работа № 20 АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОКА В СЫРНЫХ ВАННАХ.....	138
Лабораторная работа № 21 ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ОБЪЕКТЕ, ИМЕЮЩЕМ НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ.....	143
ЛИТЕРАТУРА.....	149
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	151

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Автоматизация технологических процессов» является специальной дисциплиной. В соответствии со своим местом в учебном процессе она формирует знания, обеспечивающие решение задач по разработке, внедрению, освоению и эксплуатации систем автоматического управления технологическими процессами. Цель дисциплины - формирование системы знаний для освоения методов исследования технологических процессов как объектов управления и синтеза систем автоматического управления, а также типовых решений по автоматизации основных технологических процессов сельскохозяйственного производства. Поэтому в циклах лабораторных работ решаются задачи освоения методов исследования технологических процессов как объектов управления и регулирования (первый цикл), синтеза САУ (второй цикл), изучения типовых решений автоматизации теплоэнергетических процессов (третий цикл работ). Материалы и указания к первому циклу лабораторных работ вынесены в [3]. Для специальности 1-53 01 01-09 «Автоматизация технологических процессов и производств (сельское хозяйство)» данные задачи решаются на углубленном уровне.

Содержание лабораторных работ по циклам.

### Специальность 1-74 06 05

№ работы	Наименование	Кол-во часов
1	2	3
<i>Цикл 1</i>		
1	Изучение и разработка САУ раздачи корма	4
2	Изучение и исследование автоматического дозирующего устройства	4
3	Изучение и исследование системы автоматической защиты и сигнализации	2
4	Изучение и разработка САУ поточной технологической линией	4
8	Исследование систем программного управления технологическими процессами	2
<i>Цикл 2</i>		
	Автоматизация режимов при хранении картофеля	4

Окончание табл.

1	2	3
7	Изучение типовых и синтез САУ приточной вентиляцией животноводческих помещений и птичников	2
10	Исследование автоматизированной холодильной установки	2
<i>Цикл 3</i>		
11	Изучение и исследование САУ микроклиматом в инкубационной камере	2
12	Изучение САУ котлоагрегатов	2
13	Изучение системы автоматизации пастеризационной установки	2
14	Изучение САУ ТП в защищенном грунте	2
Итого		32

### Специальность 1-53 01 01-09

№ работы	Наименование	Кол-во часов
1	2	3
<i>Цикл 1</i>		
1	Изучение и разработка САУ раздачи корма	4
2	Изучение и исследование автоматического дозирующего устройства	4
3	Изучение и исследование системы автоматической защиты и сигнализации	2
4	Изучение и разработка САУ поточной технологической линией	4
8	Исследование систем программного управления технологическими процессами	2
<i>Цикл 2</i>		
18	Исследование системы управления рабочими органами мобильного агрегата	2
19	Исследование системы управления вождением мобильного агрегата	2
7	Изучение типовых и синтез САУ приточной вентиляцией животноводческих помещений и птичников	2
9	Автоматизация вытяжных систем вентиляции	2
10	Исследование автоматизированной холодильной установки	2
11	Изучение и исследование САУ микроклиматом в инкубационной камере	2
12	Изучение САУ котлоагрегатов	2
14	Изучение САУ ТП в защищенном грунте	2
15	Автоматизация сушки зерновых	2

Окончание табл.

1	2	3
	<i>Цикл 3</i>	
5	Автоматизация режимов при хранении картофеля	2
6	Изучение и исследование системы защиты и управления погружными насосами	2
13	Изучение системы автоматизации пастеризационной установки	2
14	Изучение САУ ТП в защищенном грунте	2
16	Автоматизация сбора яиц в многоярусном птичнике	2
17	Автоматизация технологической линии приготовления йогурта	2
20	Автоматизация процесса переработки молока в сырных ваннах	2
21	Исследование системы автоматического регулирования температуры в объекте, имеющем неравномерность температурного поля	4
	Итого:	52

Лабораторная работа № 5

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ПРИ ХРАНЕНИИ КАРТОФЕЛЯ**

*Цель работы:* исследование САУ вентиляции в картофелехранилище, освоение методики наладки и испытания устройства, позволяющего поддерживать оптимальные режимы в картофелехранилище, методики модернизации САУ на базе современных цифровых устройств автоматизации.

*Оборудование:* действующий макет картофелехранилища; справочная литература.

#### **Вопросы предварительного контроля:**

1. Какие параметры микроклимата подлежат регулированию в картофелехранилище?
2. На какие три периода подразделяют технологический процесс хранения картофеля?
3. Каков принцип действия реле 2РВМ?

#### **Порядок выполнения работы**

##### **Занятие 1**

1. Изучив характеристики картофелехранилища как объекта автоматизации и принципы построения САУ ([1, с. 395–408], [2, с.190-193]), составьте схемы автоматизации и принципиальные схемы системы управления вентиляцией картофелехранилища для каждого периода хранения (лечебного, охлаждения, хранения) отдельно.

2. Убедитесь, что шкаф управления обесточен.

3. Используя полную принципиальную электрическую схему управления, контроля и сигнализации системы вентиляции картофелехранилища и монтажную схему, произведите подключение

датчиков и исполнительных устройств в систему управления под руководством преподавателя (подключение исполнительных устройств производить через магнитные пускатели, установленные в верхней части шкафа управления).

4. После проверки подключения датчиков, включите стенд тумблером «Питание».

5. Проведите наладку термометров сопротивления для измерения и контроля температуры терморегуляторов А1-А5 [10, с. 174-175].

6. Проверьте работоспособность системы управления по режимам хранения. Переверните рукоятку переключателя 8Л2 в положение «лечебный», 8Л1 - в положение «автоматический». В табл. 9 зафиксируйте время включения и отключения приточного вентилятора. В момент работы вентилятора, вращая рукоятку задатчика А4, добейтесь остановки приточного вентилятора. В табл. 1 зафиксируйте уставку регулятора. Верните ручку задатчика в исходное положение. Аналогичные действия проведите с регулятором А3. Переверните рукоятку переключателя 8Л2 в положение «хранение». Опробуйте регулятор А5. При необходимости произведите фазировку включения исполнительного механизма приточного вентилятора.

Таблица 1

Назначение и характеристика технических средств автоматизации действующего макета картофелехранилища

Период хранения	Устройство	Назначение	Заданные значения
Лечебный	КТ1		Время вкл./выкл.:
	А4		Заданная температура:
	А3		Заданная температура:
Охлаждение	А1		Заданная температура:
	А5		Заданная температура:
Хранение	А2		Заданная температура:

7. Продемонстрируйте преподавателю работу налаженного стенда.

8. Отключите стенд.

9. Разберите смонтированную часть схемы.

## Занятие 2

1. Разработайте алгоритм управления оборудованием картофелехранилища с учетом особенностей его реализации на контроллере.

2. Разработайте программу управления, реализуйте ее в АПГ Pro\$аштт\$, используя методику [3, с. 46-60]. Проверьте работу программы в режиме моделирования и продемонстрируйте работу отлаженной программы преподавателю.

3. Разработайте принципиальную схему управления оборудованием картофелехранилища на базе контроллера в качестве устройства управления.

## Характеристика картофелехранилища как объекта управления микроклиматом

Технологический процесс хранения картофеля можно разделить на три основных периода: лечебный, охлаждение и хранение.

*В лечебный период* с целью быстрого заживления механических повреждений картофеля необходимо поддерживать в межклубневом пространстве насыпи температуру на уровне  $(15 \pm 5) ^\circ\text{C}$  и высокую относительную влажность воздуха (более 90 %) с минимальным воздухообменом, для чего в течение 10-15 дней картофель вентилируют рециркуляционным воздухом 4-6 раз в сутки по 15-30 мин.

При температуре картофеля выше  $18 ^\circ\text{C}$  должна включаться активная вентиляция (удельный расход продуваемого через массу картофеля воздуха составляет  $60-100 \text{ м}^3/\text{ч}$  на 1 т) и подавать воздух с температурой на  $3-4 ^\circ\text{C}$  ниже температуры массы хранимого продукта.

Если в закрытом хранилище заложен картофель, пораженный фитотрофой, нематодой и т. п., то лечебный период проводится при температуре  $8-10 ^\circ\text{C}$  с последующим охлаждением до  $1-2 ^\circ\text{C}$ .

При закладке мокрого картофеля его немедленно подсушивают усиленной активной вентиляцией при относительной влажности воздуха не выше 80 %.

*В период охлаждения*, который наступает после лечебного, температуру хранимого продукта постепенно снижают до  $2-4 ^\circ\text{C}$ , периодически проводя (4-6 раз в сутки по 16-30 мин, в течение 10-40 дней) активное вентилирование наружным воздухом или его смесью с внутренним воздухом в те периоды суток, когда температура наружного воздуха не менее чем на  $2-3 ^\circ\text{C}$  меньше температуры хранимого продукта.

Период хранения - это основной период. Он начинается, когда температура картофеля в насыпи достигает  $3-4 ^\circ\text{C}$ . Вентиляционные установки включаются при повышении температуры в насыпи до  $4 ^\circ\text{C}$  и более. Заданную температуру зимой поддерживают с точностью  $\pm 1 ^\circ\text{C}$  активным вентилированием 4-6 раз в сутки смесью

наружного и внутреннего воздуха, а при больших морозах - только рециркуляционным воздухом. В остальное время года насыпь вентилируют наружным воздухом, который забирают в наиболее холодное время суток, или воздухом, охлажденным в специальных холодильных установках.

В процессе вентиляции картофеля с его поверхности удаляется влага.

Во всех случаях относительная влажность воздуха должна быть максимальной, но без образования конденсата на картофеле. При пониженной влажности вентиляционного воздуха возникают большие потери массы клубней, что ухудшает товарный вид.

При разработке и выборе САУ микроклиматом картофелехранилища необходимо знать передаточные функции массы хранимой продукции и верхней зоны в основном режиме «Хранение».

Передаточную функцию массы хранимой продукции можно было бы определить аналитическим методом из уравнений динамики теплообмена массы хранимой продукции и вентилируемого воздуха. Но опыт показывает, что температура подаваемого воздуха и насыпи клубней неодинакова по высоте слоя. Быстро охлаждаются нижние слои клубней картофеля на входе воздуха и в 4-5 раз медленнее - верхние слои, на выходе.

Наиболее высокая температура массы хранимого продукта наблюдается на глубине 0,4-0,6 м от поверхности насыпи.

Теплофизические свойства насыпи клубней зависят от ее температуры и вида продукции.

Из-за перечисленных особенностей трудно аналитически определить передаточные функции массы хранимого продукта.

В то же время экспериментально по кривым разгона установлено, что при подаче воздуха  $B < 50 \text{ м}^3$  в 1 ч на тонну насыпи клубней

$$Ж(p) = \frac{\kappa}{T_p + 1} \quad (1)$$

При  $B < 50 \text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{ч})$

$$Ж(p) = \frac{\kappa}{T^2 p^2 + T^x p + 1} \quad (2)$$

С ростом подачи воздуха от 50 до 250  $\text{м}^3/(\text{т}\cdot\text{ч})$  значение коэффициента усиления  $\kappa$  снижается от 0,03 до 0,008.

Коэффициент усиления  $\kappa$  показывает, на сколько градусов снижается температура насыпи клубней за 1 ч при подаче 1  $\text{м}^3$  воздуха на 1 т клубней.

Постоянные времени зависят также от подачи воздуха: при  $B < 50 \text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{ч})$   $T = 7-8$  ч; при  $B > 50-250 \text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{ч})$   $T = 6-8$  ч;  $T^2 = 1,6-2$  ч.

При отключенной вентиляции температура массы хранимого продукта повышается за счет теплоты самосогревания. Передаточная функция массы продукта при самосогревании без отвода теплоты

$$Ж(p) = \frac{\kappa^c}{p} \quad (3)$$

где  $\kappa^c$  - коэффициент, показывающий, на сколько градусов повышается температура самосогревания без отвода теплоты (для корнеклубнеплодов  $\kappa^c = 0,14$ ).

Передаточная функция верхней зоны картофелехранилища выражается тремя составляющими (по числу параллельно действующих возмущений), а именно, от изменения  $\hat{\kappa}$  (тепловыделения от продукции),  $\beta = \beta^0$  и  $\beta^в = \beta$  :

$$\begin{aligned} & ж_1(p) : \\ & Ж^2(p) = \frac{\kappa^2}{T^2 p + 1} \\ & Ж^в(p) = \frac{\hat{\kappa}^{\pm}}{T^3 p + 1} \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\beta$  - температура воздуха в верхней зоне;

$\beta^0$  - температура ограждений;

$\beta^в$  - температура воздуха на входе в верхнюю зону.

Для типового овощехранилища на 1000 т значение коэффициентов можно принять  $\kappa^1 = 0,3$ ;  $\kappa^2 = 0,5$ ;  $\kappa^3 = 0,2$ ;  $T^2 = 2,34$ ;  $T^в = 0,124$  и  $T^3 = 0,04$ .

Смесительную камеру с регулируемым клапаном как объект управления можно описать уравнением теплового баланса в приращениях:

$$LС7н + c0p ДС7p = cвпO, \quad (5)$$

где  $0н$ ,  $0p$ ,  $0п$  - значение температур наружного, рециркуляционного и приточного воздуха соответственно;

$ЛОн$ ,  $ЛОp$  - приращения количеств наружного и рециркуляционного воздуха;

$O$  - удельный расход приточного воздуха, кг/с.

Так как  $ЛОн = - ЛОР$ , можно записать

$$\frac{0н - 0п}{O} ЛОн = ЛОп. \quad (6)$$

Откуда определяется значение передаточной функции смесительной камеры как усилительного звена:

### Описание оборудования типа ОРТХ

Для управления температурным режимом в хранилищах емкостью до 1000 т промышленность выпускает оборудование типа ОРТХ [2, с. 190-193].

В оборудование типа ОРТХ входят следующие основные устройства (рис. 1): смесительный клапан с подогревателем и исполнительным механизмом, приточная и вытяжная шахты, два рециркуляционно-отопительных агрегата, вентиляционно-распределительный канал, вентилятор приточной системы и шкаф автоматического

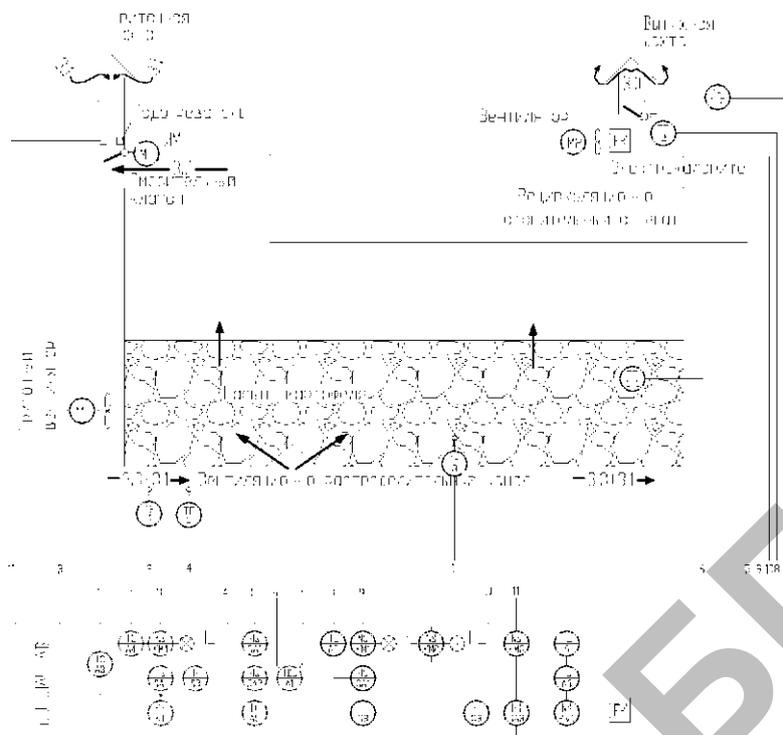


Рис. 1. Схема автоматизации управления температурным режимом в картофелехранилище

управления активной вентиляцией (ШАУ-АВ). В шкафу размещены регуляторы температуры А1-А6, программное реле времени КТ (2РВМ), ключи и кнопки управления. В связи с неблагоприятными для работы аппаратуры условиями предусмотрен автоматический обогрев шкафа от электроподогревателя ЕК, действием которого управляет контактное термореле типа ДТКБ через промежуточное реле КУ1 (рис. 2).

Система автоматического управления микроклиматом в овощехранилищах может работать в режиме ручного или автоматического управления.

В ручном режиме переключатели 8Л1 и 8Л3 ставят в положение Р, и управление производится с помощью кнопочных постов Р2, Р3 и Р4.

В автоматическом режиме переключатель 8Л1 ставят в положение А, а 8Л2 - в одно из положений (Л - лечебный; О - охлаждение; Х - хранение), в соответствии с периодом хранения.

Переключатель 8Л3 в положение А ставят при отрицательных температурах наружного воздуха.

В автоматическом режиме управления и во все периоды хранения приточный вентилятор включается и выключается магнитным пускателем КМ4, управляемым контактом КТ.1 программного реле времени 2РВМ. Программное реле КТ настраивается вручную на шестиразовое включение приточного вентилятора в сутки в каждом случае на 30 мин. Реле КТ может быть перепрограммировано в соответствии с технологическими требованиями.

В период охлаждения и хранения с целью снижения температуры до оптимального уровня, в соответствии с технологическими требованиями, клубни картофеля вентилируют смесью наружного и внутреннего воздуха в те периоды суток, когда температура наружного воздуха не менее чем на  $4-5^{\circ}\text{C}$  ниже температуры насыпи картофеля. Охлаждают клубни медленно: на  $0,5-0,6^{\circ}\text{C}$  в сутки при максимальной влажности воздуха до 100 %. Период охлаждения длится 20-25 суток.

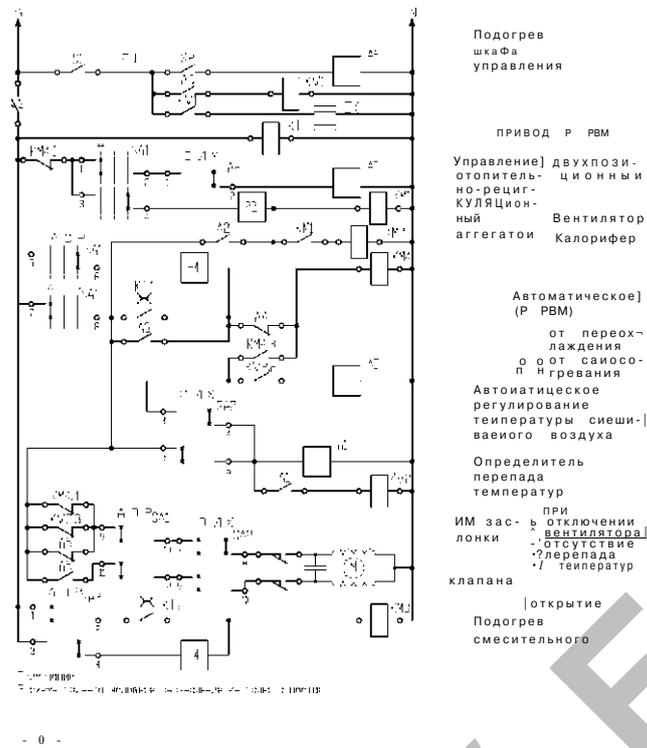


Рис. 2. Упрощенная принципиальная схема управления шкафа ШАУ-АВ

Контролируют перепад температуры с помощью датчиков температуры ТЕ1-1 и ТЕ1-2, установленных в насыпи картофеля снаружи хранилища.

Если разница температур больше так называемого дифференциала (свыше 2-3 °С), то срабатывает дифференциальный регулирующий прибор А1 и включает промежуточное реле КУ2 (размножитель контактов). Kontakтами КУ2.2 включается регулирующий прибор А5, который своими контактами управляет степенью открытия смесительного клапана.

Для получения смеси наружного и внутреннего воздуха с заданной температурой в хранилищах с активной вентиляцией применяются смесительные камеры, оборудованные одностворчатыми или жалюзийными поворотными клапанами с электрическими механизмами.

В качестве исполнительных механизмов регулирующих органов в системах вентиляции хранилищ применяют ИМ-2/120 и МЭО-4/100, время одного оборота выходного вала которых 100-120 с.

Открытие клапана производится замыкающим контактом А5 регулирующего прибора А5, тем самым происходит снижение температуры воздуха в смесительной камере до установленного значения, после чего контакт размыкается. Закрывается клапан автоматически после отключения привода вентилятора.

Датчик ТЕ5 терморегулятора А5 устанавливается после вентилятора в магистральном канале на расстоянии 2-3 м от него. В качестве регулирующего прибора может быть использован трехпозиционный регулирующий прибор. Верхнее значение установки «норма» должна соответствовать температуре хранения продукта, нижнее - установке минимально допустимого значения температуры хранимого продукта. При этом должно быть выполнено следующее условие:  $3T^d < A$  где  $T^d$  - постоянная времени датчика температуры регулирующего прибора;  $A$  - время снижения температуры воздуха после смесительного клапана на величину «норма». Если это неравенство не выдерживается, необходимо уменьшить скорость открытия клапана.

**Система аварийной защиты хранимого продукта от подмораживания и перегрева от самосогревания.** В качестве регулятора для аварийной защиты от подмораживания хранимого продукта может быть использован двухпозиционный регулирующий прибор (А4),

датчик которого устанавливается в магистральном канале после приточного вентилятора. При снижении температуры воздуха ниже допустимой, контакт регулирующего прибора в цепи катушки магнитного пускателя КМ4 размыкается и вентиляция овощей воздухом прекращается.

Для защиты картофеля от самосогревания также используется двухпозиционный регулирующий прибор (А3), датчик которого устанавливается в массе продукта на глубине 0,5-0,7 м. При повышении температуры картофеля выше допустимой замыкается контакт регулирующего прибора А3 в цепи катушки магнитного пускателя КМ4 и включается привод приточного вентилятора.

### Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из макета картофелехранилища с установленным на нем действующим клапаном с исполнительным механизмом, вентилятором приточной системы и рециркуляционно-отопительным агрегатом. Выводы привода и потенциометра обратной связи исполнительного механизма, а также вентиляторов приточной и рециркуляционно-отопительной систем соединены с контактами, закрепленными на панели макета щита управления.

При выполнении лабораторной работы следует уточнить, что в качестве приводов вентиляторов на макете использованы однофазные электродвигатели на напряжении 220 В мощностью 6 Вт.

В лабораторной установке использован серийно изготовленный ШАУ-АВ.

### Содержание отчета:

1. Схемы автоматизации и принципиальные схемы управления оборудованием вентиляции картофелехранилища для режимов: лечебный, охлаждения и хранения (раздельно) с кратким описанием.
2. Заполненная табл. 1.
3. Полная принципиальная схема управления вентиляцией картофелехранилища на базе современных цифровых средств автоматизации.

### Контрольные вопросы:

1. Объясните назначение каждого из пяти регулирующих приборов, используемых в системе управления вентиляцией картофелехранилища, и обоснуйте выбор типа регулирования.

2. В чем отличие используемых в установке датчиков температуры типа ТСМ и полупроводниковых, и к каким образом это влияет при настройке системы управления вентиляции картофелехранилища?

3. Объясните принцип работы программного устройства 2РВМ.

4. Объясните назначение контактов КТ.1, Л3 и Л4 в цепи управления КМ4 (рис. 2).

5. Объясните назначение контакта КМ4.1 в цепи питания регулятора Л2 (рис. 2).

6. Объясните назначение контактов КМ4.4, КУ2.3 в цепи управления исполнительным механизмом (рис. 2).

7. Используя схему автоматизации (рис. 1), раскройте объем автоматизации картофелехранилища отдельно по периодам хранения.

Лабораторная работа № 6

### ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ПОГРУЖНЫМИ НАСОСАМИ

*Цель работы:* изучение типовых решений автоматизации управления погружными насосами, освоение принципов построения систем управления на микропроцессорных устройствах управления, освоения методики настройки специализированных промышленных контроллеров.

*Оборудование:* справочные материалы, стенд с набором закрепленных элементов САУ и исполнительных устройств.

### Вопросы предварительного контроля:

1. Какие виды насосов получили распространение для водоснабжения сельского хозяйства?
2. Какие виды водонасосных установок используются в сельском хозяйстве?
3. Каковы схемы работы насосных установок?
4. Каковы параметры защиты погружных насосов?
5. Назовите источники экономии энергии при плавном регулировании частоты вращения насосов.

### Порядок выполнения работы:

1. Изучив раздел «общие сведения», сформулируйте требование к схеме управления и защиты погружных насосов.
2. В соответствии с приведенным описанием алгоритмов управления подающими насосами разработайте символическую запись алгоритма (по варианту, назначенному преподавателем).
3. На основании состава элементов САУ, представленных на стенде (рис. 3), разработайте принципиальную электрическую схему

управления в соответствии со сформулированными требованиями и алгоритмом управления.

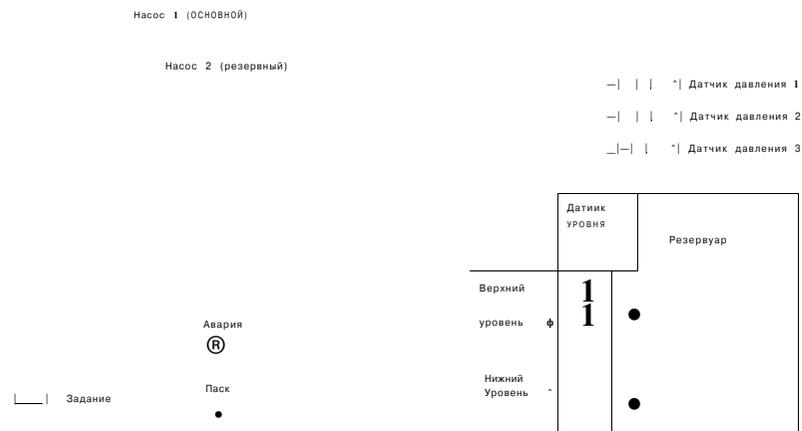


Рис. 3. Схема лабораторного стенда

4. Согласуйте схему с преподавателем, соберите схему управления на стенде, проверьте с преподавателем и опробуйте в работе установку.

5. Настройте логический контроллер для управления системой подающих насосов по заданному алгоритму (прил. 1) в соответствии с методикой [5]. Занесите шаги настройки в отчет.

6. Снимите диаграмму работы насосов по заданному алгоритму.

7. Составьте схему автоматизации управления подающими насосами по заданному алгоритму.

### Общие сведения

В сельском хозяйстве наибольшее распространение получили две системы водоснабжения:

- *башенная*, состоящая из погружного насоса, расположенного в скважине и подающего воду в водонапорную башню, откуда вода поступает потребителям;

- *безбашенная*, которая состоит из небольшого резервуара, куда вода поступает из скважины и далее - потребителям под напором, создаваемым скважинным насосом (система с пневмогидравлическим баком) или насосом второго подъема.

Последняя система позволяет создавать герметизированное устройство водоснабжения, в котором вода не имеет соприкосновения с окружающей средой. Однако такая система при работе насосов с постоянной частотой вращения не исключает влияния режима водопотребления на режимы работы электронасосов.

Чтобы избежать нерационального расходования воды и энергопотребления, необходимо согласовать подачу воды насосом с графиком водопотребления (при условии стабилизации давления независимо от текущего расхода).

Расчет и проектирование оптимальных режимов водоснабжения зависят от правильности расчета режима подачи и водопотребления. Для водоснабжения широко применяется повторно-кратковременный режим, при котором определяющее значение имеет регулирующая емкость и который характеризуется периодической работой насоса. При данном режиме насос работает в относительно узкой области характеристики, изменяя подачу воды в широких пределах за счет частоты включения насоса.

Система с водонапорной башней является одной из наиболее распространенных установок для сельскохозяйственного водоснабжения. Однако эти установки имеют ряд существенных недостатков: высокая первоначальная стоимость; необходимость утепления водонапорных башен при температуре воздуха ниже минус 20 °С; громоздкость; автоматизация насосной станции с помощью электродных датчиков, которые при низких температурах не работают; опасность загрязнения воды из-за попадания в емкость микроорганизмов.

В связи с этим установки с водонапорными башнями вытесняются более совершенными с пневмогидравлическими баками. Они надежны в санитарно-гигиеническом отношении. Для их установки не требуется строительство дорогостоящих конструкций. Нет необходимости устанавливать их на возвышении. Однако и пневмогидравлические баки имеют ряд недостатков. В период пуска и остановки возникают значительные колебания давления и расхода воды в системе, в результате чего частые включения этих установок, обусловленные их сравнительно небольшой емкостью, увеличивают износ управляющей электрической аппаратуры и регулирующей гидропневматической арматуры.

Для повышения уровня автоматизации систем сельскохозяйственного водоснабжения целесообразно рассмотреть возможность применения регулируемого электропривода. В данном случае воз-

можно не только повышение эксплуатационных показателей существующих систем, но и переход к прямоточной (без всяких баков) системе водоснабжения.

Существенным недостатком являются такие перерывы в подаче воды, которые происходят в основном из-за поломок электронасосного оборудования. Около 80 % электронасосов выходят из строя в результате повреждения статорной обмотки, связанного с неполнофазными режимами и электрическими перегрузками. Для устранения этих недостатков требуется надежная защита электронасосов от возникающих аварийных ситуаций.

Для защиты и управления погружными насосами были выпущены комплектные устройства.

Первой моделью были системы управления ПЭТ, где автоматическое управление по сигналам датчика уровня, защита от перегрузок и «сухого» хода осуществлялись на базе релейных элементов. Для защиты от перегрузок применялись тепловые реле, имеющие большой разброс в зависимости от температуры и влажности окружающей среды.

Многие недостатки релейной автоматики обусловили необходимость создания более совершенных устройств. Были разработаны новые комплектные «Сауна» на базе логических транзисторных элементов серии «Логика Т».

В настоящее время в локальных системах сельскохозяйственного водоснабжения наибольшее распространение получили системы автоматического управления и защиты типа «Каскад», которые выполняют функции автоматического пуска электронасоса в режиме водоподъема за время, не превышающее 15 мин, в зависимости от давления столба воды в водонапорной башне, и автоматического останова электронасоса через время, выбранное оператором, но не более 90 мин; местный пуск и останов электронасоса; дистанционный пуск и останов электронасоса.

Существенным недостатком описанных выше устройств является то, что с их применением не обеспечивается благоприятный пуск насоса при включении. При прямом пуске насоса в сеть возникает мощный гидравлический удар, который ведет к быстрому выходу из строя насоса, скважины, трубопроводной сети и гидротехнической арматуры.

Указанный недостаток частично устранен в устройстве плавного пуска. Тиристорный коммутатор может обеспечить прямой неуправляемый пуск погружного электродвигателя и управляемый

с заданной (динамической) нагрузкой. Плавный пуск погружного насоса обеспечивается сочетанием двух способов - прямого и управляемого. Первоначально на электродвигатель в течение 0,03-0,06 с подается полное напряжение сети (так называемый первый импульс). Он необходим для создания момента, обеспечивающего надежное строгивание ротора электродвигателя из состояния покоя. Затем на электродвигатель подается пониженное напряжение, которое постепенно увеличивается до номинального, плавно разгоняя ротор электродвигателя до расчетной частоты вращения. Увеличение напряжения на асинхронном электродвигателе осуществляется за счет изменения угла проводимости тиристорного коммутатора.

Наиболее рациональный способ пуска двигателя может быть осуществлен с помощью преобразователя частоты. При этом регулирование частоты вращения насоса производится не только изменением напряжения, но и частоты. При таком способе управления электродвигатель насоса регулируется в широком диапазоне частот, в простейшем случае - с номинальным вращающим моментом и номинальным потреблением тока. При этом целесообразно регулирование частоты вращения насоса не только с целью обеспечения легкого его пуска, но и для регулирования напора в режиме водоснабжения, чем обеспечивается полное согласование режима работы насоса с режимом водопотребления - наиболее экономичный способ при повышении надежной системы водоснабжения и уменьшении капитальных затрат на ее создание.

Регулирование частоты вращения дает следующие преимущества: мягкий пуск; регулируемое время ускорения и замедления; точная скорость; возможность дистанционного управления; сопряжение с ЭВМ и пр. Данные преимущества позволяют снизить энергозатраты в технологических процессах; повысить надежность работы насоса и всей сети; упростить конструкцию оборудования; повышать степень автоматизации; повысить качество технологического процесса; снизить трудовые затраты.

Применение регулирования частоты вращения насоса в башенной системе также дает преимущества. Экономия электроэнергии обеспечивается за счет выбора оптимального уровня воды в башне, что позволяет снизить статическую составляющую напора, а это, в свою очередь, ведет к снижению энергозатрат.

Кроме того, следует учитывать, что в башенной системе без регулирования насос при наполнении башни работает на полную производительность достаточно длительное время, что ведет к понижению уровня воды в скважине. При этом насос должен создавать повышенный напор, что требует дополнительных энергозатрат по сравнению с регулируемой подачей воды, когда подача воды производится в соответствии с расходом. Кроме того, в данном случае система водоснабжения может быть построена таким образом, что водонапорная башня после наполнения отключается от системы водоснабжения и служит исключительно для обеспечения резервного запаса воды. Насосная установка в данном случае работает непосредственно на сеть потребителей. Все остальные преимущества, которые обеспечивает регулирование частоты вращения в безбашенной системе, проявляются и в системе водоснабжения с водонапорной башней.

Таким образом, башенная система водоснабжения является неплохим устройством, обеспечивающим соответствие режимов водоподдачи и водопотребления, но она неперспективна из-за ряда существенных недостатков: высокая стоимость, открытая система с пневмогидравлическим баком устраняет основные недостатки башенной системы, но сама обладает существенным недостатком - повторно-кратковременный режим работы, ведущий к снижению надежности. Простые устройства пуска электронасоса в сеть (регулятор напряжения) не дают полного эффекта устранения этого недостатка и не позволяют регулировать подачу воды в течение технологического процесса. Применение регулируемого электропривода позволяет перейти к прямоточной системе водоснабжения, а также снизить эксплуатационные расходы, экономить электроэнергию и повысить надежность, в том числе и в существующих системах водоснабжения.

В последнее время промышленность выпускает специализированные микропроцессорные устройства, обеспечивающие управление подающими насосами по готовым алгоритмам [1], раскрытым в прил. 1.

#### Содержание отчета:

1. Схема автоматизации управления насосами.
2. Принципиальная схема управления подающими насосами.

3. Алгоритм управления подающими насосами.
4. Методика настройки логического контроллера САУ-МП на заданный алгоритм управления.
5. Диаграмма работы насосов по заданному алгоритму.

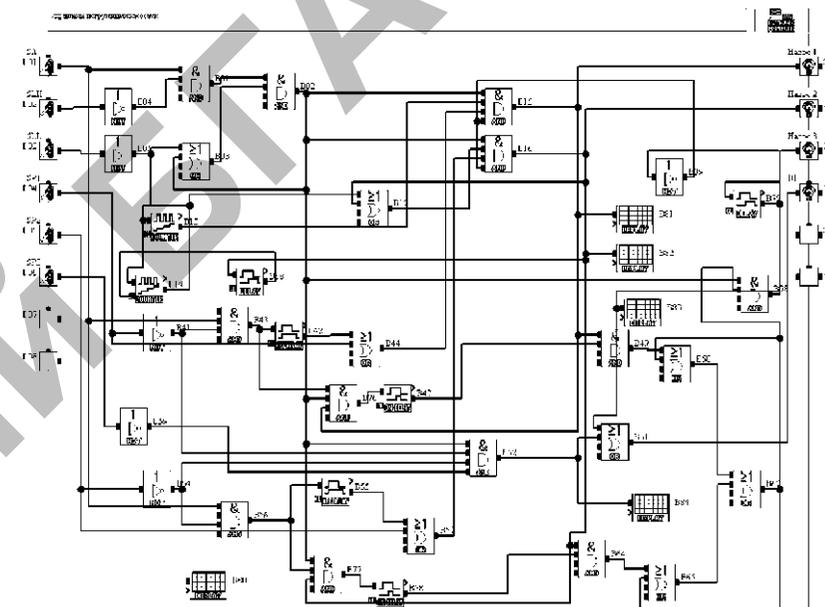


Рис. 4. Реализация алгоритма управления насосами в системе водоснабжения

#### Контрольные вопросы:

1. Раскройте схемы работы погружных насосов.
2. Раскройте алгоритмы управления подающими насосами, реализуемые современными микропроцессорными устройствами.
3. Какова методика настройки логического контроллера для управления системой подающих насосов?
4. Принципы автоматизации водонасосных установок для ферм и населенных пунктов.
5. Принципы автоматизации насосных станций для мелиорации.
6. Принципы автоматизации перекачки сточных вод.

**ИЗУЧЕНИЕ ТИПОВЫХ И СИНТЕЗ САУ  
ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ  
ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ И ПТИЧНИКОВ**

*Цель работы:* изучение типовых решений приточных систем вентиляции, освоение методики синтеза и схемной реализации САУ приточной вентиляцией.

*Оборудование:* стенд с закрепленными элементами САУ приточной вентиляцией, измерительные приборы, магазин сопротивлений, методические указания, справочные материалы.

**Вопросы предварительного контроля:**

1. Каковы основные требования к системам вентиляции?
2. Какие три периода выделяют в режимах работы вентиляционно-отопительного оборудования?
3. Каков состав оборудования систем приточной вентиляции?

**Порядок выполнения работы:**

1. Ознакомьтесь с принципами реализации САУ приточной вентиляцией (общие сведения).
2. Используя диаграммы работы регулирующих приборов ТЭ3ПЗ (двухпозиционный) и ТЭ4ПЗ (трехпозиционный), заполните обозначения контактов регулятора (вместо вопросов) на принципиальной электрической схеме (рис. 5).
3. Подайте напряжение на лабораторный стенд, переведя рукоятку переключателя в положение 1. Убедитесь, что на регуляторы подано напряжение питания по свечению индикаторов.
4. Используя в качестве индикатора замыкания контактов омметр тестера, проверьте правильность заполнения позиционных обозначений контактов разъемов регулирующего прибора (предыдущий пункт).



Снимите со стенда напряжение. Убедитесь, с помощью вольтметра, в его отсутствии.

5. Соберите схему управления приточной вентиляцией в соответствии с принципиальной электрической схемой и проверьте монтаж вместе с преподавателем.

6. Подайте напряжение на стенд и апробируйте схему управления.

7. Убедитесь в соответствии работы схемы алгоритму и отчитайтесь перед преподавателем налаженным стендом.

8. Отключите напряжение со стенда. Разберите схему.

### Общие сведения

На современных птицефабриках и животноводческих комплексах внедрение новой промышленной технологии производства продукции значительно усложнило взаимодействие организма животных и птицы с внешней окружающей средой. При большой концентрации животных и птицы с уплотненным ее размещением решающая роль в повышении резистентности организма, увеличении продуктивности отводится созданию оптимального микроклимата. Содержание в помещении продуктов обмена веществ, организмов, бактериальная обсемененность воздуха, отрицательно сказывающиеся на здоровье и физиологическом состоянии, находятся в прямой зависимости от концентрации поголовья.

Воздействие различных факторов окружающей среды на организм животных и птицы проявляется в глубоких и серьезных изменениях физиологических процессов: кровообращения, дыхания, терморегуляции, газообмена и обмена веществ, что, в свою очередь, оказывает влияние на резистентность организма и, естественно, на продуктивность.

Оптимальное суммарное значение отдельных факторов - температура, влажность, скорость движения и газовый состав окружающего воздуха, наличие пыли и микроорганизмов, уровень радиации, ионизация, освещение, атмосферное давление и прочее - и есть микроклимат.

Микроклимат в помещениях зависит от многих условий - местного (зонального) климата, теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания, уровня воздухообмена, эффективности вентиляции, состояния канализации, способов уборки и удаления помета,

освещения, а также от технологии содержания и вида животных и птицы, особенностей их физиологии и обмена веществ, плотности размещения, типа кормления, способов раздачи кормов и т. д. Большое значение придается также ориентации зданий, объемно-планировочным особенностям конструкций зданий, виду и качеству строительных материалов, ограждающих конструкций, внутреннему оборудованию.

Создать оптимальные зоологические условия на фермах и комплексах можно только при осуществлении комплекса мероприятий:

- рационализация объемно-планировочных решений зданий;
- улучшение теплоизоляции ограждающих конструкций;
- применение эффективных канализационных и вентиляционных систем;
- применение систем кондиционирования и очистки воздуха, ионизации и т. д.

Проблему создания микроклимата в промышленном животноводстве невозможно решить без эффективных систем вентиляции.

Воздухообмен не только должен создать в помещении оптимальный температурно-влажностный режим и поддерживать газовый состав воздуха в соответствии с зоогигиеническими нормативами, но и способствовать удалению пыли и предотвращению попадания микроорганизмов внутрь помещения.

Установлено, что если в помещении отсутствует необходимый воздухообмен, уменьшается продуктивность животных и птицы. В то же время излишне большой воздухообмен ведет к нерациональным затратам электроэнергии и расход тепла на обогрев вентиляционного воздуха в зимний период.

Эффективность систем вентиляции помещений в значительной степени определяется аэродинамическими схемами организации воздухообмена [6]. Наиболее экономичными и приемлемыми для большинства типов помещений являются механические приточно-вытяжные системы вентиляции, совмещенные с воздушным отоплением, с аэродинамической схемой воздухообмена по принципу «сверху вниз»: в зимний период подача свежего воздуха осуществляется через водяные, паровые калориферы и центробежные вентиляторы по воздуховодам; в теплый период - через шахты в потолочном перекрытии. Удаляют загрязненный воздух из нижней зоны в птичниках при помощи осевых вентиляторов, установленных в боковых стенах конструкции.

По характеру распределения приточного воздуха различают механические системы вентиляции с рассредоточенной подачей (путем мощных струй). Чтобы избежать образования «воздушных мешков» или зон застойного воздуха в помещениях, приточные и вытяжные вентиляторы следует размещать на расстоянии не менее 2,5 м один от другого, а приточные отверстия располагать так, чтобы они не находились против вытяжных шахт, дверей и вытяжных шахт, дверей и вытяжных вентиляторов.

При расчете приточной и вытяжной систем вентиляции следует предусмотреть превышение притока воздуха над вытяжкой примерно на 10-20 %. Создаваемый таким образом подпор воздуха предохраняет от проникновения в помещение инородных частиц и болезнетворных микроорганизмов.

Механические системы вентиляции, несмотря на конструктивную сложность, сравнительно высокую стоимость и значительные эксплуатационные расходы, имеют некоторые преимущества перед системами вентиляции с естественным побуждением: работа систем не зависит от внешних метеорологических условий, приточный воздух можно подвергнуть любой обработке.

Необходимым условием эффективной работы вентиляционно-отопительных систем является их автоматизация, использование рациональных систем автоматического регулирования параметров микроклимата.

Для обеспечения микроклимата в помещениях серийно выпускалось и выпускается вентиляционно-отопительное оборудование «Климат-2», «Климат-3», «Климат-4», СФОЦ, АЭСМ, ПВУ-4, ПВУ-6, ПВУ-9, МКВА УЗ и «Климатика» (в вытяжных системах вентиляции).

Оборудование «Климат-2», «Климат-3» и ПВУ предназначено для создания систем приточно-вытяжной вентиляции, воздушного отопления и испарительного охлаждения приточного воздуха различных животноводческих и птицеводческих помещений. Оно включает: на притоке комплект оборудования, состоящего из двух центробежных вентиляторов Ц4-70 с приводом от трехскоростного электродвигателя и с турбоувлажнителями, смонтированными непосредственно в приточном патрубке вентилятора; два бачка с водой для питания турбоувлажнителей; два электромагнитных клапана СВМ-25 для управления подачей воды в турбоувлажнителях; станцию автоматического управления всем оборудованием с комплектом датчиков. В оборудование

«Климат-3», кроме того, входят два регулирующих клапана 25ч931НЖ с моторным ИМ ПР-1 М для автоматизации регулирования подачи горячей воды в водяные калориферы; состав оборудования зависит от модификаций, водяные калориферы подбирают по проекту системы регулирования микроклимата конкретного помещения.

Схема управления и сигнализации приточной системы вентиляции предусматривает ручное переключение ступеней вращения приточных вентиляторов.

Регулирование подогрева в системе «Климат-2» обеспечивается изменением количества, проходящего через калорифер воздуха, а в системе «Климат-3» изменением количества (нерегулируемого) теплоносителя, проходящего через водяные калориферы, посредством регулирующего клапана типа 29ч931 нв, моторным ИМ типа ПР-1 М и включаемым ступенчатым импульсным прерывателем.

Предусмотрена автоматическая защита водяных калориферов от замораживания.

Оборудование ПВУ в связи с малой эффективностью имеет ограниченное применение.

Частоту вращения электропривода вентилятора можно изменить только вручную, теплопроизводительность - пропорциональным регулятором. Предусмотрена защита теплообменника от размораживания [2].

В качестве вытяжной системы вентиляции оборудования «Климат-2» и «Климат-3» используется комплект оборудования «Климат-4».

При использовании ТЭНов в приточных системах вентиляции для нагрева воздуха теплопроизводительностью приточных установок (СФОЦ, СФОА) управляют ступенчато. Воздухопроизводительность установок постоянная.

Оборудование АЭСМ состоит из двух высоконапорных вентиляторов, электронагревателей и шкафа управления. Теплопроизводительность изменяется ступенчато, при помощи терморегулирующего прибора типа ТЭЗП, воздухопроизводительность - подключением второго вентилятора, регулирующим прибором типа СПР по влажности воздуха внутри помещения.

Недостатком систем «Климат-2», «Климат-3», СФОА является то, что управление приводами вентиляторов, а соответственно, воздухопроизводительностью системы вентиляции производится вручную.

В оборудовании АЭСМ воздухопроизводительность меняется в зависимости от влажности воздуха внутри помещений, однако датчики влажности в аммиачной среде выходят из строя, и система управления становится неработоспособной.

### Синтез системы управления микроклиматом в животноводческих помещениях и птичниках

К системам вентиляции предъявляются определенные требования: они должны создавать в различные периоды года, необходимый воздухообмен на единицу живой массы, животных (птицы) и обеспечивать равномерное распределение и циркуляцию воздуха внутри помещения, чтобы не было мест застоя и скопления влажного запрещенного воздуха («мертвых зон»).

Режимы работы вентиляционно-отопительного оборудования на протяжении всего года принято условно делить на три периода.

*Холодный период* охватывает сезон, когда вследствие низкой температуры наружного воздуха, тепла, вырабатываемого животными и птицей, не хватает для поддержания в помещениях необходимой температуры воздуха. С целью экономии тепла воздухообмен должен быть минимальным. Вследствие низкого влагосодержания холодного наружного воздуха в помещении наблюдается малая относительная влажность. Воздухообмен определяется по условию удаления углекислоты, и лишь при небольших холодах - избытков влаги.

*Переходный период* охватывает весенний и осенний сезоны, в течение которых относительная влажность воздуха увеличивается по сравнению с холодным периодом. Температура принимает значение в промежутках от 0 до плюс 10 °С. В этот период в зависимости от вида и возраста животных и птицы может наблюдаться как дефицит, так и избыток тепла, следовательно, действие дополнительного обогрева может иметь как регулярный, так и непостоянный характер, или отопительная система может не использоваться вовсе. Вследствие увеличенного влагосодержания наружного воздуха воздухообмен в переходный период определяется из условий удаления избыточной влаги или излишков тепла.

*Теплый период* соответствует летнему сезону, когда помещение не требует дополнительного обогрева, а, наоборот, в таких поме-

щениях образуются излишки тепла, которые необходимо удалять при помощи резкого увеличения воздухообмена.

В дополнение к сказанному в табл. 2 приведены данные по воздухообмену в птичнике на 12 тыс. кур-несушек.

Таблица 2

Данные по воздухообмену в птичнике на 12 тыс. кур-несушек

Количество воздуха, необходимого для удаления вредных веществ и тепла из птичника, м <sup>3</sup> /ч	Периоды года		
	Холодный	Переходной	Теплый
по углекислоте	16 000	16 000	16 000
по свободному теплу	-	44 700	99 500
по влаге и теплу	-	31 300	14 500
по влаге	12 500	-	-

Из вышеприведенного анализа работы оборудования по периодам года следует, что при температуре наружного воздуха ниже 0 °С воздухообмен в животноводческих помещениях и птичниках минимальный, постоянный и определяется из условий удаления углекислоты. В переходный период воздухообмен плавно увеличивается и в начале периода определяется из условий удаления влаги, а в конце - из условий удаления тепла. В теплый период года воздухообмен резко увеличивается и определяется по температурному режиму внутри помещений. Так, увеличение воздухообмена для птичников по сравнению с зимним периодом 6-8-кратное, для свинарников 2,5-3-кратное.

Таким образом, оптимальной по технологическим и экономическим критериям будет являться САУ, представленная на рис. 6, где воздухообмен в помещениях обеспечивается: в зимний период - посредством датчика <2E и регулирующего прибора <2C концентрации CO<sub>2</sub> в помещениях; в переходный период - посредством датчика ME и регулирующим прибором MC влажности воздуха и в летний период - посредством датчика TE и регулирующего прибора температуры TC.

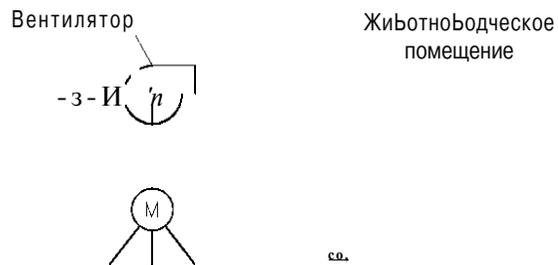


Рис. 6. САУ микроклиматом

Способ регулирования (позиционное или непрерывное) определяется:

- технологическими требованиями к качеству регулирования;
- динамическими характеристиками ОУ;
- типом управляющего устройства, допускающего позиционное или плавное управление регулирующим органом (РО).

Позиционные регуляторы являются наиболее простыми и удобными, поэтому им отдается предпочтение в случаях, если они удовлетворяют качеству регулирования.

При выборе регулятора по принципу действия, прежде всего, обращают внимание на то, какое управление допускает конструктивное исполнение регулирующего органа. Например, асинхронные электроприводы единой серии допускают только позиционное управление, а положение клапанов, задвижек и т. п. может изменяться и плавно. Простейшие двух- и трехпозиционные регуляторы рекомендуется применять для статических объектов с мало и плавно изменяющейся нагрузкой и относительно небольшим запаздыванием, если допускаются незатухающие колебания регулируемого параметра при соотношениях:

$$t/T < 0,2, \quad (8)$$

$$t = t_{po} + T_{po} + t_o \quad (9)$$

где  $t^o, t^{po}$  - запаздывание в РО и ОУ;

$T, T$  - постоянная времени емкостного РО и ОУ.

При соотношении  $t/T^0 < 1,0$  рекомендуются регуляторы непрерывные.

В процессе проектирования САУ и выбора технических средств автоматики появляется еще один фактор - отсутствие датчиков и, в основном, их первичных преобразователей. Особенно остро этот вопрос стоит в сельскохозяйственном производстве с его специфическими требованиями, которые часто не позволяют использовать датчики общепромышленного назначения.

Параметры микроклимата в животноводческих помещениях и птичниках устанавливаются в соответствии с нормативными параметрами [6].

В табл. 3 приведены допустимые отклонения параметров микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях, которые не ведут к экономическому ущербу.

Таким образом, технологическими требованиями допускаются незатухающие колебания регулируемого параметра.

Таблица 3

Допустимые отклонения параметров микроклимата в помещениях

Наименование помещения	Допустимые отклонения		
	концентрации CO <sub>2</sub> , %	влажности, %	температуры воздуха, °C
Коровник	< 0,25	35	2-3
Птичник	< 0,2	10	2-3
Свинарник	< 0,2	30	4-6

По каналу регулирования влажности и концентрации газов динамическую характеристику ОУ можно представить аperiodическим звеном первого порядка  $IY(p) = \kappa^o / (T^o p + 1)$ , так как емкостью ОУ является только воздушная среда помещения, и статизм этих объектов связан с зависимостью потоков влаги и газов с вентиляционным воздухом от регулируемой величины и концентрации их в воздушной среде.

Учитывая, что  $t \ll T^0$ , то и по динамическим характеристикам ОУ допускается позиционное регулирование.

Таким образом, по критериям технологических требований, динамических характеристик ОУ и выбора типа управляющего устройства для обеспечения воздухообмена в животноводческих помещениях и птичниках с заданным качеством управления можно применить позиционное регулирование, однако в настоящее время отсутствуют работоспособные первичные преобразователи  $\text{CO}_2$  и влажности воздуха для условий эксплуатации в аммиачной среде животноводческих помещений и птичников.

В таких случаях при разработке САУ можно использовать метод косвенного управления исполнительными устройствами (приводом вентилятора).

В связи с отсутствием датчиков концентрации  $\text{CO}_2$  и влажности величину воздухообмена определяют расчетным путем для конкретного поголовья животных и птицы.

Выполнив расчеты вентиляции на удаление влаги и углекислоты, сравнивают полученные результаты и выбирают большее значение воздухообмена. Это и будет расчетный режим вентиляции. Как показывают практические расчеты в холодный период года воздухообмен: минимальный и его можно выполнить по условию удаления избыточной углекислоты. В переходный период в связи с тем, что влажность наружного воздуха увеличивается, увеличивается в 2-3 раза воздухообмен, но в данном случае его следует выполнять по условию удаления избыточной влаги.

В жаркое время за счет тепла, выделяемого животными и птицей, в помещении образуется значительный избыток тепла. Наиболее просто снижение температуры достигается путем усиленной вентиляции, максимальный режим вентиляции рассчитывается так, чтобы летом, в жаркую погоду, обеспечить температуру воздуха внутри помещения не более чем на  $5^\circ\text{C}$  выше температуры наружного воздуха.

Для этого кратность воздухообмена увеличивается в несколько раз по сравнению с зимним периодом.

Так, в птичниках для кур-несушек летом подачу воздуха (по сравнению с зимой) увеличивают в 3-5 раз, а в птичниках для выращивания бройлеров - в 6-10 раз.

Если в максимальном режиме вентиляции температура превысит плюс  $33^\circ\text{C}$ , необходимо применять средства для дополнительного охлаждения воздуха.

При расчете вентиляции на удаление излишков влаги и углекислоты или излишков тепла летом одновременно выполняются условия и по удалению всех вредных газов. Их концентрация при такой вентиляции не превысит установленных норм [7].

Определив расчетным путем режим вентиляции в зимний, переходный и теплый периоды года, можно посредством трехпозиционного регулирующего прибора температуры автоматически менять воздухопроизводительность центробежных вентиляторов только ступенчато.

При проектировании системы воздухораспределения следует учитывать тот фактор, что воздухопроизводительность одного воздуховода нельзя увеличивать более чем в 2 раза, в связи с чем в помещениях, где воздухообмен превышает двукратную величину, раздачу воздуха следует производить по двум воздуховодам и в качестве привода вентиляторов использовать многоскоростные электродвигатели.

Требования к качеству регулирования температуры в животноводческих, птицеводческих и других помещениях зависят от вида и возраста животных или птиц и определяются нормами технологического проектирования.

Для КРС отклонение от расчетной температуры в зимнее время не должно превышать  $\pm 2^\circ\text{C}$ , а в теплый период года (при температуре плюс  $10^\circ\text{C}$  и выше) температура воздуха внутри помещения не должна быть более чем на  $5^\circ\text{C}$  выше расчетной наружной температуры для проектирования вентиляции.

Расчетная зимняя температура в зависимости от возраста КРС находится в пределах от 3 до  $15^\circ\text{C}$ .

Для свиноводческих помещений расчетная зимняя температура находится в пределах от 16 до  $20^\circ\text{C}$ , в зависимости от назначения помещений.

Расчетная зимняя температура в птицеводческих помещениях зависит от вида птицы, способа ее содержания и возраста. Она должна находиться в пределах от 7 до  $16^\circ\text{C}$ .

При исследовании объекта учитывают температуру внешней среды, ветер, солнечную радиацию и другие факторы. Выходной величиной

управляемого объекта является температура внутри помещения  $\theta_{в}$ , а входной - подача тепла или пропорциональное положение РО. На температуру в помещении влияют температура наружного воздуха  $\theta_{н}$ , изменение потерь теплоты через ограждения, тепловыделения животных или птицы и другие возмущения. Уравнение теплового баланса объекта в установившемся режиме имеет вид:

$$\theta_{в} = \frac{P \cdot c \cdot \rho \cdot V_{в} \cdot (\theta_{в} - \theta_{н}) + Q_{в}}{P \cdot c \cdot \rho \cdot V_{в} + K \cdot S} \quad (10)$$

где  $n$  - число животных (птицы) в помещении;

- тепловыделения животных (птицы);

$c$  - теплоемкость воздуха;

$\rho$  - плотность воздуха;

$K$  - коэффициент теплопередачи ограждений;

$S$  - площадь ограждений.

Преобразуя уравнение, получаем выражение для температуры внутри помещения в установившемся режиме:

$$\theta_{в} = \theta_{н} + \frac{P \cdot Q_{в}}{P \cdot c \cdot \rho \cdot V_{в} + K \cdot S} \quad (11)$$

Коэффициент передачи объекта определяется выражением:

$$k_o = \frac{P \cdot Q_{в}}{P \cdot c \cdot \rho \cdot V_{в} + K \cdot S} \quad (12)$$

В первом приближении управляемый объект можно представить аperiodическим звеном первого порядка и звеном чистого запаздывания. Передаточная функция объекта имеет вид:

$$W(p) = \frac{k_o}{T_o p + 1}$$

Ориентировочные значения коэффициентов передаточной функции для усредненных помещений и способов вентиляции, полученные аналитическим путем, приведены в табл. 4.

Коэффициенты передаточной функции

Здание	$k_o$	$T_o$ , с	$T_o$ , с
Молочная ферма на 400 голов	1,4	500	40
Откормочник молодняка крупного рогатого скота 2-го периода	0,9	200	20
Свинарник-откормочник	1,5	300	30
Птичник на 10 тыс. голов	0,8	250	20

### Содержание отчета:

1. Схемы автоматизации микроклимата в животноводческих помещениях и птичниках (при обогреве помещений электрокалорифером и водяным калорифером). Предусмотреть трехступенчатое регулирование воздухообмена (в зимний период включается вентилятор  $L^1$ , в переходный - вентилятор  $L^2$ , в летний - оба вентилятора). Предусмотреть защиту водяного калорифера от замерзания.

2. Полная принципиальная электрическая схема управления оборудованием САУ микроклиматом животноводческих помещений при обогреве электрокалорифером (соответственно оборудованию стенда).

### Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте понятие косвенного управления оборудованием.
2. Какие принципы регулирования Вы знаете, и каким образом они определяются?
3. Каковы две группы законов регулирования? Каким образом выбрать закон регулирования?
4. Каким образом влияет на технико-экономические показатели производства животноводческой и птицеводческой продукции применение САУ микроклиматом с позиционным и непрерывным регулированием параметров?

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫТЯЖНЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ**

*Цель работы:* изучение типовых решений по автоматизации вытяжных систем вентиляции; освоение методики определения характеристик регулятора; изучение возможностей использования преобразователя частоты в системах вентиляции и управления им с помощью контроллера.

*Оборудование:* стенд с техническими средствами автоматизации; осевой вентилятор с электроприводом типа Д80; контрольно-измерительные приборы; справочные материалы.

### **Вопросы предварительного контроля:**

1. Перечислите состав оборудования системы вытяжной вентиляции.
2. Приведите основные технические характеристики преобразователя частоты НисЫ 8Л00.
3. Приведите основные технические характеристики а-контроллера.

### **Порядок выполнения работы:**

1. Изучив общие сведения и описание преобразователя частоты (прил. 2), используя состав аппаратуры наборного поля (рис. 7), разработайте принципиальную схему управления вытяжным вентилятором:

- а) по показаниям датчика температуры, подключенного к преобразователю частоты;
- б) по показаниям датчика температуры, подключенного к а-контроллеру, который управляет преобразователем частоты.

2. Снимите расходную характеристику, для чего необходимо:  
- подать напряжение на стенд, автоматическим выключателем 8P1, далее - на преобразователь частоты тумблером 8A;

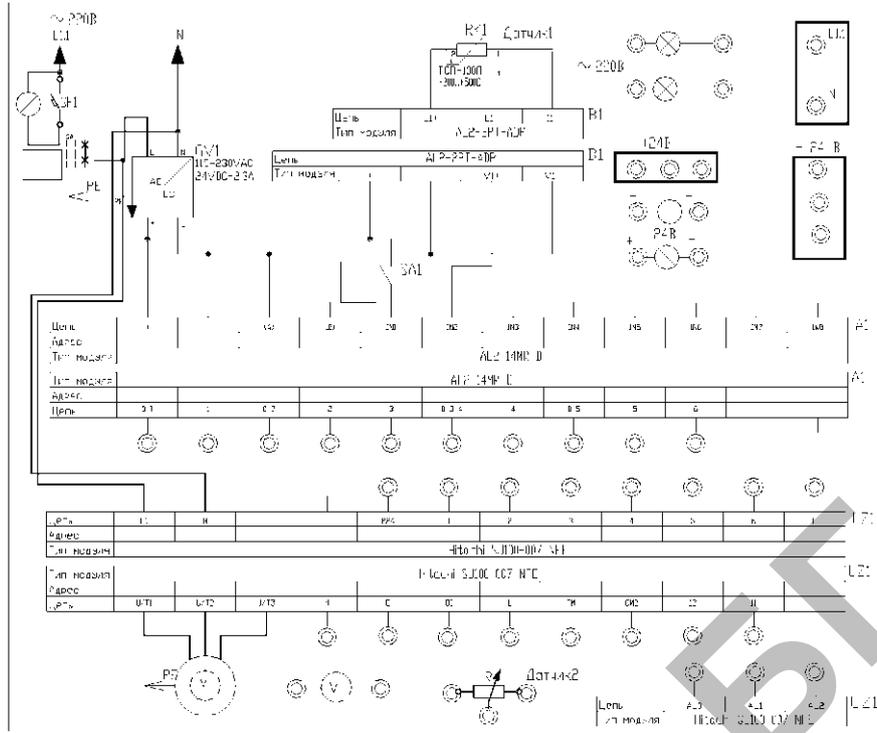


Рис. 7. Наборное поле

- вращая ручку встроенного потенциометра преобразователя, в табл. 5 зафиксировать напряжение и угол отклонения полоски индикатора;

- снять напряжение со стенда.

3. Построить расходную характеристику  $O = \Gamma (/)$ , рассчитав частоту и расход воздуха по тарифовочным справочным таблицам.

Таблица 5

Данные для расчета расходной характеристики

V, В	$\alpha, ^\circ$	$\Gamma, \text{Гц}$	$O, \text{м}^3/\text{ч}$	$\alpha, \text{В}$	$\alpha, ^\circ$	$\Gamma, \text{Гц}$	$O, \text{м}^3/\text{ч}$

4. Вместо датчика подключите потенциометр К в соответствии со схемой подключения (прил. 2), проверьте ее с преподавателем, задайте код 01 функции задания частоты А01 (прил. 2) и снимите расходную характеристику для этого случая. После задания кода функции А01 верните на дисплей инвертора индикацию частоты функцией сЮ1.

5. Соберите схему управления с контроллером на наборном поле, проверьте ее с преподавателем, задайте коэффициенты минимальной, средней и максимальной частоты (с01-с04), опробуйте схему в работе и заполните табл. 6.

Таблица 6

Параметры системы вентиляции

Уровень воздухообмена	Коэффициент	Значение	$\alpha, \text{В}$	$\alpha, ^\circ$	$T, ^\circ\text{C}$	$\Gamma, \text{Гц}$	$O, \text{м}^3/\text{ч}$
Минимальный							
Средний							
Максимальный							

6. Постройте характеристику  $T = \Gamma'' (/)$

7. Определите статистическую характеристику устройства управления «Климатика», для чего:

- подключите к устройству «Климатика» вместо датчика температуры магазин сопротивлений;

- установите ручку «установка температуры» на панели управления устройства «Климатика» в положение одного из значений температуры;

- используя характеристики термопреобразователей, приведенных в [8], определите «цену»  $1 ^\circ\text{C}$  в сопротивлении преобразователя;

- подайте напряжение на устройство управления «Климатика»;

- установите сопротивление магазина сопротивлений на величину, соответствующую значению температуры, установленной рукояткой «установка температуры»;

- снимите показания частоты вращения электродвигателя с индикатора тахометра;

- одновременно с этими показаниями по осциллограмме определите угол открытия тиристора;

- изменяя сопротивление индикатора термопреобразователя, определите изменение частоты вращения электродвигателя;

- показания измерений занесите в таблицу;

- используя регулировочные характеристики вентиляторов серии ВО, приведенные в [7], постройте статическую характеристику устройства управления «Климатика»  $O = \Gamma (/)$ ; статическую характеристику устройства «Климатика» постройте для трех значений установки рукоятки «установка температуры»;

- постройте характеристику  $n = \Gamma(\alpha)$ , где  $n$  - частота вращения вентилятора,  $\alpha$  - угол открытия тиристора.

### Общие положения

На современных животноводческих и птицеводческих фермах, комплексах в результате внедрения новой промышленной технологии производства продукции значительно усложнилось взаимодействие организма животного и птицы с внешней окружающей средой. При большой концентрации животных и птицы осложнилась задача создания в помещении оптимального микроклимата - температуры, влажности, скорости движения и газового состава окружающего воздуха, наличие пыли и микроорганизмов, уровня радиации, ионизации, а также освещения, давления и прочее.

Создание оптимальных зоогигиенических условий в животноводческих и птицеводческих помещениях возможно только при осуществлении рациональной системы вентиляции.

По принципу действия и конструктивным особенностям системы вентиляции подразделяются на следующие типы: естественная вентиляция, вентиляция с механическим побуждением тяги и вентиляция комбинированного типа.

Вентиляция с механическим побуждением тяги является наиболее эффективной. Ее используют в крупных животноводческих и птицеводческих помещениях.

Вентиляция с механическим побуждением разделяется на приточную и вытяжную.

Применение механических систем вентиляции позволяет предотвратить задувание воздуха через вытяжные шахты и окна и обеспечить более равномерное температурное поле внутри помещений.

При расчете воздухообмена производительность на притоке должна на 15-20 % превышать производительность вытяжной системы вентиляции, в противном случае в помещении будет образовываться разрежение воздуха, вследствие чего через всевозможные щели, неуплотненные дверные и оконные проемы внутрь помещения вместе с воздухом засасывается пыль, содержащая бактерии.

Для эффективной работы системы вентиляции в широкогабаритных птичниках вытяжка воздуха осуществляется через отверстия в продольных стенах на уровне 0,8-1,0 м от пола в шахматном порядке на расстоянии не более 6 м один от другого.

Для вытяжки воздуха используются электродвигатели с плавным регулированием частоты вращения [7] в широких пределах изменением напряжения питания электродвигателя.

Система автоматического регулирования вентиляционных установок должна обеспечить поддержание заданной температуры в помещении.

Требования к качеству регулирования температуры в животноводческих, птицеводческих и других помещениях зависят от вида и возраста животных и птиц и определяются нормами технологического проектирования.

Расчетная зимняя температура в птичниках должна находиться в пределах 7-16 °С. В теплый период года расчетная температура воздуха внутри помещений для содержания птицы не должна быть более чем на 5 °С выше температуры наружного воздуха, но не более 33 °С.

Таким образом, с повышением температуры наружного воздуха летом производительность вытяжных вентиляторов повышается в несколько раз, что видно на рис. 8.

Для автоматического управления системой вентиляции в птичниках и других помещениях используются станции управления «Климат-4» [2, 7], МКВАУ и «Климатика» [9].

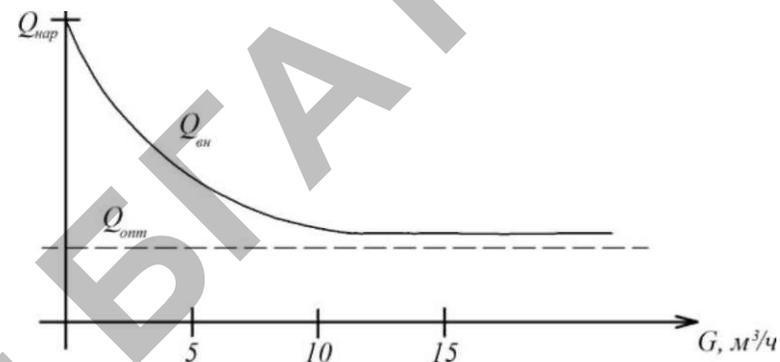


Рис. 8. Зависимость температуры внутри помещения  $t_{вн}$  от интенсивности воздухообмена  $O$

#### Содержание отчета:

1. Схемы автоматизации вытяжных систем вентиляции «Климатика» и реализуемой на лабораторном стенде.
2. Принципиальные схемы управления системами вытяжной вентиляции.
3. Заполненные таблицы и расходные характеристики.
4. Статическая характеристика устройства управления «Климатика».
5. Характеристика  $n = f(a)$  устройства «Климатика».

#### Контрольные вопросы и задания:

1. Раскройте принцип действия устройств «Климат-4», МКВАУ и «Климатика».
2. Определите закон регулирования, обеспечиваемый устройствами «Климат-4», МКВАУ и «Климатика».
3. Проведите сравнительный анализ изученных устройств управления вытяжной вентиляцией.
4. Какие типы регуляторов вы еще знаете?
5. Назовите параметры настройки регуляторов непрерывного действия.

6. С какими объектами могут быть заблокированы изученные вами регуляторы?

7. Объясните понятие «статизм объекта управления».

8. Можно ли реализовать закон плавного управления с помощью преобразователя частоты? Если да, то объясните принципы настройки преобразователя частоты.

9. Каковы принципы реализации управления преобразователем частоты с помощью контроллера?

Лабораторная работа № 10

### **ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

*Цель работы:* уяснить устройство, принцип действия и автоматизации холодильных установок, освоить методику экспериментального исследования холодильной камеры как объекта регулирования, настройки параметров позиционных регуляторов.

*Оборудование:* холодильная установка, измерительная и регистрирующая аппаратура, справочные материалы.

#### **Вопросы предварительного контроля:**

1. Каков принцип работы холодильных установок?
2. Дайте определение позиционных законов регулирования.
3. Перечислите параметры настройки позиционных регуляторов.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Ознакомьтесь с описанием холодильного шкафа и уясните назначение основных регулировочных органов.
2. Установите рукоятку термореле на одну из отметок.
3. Используя измеритель влажности и температуры, зафиксируйте исходную температуру в холодильном шкафу. Приготовьтесь снимать данные, используя табл. 7.

Таблица 7

Динамическая характеристика холодильного шкафа

t, с	0	60	120	180	240	300	360	420	

4. Включите в сеть вилку и заполните табл. 7, снимая показания температуры с периодичностью в 1 минуту. Данные снимают, пока не будет зафиксирован цикл работы компрессора (следить, когда отключится компрессор и затем снова включится).

5. При достижении установившейся температуры записать в табл. 8 время выключения компрессора и фактическую температуру, при которой произошло отключение  $t_{ост}$ .

Таблица 8

Расчетные данные		
Параметр	Обозначение	Значение
Температура, при которой произошло отключение компрессора	$t$ °С	
Время выключения компрессора	с	
Время запаздывания при росте температуры (рис. 13)	с	
Время задержки при росте температуры (рис. 13)	$t_{дн}$ , с	
Температура, при которой произошло включение компрессора		
Время включения компрессора	$t_{пуск}$ , с	
Время запаздывания при снижении температуры (рис. 13)	$t_{сн}$ , с	
Время задержки при снижении температуры (рис. 13)	$t_{дн}$ , с	
Постоянная времени РЧЦ	$T_p$ , с	
Постоянная времени НЧЦ	$T_n$ , с	
Дифференциал для РЧЦ	$x_p$ , °С	
Дифференциал для НЧЦ	$x_n$ , °С	
Относительная длительность для РЧЦ	$\tau_{ор}$	
Относительная длительность для НЧЦ	$\tau_{он}$	
Коэффициент нагрузки	$a$	
Относительный дифференциал	$p$	
Длительность полного цикла	$T_{ц}$ , с	
Частота циклов	$\Gamma$ , 1/ч	

6. Наблюдая изменения температуры в камере, определить время запаздывания  $t^Ф$  и зафиксировать время изменения знака приращения температуры (точка E на рис. 13).

7. Снять переходной процесс нерабочей части цикла, записав время пересечения графиком  $t_{ост}$ , определить время  $t_{дн}$ , записать время включения компрессора и фактическую температуру,  $t_{пуск}$ , определить время задержки  $t_{сн}$ .

8. По снятым данным постройте переходную характеристику  $I = \Gamma(t)$ . Нанесите на график характерные точки.

9. Определите значения постоянных времени  $T$  для рабочей и нерабочей части цикла.

10. По полученным экспериментально-расчетным данным определите значение дифференциала регулятора температуры в соответствии с (36) и (37).

11. Определите относительные длительности  $\tau_{ор}$  и  $\tau_{он}$ , коэффициент нагрузки  $a$  и относительный дифференциал  $p$ . Произведите проверку расчетов по (32).

12. Определите частоту циклов с учетом (25) и (33).

### Общие сведения

Принцип работы холодильных установок заключается в отборе тепла из теплоизоляционной камеры и выводе в окружающую среду. Наиболее распространенный принцип охлаждения камеры - за счет испарения легкокипящей жидкости, например, фреона.

Из объединенного газового закона следует:

$$\frac{P_U}{T} = \text{const.} \quad (14)$$

Поскольку при испарении резко возрастает объем  $U$  хладагента, то это сопровождается понижением его температуры.

Для возвращения в жидкое состояние давление фреона повышается с помощью компрессора, при этом происходит конденсация хладагента, а затем - испарение. Непрерывный процесс конденсации и испарения позволяет значительно понизить температуру испарителя. Нагревающийся до значительной температуры конденсатор охлаждается окружающим воздухом.

Обобщенную схему холодильной установки можно представить схемой (рис. 9). Целью терморегулирования является поддержание заданной температуры объекта управления.

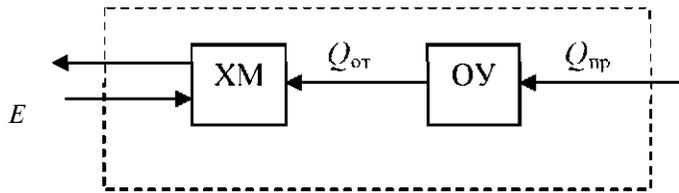


Рис. 9. Схема холодильной установки:

ХМ - холодильная машина, ОУ - объект управления,  $Q_{пр}$  - поток тепла, приходящий извне, либо выделяющийся внутри объекта,  $E$  - энергия от внешнего источника,  $Q_{от}$  - отток тепла,  $Q_{в}$  - выводимое тепло

С помощью холодильной машины от объекта отводится количество тепла  $Q_{от}$ . При этом за счет энергии от внешнего источника  $E$  в среду выводится тепло  $Q_{в}$ . Для поддержания заданной температуры необходимо обеспечить соответствие между  $Q_{от}$  и  $Q_{пр}$ . Тепло, отбираемое в единицу времени от объекта:

$$Q_{от} = \kappa F (T_{раб} - T_{об}) \quad (15)$$

Тепло, выводимое рабочим телом (хладагентом):

$$Q_{в} = \kappa F (T_{раб} - T_{вх}) \quad (16)$$

где  $\kappa$  - коэффициент теплопередачи, ккал/м<sup>2</sup>чград;  
 $F$  - площадь поверхности теплопередающего устройства, м<sup>2</sup>;  
 $T$  - средняя температура объекта, град;  
 $T_{раб}$  - температура рабочего тела (хладагента), град;  
 $I_{вх}, I_{вых}$  - теплосодержание рабочего тела на входе и выходе из теплопередающего устройства, ккал/кг;  
 $C_{рм}$  - расход рабочего тела (хладагента), кг/ч.  
 В установившемся режиме:  $Q_{от} = Q_{пр}$ , поэтому:

$$T_{об} = T_{раб} \frac{C_{рм} I_{вх}}{C_{рм} I_{вых} + Q_{пр}} \quad (17)$$

В охлаждаемую камеру холодильника тепло поступает различными путями: через стенки камеры -  $O_1$ , с грузом, вносимым в камеру -  $O_2$ , с эксплуатационными потоками от освещения, работы электродвигателей -  $O_3$ .

$$O_{пр} = O_1 + O_2 + O_3 \quad (18)$$

$$O_1 = \kappa P_o (I_{н} - I), \quad (19)$$

$$O_2 = O_{т} \left( I_1 - I_2 \right) \quad (20)$$

где  $\kappa$  - коэффициент теплопередачи, ккал/м<sup>2</sup>ч-град (для высокоэффективных теплоизоляционных материалов  $\kappa = 0,03-0,15$  ккал/м<sup>2</sup>ч-град);

$P_o$  - площадь ограждения;

$I_{н}, I$  - температура наружного и внутреннего воздуха, град;

$I_1, I_2$  - теплосодержание продукта до и после охлаждения, ккал/кг;

$O_{т}$  - поток груза через камеру, кг/ч.

Теплоприток  $O_3$  определяется мощностью электрических установок, находящихся внутри камеры.

Как объект управления холодильная камера может быть описана с помощью уравнения теплового баланса:

$$C \frac{dT}{dt} = \sum X_i O_i - M \frac{dT}{dt} \quad (21)$$

где  $C$  - теплоемкость охлаждаемых тел, ккал/кгград;

$M$  - масса охлаждаемых тел, кг;

$\sum X_i O_i$  - сумма потоков тепла, действующих на холодильную камеру, ккал/ч.

Подставим в (21) значения потоков тепла (14), (18) и (19):

$$C \frac{dT}{dt} = \kappa P_o (I_{н} - T) + O_2 + O_3 - O_{от} \quad (22)$$

$$O_{от} = \kappa F (T - T_{раб}) = \kappa F (T - T_{у}) + \kappa F (T_{у} - T_{раб}) \quad (23)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{C M}{C M + \kappa P_o F} \left( O_2 + O_3 - \kappa P_o (I_{н} - T) - \kappa F (T_{у} - T_{раб}) \right)$$

где  $T_{раб}$  - постоянная времени камеры, ч;

$$K_{11} = \frac{1}{K_{PT0} + 1} X_{P0}$$

Таким образом, структура объекта управления может быть представлена схемой (рис. 10).

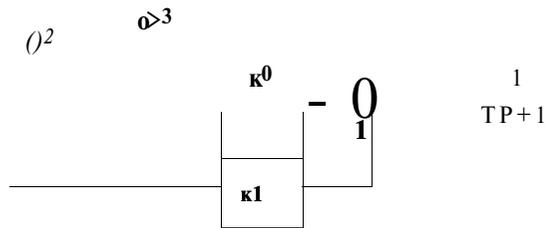


Рис. 10. Структурная схема объекта управления

Полученное выражение (23) справедливо для режима охлаждения (при включенном компрессоре). При отключенном компрессоре  $O = 0$ , и тогда постоянная времени объекта

$$T_u = \frac{CM}{L P^0} > T_p \quad (24)$$

Полный тепловой расчет холодильной камеры весьма сложен, поэтому в лабораторной работе постоянные времени определяют экспериментально.

**Автоматическое регулирование температуры в холодильной камере.** Наиболее широко применяемый способ терморегулирования заключается в пуске и остановке компрессора, обеспечивающего циркуляцию хладагента. Таким образом, реализуется двухпозиционное регулирование температуры. В соответствии со схемой автоматизации (рис. 11) температура воздуха в камере  $K$  поддерживается с помощью испарителя  $I$ . Для улучшения условий теплообмена испаритель обдувается вентилятором  $B$ . Схема терморегулирования включает реле температуры  $PT$  с чувствительным элемен-

том  $1a$ , фиксирующим температуру в камере. Схема автоматического управления по сигналу от реле включает магнитный пускатель  $1b$ , запускающий двигатель  $M1$  компрессора  $Км$ . Таким образом, управление температурой производится двухпозиционной системой путем изменения расхода хладагента, который меняется скачкообразно в момент включения и выключения компрессора.

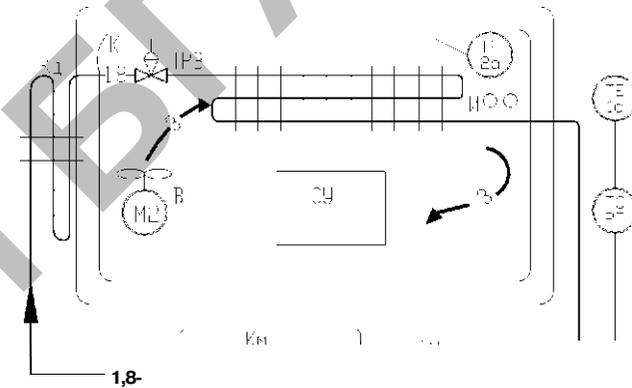


Рис. 11. Схема автоматизации управления температурой в холодильной камере

Зависимость температуры хладагента  $\Delta_{PT}$  от температуры объекта  $I$  значительно ухудшает качество регулирования температуры. Поэтому для стабилизации  $\Delta_{PT}$  в схему вводят дополнительный терморегулирующий вентиль  $ТРВ$ , регулирующий  $\Delta_{PT}$  путем дополнительного расхода хладагента. Если считать стабилизирующее действие  $ТРВ$  идеальным, то можно положить  $\Delta_{PT} = \text{const}$ , и тогда структурная схема САУ примет вид схемы (рис. 12). Задержка в нижней цепи обусловлена конечной скоростью распределения хладагента по трубам системы охлаждения. Постоянная времени объекта управления  $T = T_p$  при  $O_{PT} = 0$  и  $T = T_u$  при  $O_{PT} = 1$ . При включении компрессора на объект управления подается воздействие, определяемое правой частью уравнения (17). Температура в камере изменяется при этом по экспоненциальному закону (рис. 13) от начальной  $\Delta_{нач}$  до некоторого установившегося значения  $\Delta_y$ .

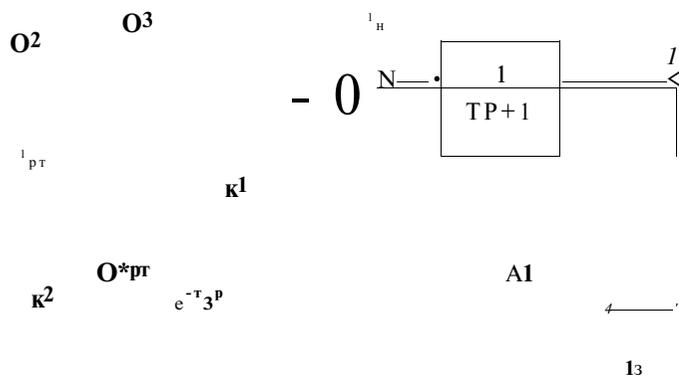


Рис. 12. Структурная схема САР температуры в холодильной камере

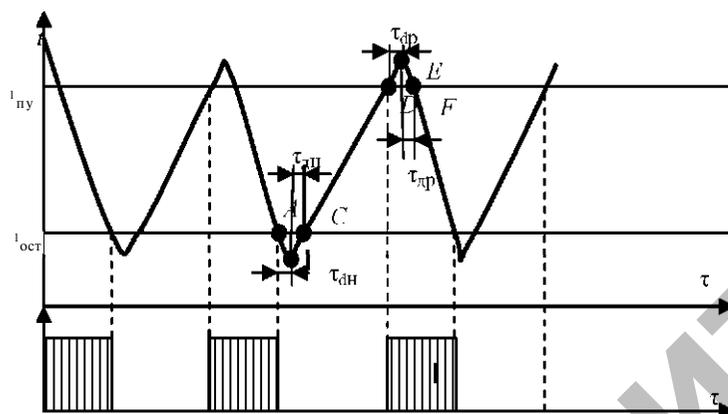


Рис. 13. Переходной процесс в холодильной камере

В процессе работы в системе регулирования устанавливаются автоколебания.

Длительность полного цикла:

$$(25)$$

где  $T_P$  - время работы компрессора;  
 $T_H$  - время нерабочего состояния.

Частота циклов  $y = \frac{1}{T_{ц}}$  зависит от дифференциала реле температуры  $\delta = 2X \frac{I_n}{I_o}$ . С уменьшением  $\delta$  увеличиваются точность регулирования и частота включения, которую желательно ограничить, поскольку каждый пуск компрессора приводит к переходным процессам в двигателе, к износу контактов пускателя. Обычно задаются частотой циклов при необходимой точности регулирования. Считается допустимым частота включения 5-6 раз в час для малых холодильников и 2-3 для средних и крупных.

Определение параметров автоколебаний целесообразно проводить в два этапа. На первом этапе для упрощения задачи пренебрегают запаздыванием, а затем получают уточненные результаты с учетом запаздывания.

График решения дифференциального уравнения (22), описывающего систему регулирования, показан на рис. 13. Выделим интервалы времени  $T_{ор}$  и  $T_{он}$ , соответствующие рабочей части цикла (РЧЦ) - заштрихованная часть и нерабочей части цикла (НЧЦ).

Полное время цикла  $T_{ц} = T_{ор} + T_{он}$ .

Для РЧЦ изменение температуры происходит в режиме установившихся автоколебаний по закону:

$$I = I_{ур} - (I_{ур} - I_{пуск}) e^{-\frac{t}{T_{пр}}} \quad (26)$$

Для НЧЦ:

$$I = I_{ост} - (I_{ост} - I_{ур}) e^{-\frac{t}{T_{н}}} \quad (27)$$

где  $I_{ур}$  - установившееся значение температуры при включенном компрессоре;

$I_{он}$  - установившееся значение температуры в нерабочем состоянии;

$T_P$  и  $T_H$  - постоянные времена, в общем случае, разные для РЧЦ и НЧЦ;

$t$  - текущее время.

Если обозначить заданную температуру через  $I_3$ , то получим:

$$I_3 = I_{ур} - (I_{ур} - I_{пуск}) e^{-\frac{t}{T_{пр}}} \quad (28)$$

Поэтому для моментов пуска и останова:

$$I_3 - X = I_{ур} - (I_{ур} - (I_3 + X))e^{-T_{ор}} \quad (29)$$

$$I_3 + X = I_{ун} - (I_{ун} - (I_3 - X))e^{-T_{он}}$$

Решая полученные уравнения относительно  $T_{ор}$  и  $T_{он}$ , можно определить продолжительность включенного и выключенного состояния компрессора:

$$T_{ор} = T_{п} \ln \frac{I_3 - I_3 + X}{I_{ур} - I_3 - X} \quad (30)$$

$$T_{он} = m T_{п} \ln \frac{I_{ун} - I_3 - X}{I_{ун} - I_3 + X}$$

Для практического применения полученных уравнений целесообразно ввести следующие обозначения:

$T_{ор}^*$  относительная длительность РЧЦ;

$T$ ,

$T_{он}^*$  относительная длительность НЧЦ;

$T$ ,

(31)

$a = \frac{I_3 - I_3 + X}{I_3 - I_3 - X}$  - коэффициент нагрузки объекта;

$X$  относительный дифференциал.

$I_3 - I_3$

Тогда уравнения, связывающие эти величины, примут вид:

$$T_{ор} = T_{п} \ln \frac{1 - a - p}{1 - a + p} \quad (32)$$

$$T_{он} = m T_{п} \ln \frac{a - p}{a + p}$$

Эти простые соотношения позволяют легко оценить параметры автоколебаний температуры в холодильной камере, причем расчет

можно производить в относительных единицах, а затем перевести полученные значения в натуральный масштаб.

**Определение параметров автоколебаний с учетом запаздывания.** График изменения температуры для этого случая приведен на рис. 13. Участки  $AB$  и  $BE$  длительностью соответственно  $T_{сн}$  и  $T_{ср}$  характеризуют чистое запаздывание в системе. Участки  $BC$  и  $EP$  длительностью соответственно  $T_{дн}$  и  $T_{др}$  - это время, необходимое для возвращения температуры в диапазоне от останова и пуска компрессора. Очевидно, что длительность рабочей и нерабочей части цикла в этом случае будет:

$$T = T_{ор} + m T_{он} + T_{сн} + T_{ср} \quad (33)$$

$$T_{дн} = T_{ор} + m T_{сн} + T_{ср}$$

$$T_{др} = T_{он} + m T_{сн} + T_{ср}$$

Отрезки времени  $T_{ор}$  и  $T_{он}$  - это время исчисления температуры в диапазоне  $I_{ост} - I_{пуск}$ . В этом диапазоне закон изменения температуры полностью описывается уравнениями, полученными для системы без запаздывания, т. е. величины  $T_{ор}$  и  $T_{он}$  могут быть определены по (31).

Значения величин  $T_{дн}$  и  $T_{др}$  могут быть определены на основании динамических характеристик объекта:

$$T_{др} = T_{п} \ln [1 + \frac{1}{a + p} (1 - e^{-T_{ор}})] \quad (34)$$

$$T_{дн} = T_{п} \ln [1 - \frac{1}{a + p} (1 - e^{-T_{он}})]$$

Увеличение размаха автоколебаний в системе определим, считав новые максимальную и минимальную температуры:

$$I_{ур} = I_3 - (I_3 - I_3 + X) e^{-\frac{T_{ор}}{T_{п}}} \quad (35)$$

$$I_{ун} = I_3 - (I_3 - I_3 + X) e^{-\frac{T_{он}}{T_{п}}}$$

В результате можно определить значение дифференциала двухпозиционного регулятора  $X$ , необходимое для поддержания температуры с заданной точностью.

Для рабочей части цикла:

$$x_1 < \frac{I_{уст} - I_{нач}}{e^{-\frac{t}{T}} - 1} + I_{нач} \quad (36)$$

Для нерабочей части цикла:

$$x_2 < \frac{I_{уст} - I_{нач}}{e^{-\frac{t}{T}} - 1} + I_{нач} \quad (37)$$

При выборе параметров регулятора определяют значения  $x_1$  и  $x_2$  и выбирают меньшее из них. Полученное значение дифференциала обеспечивает исчисление температуры в допустимых пределах  $I^p$  и  $I^m$ .

**Определение параметров объекта регулирования по экспериментальным группам.** Для расчета параметров автоколебаний необходимо определить постоянную времени холодильной камеры  $T$  и установившееся значение  $I_y$  в рабочем и нерабочем режиме. Это можно сделать по экспериментально снятой кривой переходного процесса. Наиболее точной является аппроксимация экспериментальной кривой по методу наименьших квадратов. Однако этот метод требует значительного объема вычислений. Поэтому в лабораторной работе предлагается использовать упрощенный, менее точный метод.

Преобразуем уравнение (27):

$$I = I_{уст} + (I_{нач} - I_{уст})(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (38)$$

Прибавив и отняв в правой части  $I_{нач}$ , произведем смещение осей координат:

$$y = I - I_{нач} \quad (39)$$

$$y = 4I_{нач} - e^{-\frac{t}{T}}$$

где  $k_1 = I_{уст} - I_{нач}$ .

Решая уравнение (39) относительно  $T$ , получим:

$$T = \frac{t}{\ln \frac{4I_{нач} - y}{3I_{нач}}} \quad (40)$$

где  $k^1$  - установившееся значение параметра, вычислив которое, можно найти  $I_y$ .

Для двух фиксированных значений  $t^1$  и  $t^2$  из (36) следует:

$$\frac{y_1 - y_2}{y_1 - y_2} = \frac{1 - e^{-\frac{t^1}{T}}}{1 - e^{-\frac{t^2}{T}}} \quad (41)$$

Таким образом, расчет сводится к следующим этапам:

- 1) преобразование осей координат в соответствии с (39);
- 2) для двух значений, отличающихся в два раза, определяются значения  $y^1$  и  $y^2$ , а затем по (41) - установившееся значение  $k^1$ ;
- 3) по (39) определяется постоянная времени процесса;
- 4) из очевидного соотношения  $I_y = I_{нач} + k^1$  определяется установившееся значение  $I_y$ .

Аналогичным образом необходимо действовать, если переходной процесс имеет вид (26) - рабочая часть цикла в холодильной камере. Отличие заключается в выборе осей координат так, что  $y = I - I_{нач}$ .

Расчет целесообразно повторить для нескольких пар значений  $t^1$  и  $t^2$  и выбрать среднее из полученных значений  $I_y$  и  $T$ . Для уменьшения ошибок расчета желательно выбирать  $t^2$  как можно большим из имеющихся экспериментальных данных.

### Содержание отчета:

1. Схема автоматизации холодильной установки.
2. Таблицы со снятыми и расчетными данными.
3. График переходного процесса с нанесенными характерными точками.

### Контрольные вопросы:

1. Объясните принцип работы холодильной установки.
2. Какие основные элементы содержит САР температуры холодильного шкафа?
3. Объясните назначение и принцип действия реле температуры.
4. Объясните назначение и принцип действия реле давления.

5. Объясните на начение и принцип действия TRV.
6. Чем объяснить запаздывания в системе регулирования?
7. Какие вы знаете способы изменения холодопроизводительности компрессора?
8. Назовите характерные интервалы и точки на графике изменения температуры и поясните их значение.
9. Какие вы знаете современные устройства плавного изменения частоты вращения компрессора, и в каких случаях эти устройства целесообразно использовать?
10. Поясните методику определения параметров объекта регулирования по экспериментальным группам.

Лабораторная работа № 11

### **ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ САУ МИКРОКЛИМАТОМ В ИНКУБАЦИОННОЙ КАМЕРЕ**

*Цель работы:* исследование типового решения системы автоматического управления инкубационной камерой; освоение методики анализа возмущающих воздействий и расчета регулирующих воздействий, освоение способов повышения точности регулирования при использовании релейных регуляторов, модернизации САУ на базе современных цифровых устройств управления.

*Оборудование:* действующий макет инкубационного шкафа; справочная литература.

#### **Вопросы предварительного контроля:**

1. Какие параметры микроклимата подлежат регулированию в инкубационном шкафу?
2. На какие две группы подразделяют законы регулирования?
3. Дайте определение основным законам регулирования?

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Изучите принцип работы САУ инкубатором [10] и заполните табл. 9.

Таблица 9

Оборудование инкубационного шкафа

Функция	Устройство
Выравнивание температурного поля	
Увлажнение и охлаждение	
Охлаждение	
Нагрев	
Поворот лотков	
Управление температурой и влажностью	
Контроль дверей	

2. Используя данные табл. 10, рассчитайте сопротивление датчика, подключаемого к регулятору РТИ, которое соответствует норме (37,8 °С).

Таблица 10

Градуировочные данные (электрическое сопротивление, в Ом)  
термометров сопротивления платиновых (ТСР)

Температура, °С	Градуировка		Температура, °С	Градуировка	
	21	20, 22		21	20, 22
-200	7,95	17,28	50	55,06	119,7
-150	17,85	38,80	100	63,99	139,10
-100	27,44	59,65	150	72,78	158,21
-50	36,8	80	180	77,99	169,54
0	46	100			

3. Подайте напряжение на пульт управления тумблером «Сеть». Опробуйте работу исполнительных механизмов инкубационного шкафа.

4. Соответствующим тумблером на пульте управления подключите к регулятору вместо датчика магазин сопротивлений. Установите на магазине сопротивлений значение, соответствующее норме (на пульте горит сигнальная лампа «норма»). Изменяя сопротивление, найдите значения, при которых нагреватели работают на половине напряжения и на полном напряжении (отслеживается по лампе накаливания, которая подключена в схеме параллельно нагревательному элементу), а также, когда температура выше нормы (срабатывает сигнализация «больше» - лампа накаливания не горит).

5. Отключите лабораторный стенд.

6. Переведите полученные значения сопротивления в температуру и постройте диаграмму работы исполнительных механизмов инкубационного шкафа в функции температуры.

### Общие сведения

Технология инкубации - сложный процесс, и его правильное построение во многом зависит от знания основ инкубации. Для воспроизведения заданных режимов инкубации требуется обеспечить соответствующие параметры воздуха, поступающего в блок лотков. Эти параметры - температура, влажность и концентрация углекислоты.

**Влияние температуры воздуха на результаты инкубации.** Наиболее сильно влияет на результаты инкубации температура воздуха. При постоянном воздействии в течение периода инкубации вывод цыплят можно получить при температуре от 35,6 до 39,7 °С. Результаты инкубации (% вывода и качество молодняка), крайне низкие на границах указанного интервала, быстро улучшаются при приближении температуры к среднему значению.

В первые 12 ч развития куриный эмбрион переносит нагрев до 46,8 °С в течение получаса. В дальнейшем подобный перегрев оказывается для него смертельным. В первые дни инкубации эмбрион проявляет наибольшую чувствительность к уровню температуры, отвечая ускорением обмена веществ и роста на умеренный перегрев (до 38,3-38,5 °С) в течение продолжительного времени.

Эмбрионы хорошо приспособлены к понижению температуры воздушной среды. Эмбриональное развитие не нарушается, если действие низкой температуры непродолжительное или ее снижение небольшое. Снижение температуры до 20 °С в течение суток на любой стадии инкубации не уменьшает заметно выводимость. Кратковременные быстрые охлаждения яиц при повышенной температуре в инкубаторе после замыкания аллантаоиса положительно влияют на эмбриогенез.

С уровнем температуры воздуха связана продолжительность инкубации. В диапазоне 36,6-38,5 °С чем выше температура воздуха, тем короче срок инкубирования. Время инкубирования куриных яиц можно сократить, по крайней мере, на сутки за счет снижения выводимости.

Существует диапазон температур воздуха, внутри которого вариации этого параметра не влияют на выводимость. Нижняя граница неблагоприятной температуры с первого по восьмой день инкубации лежит около 37,5 °С, а в дальнейшем - около 37,2 °С. Верхняя граница изменчива, но не превышает 38,3 °С на 18-й день инкубации и 38,7 °С - перед выборкой цыплят.

**Влияние относительной влажности воздуха на результаты инкубации.** Реальный диапазон относительной влажности воздуха, при которой происходит инкубация яиц сельскохозяйственной птицы в промышленных инкубаторах, с учетом ошибок настройки, регулирования этого параметра превышает 20 % (относительная влажность воздуха от 40 до 60 %).

Данные, накопленные при испытаниях промышленных инкубаторов, совершенно определенно указывают на то, что относительная влажность воздуха - второстепенный по сравнению с температурой, слабо воздействующий на результаты инкубации фактор, если она изменяется в оговоренных выше пределах.

Отрицательное влияние относительной влажности воздуха на результаты инкубации прослеживается в том случае, когда на всем протяжении эмбрионального развития действующее значение параметра ниже **40 %** (низкая влажность) или выше **70 %** (высокая влажность).

При высокой относительной влажности воздуха увеличивается, прежде всего, опасность плесневого поражения инкубационных яиц, резко возрастает число «тумаков».

Низкая влажность воздуха в начале инкубации вызывает большие потери воды яйцами и повышает смертность зародышей. Наклев и вывод начинаются преждевременно, но вывод затруднен, так как подскорлупные оболочки сухие и прочные. Выведенный молодняк мелкий, подвижный, хорошо опушен.

Уровень относительной влажности воздуха влияет на температурный режим инкубации, особенно в инкубаторах с воздушным охлаждением. Эффективность воздушного охлаждения возрастает с повышением относительной влажности воздуха, так как увеличивается его теплосодержание.

**Влияние концентрации двуокиси углерода в воздухе инкубатора на результаты инкубации.** При постоянном на всем протяжении инкубационного периода воздействии концентрации углекислого газа, превышающие **0,5 %**, угнетают рост и развитие эмбрионов. Выводимость снижается примерно на **15 %**, если с первого дня инкубации поддерживать концентрацию  $CO_2$  на уровне **1 %** (контроль - **0,3 %**). При **5 %**  $CO_2$  смертность эмбрионов достигает **100 %**.

В выводной период высокая концентрация углекислого газа играет положительную роль в эмбриогенезе: она синхронизирует процесс наклева и вывода, на **1-2 %** увеличивает выводимость, и, главное, обеспечивает лучшее качество суточного молодняка, так как атмосфера, насыщенная углекислым газом, подавляет двигательную активность цыплят, сохраняет их массу, уменьшает травматизм.

ТУ «Инкубаторы. Технические требования» устанавливает, что концентрация  $CO_2$  не должна превышать **0,5 %** при порционной загрузке инкубационной машины и **1 %** при единовременной. В выводных инкубаторах концентрация  $CO_2$  может достигать **2 %**.

**Инкубация птицы происходит в инкубатории.** Инкубаторий представляет собой отапливаемое помещение с относительно стабильной температурой  $0^{\circ}$  около **22 °С** зимой и до **26 °С** летом.

В помещении устанавливаются инкубационные и выводные шкафы. Выводные шкафы комплектуются на три или шесть инкубационных. Основной процесс инкубации происходит в инкубационных камерах, оборудованных поворотными лотками, в которые укладываются яйца. За три дня до вывода цыплят лотки переставляются в выходные шкафы, которые не имеют поворота лотков. В остальном устройство инкубационных и выводных камер аналогичное. Они представляют собой климатические шкафы размерами **5280x2730x2230** мм (инкубационный) и **1730x2730x2230** мм (выводной) с теплоизоляционными стенками, выполненными из рамы (сухое дерево, ель толщиной **70** мм), облицованной снаружи листовой пластмассой, между слоями - пенопластом ПВ-1, а изнутри - оцинкованным железом. Шкаф имеет два вентиляционных отверстия: приточное - на задней стенке и вытяжное - в потолке передней части с регулирующей заслонкой **0 100** мм. Шкаф оборудован вентилятором, обеспечивающим равномерное перемешивание воздуха и равномерность температурно-влажностных полей, а также засасывание свежего воздуха в камеру через приточное отверстие и выброс загрязненного воздуха.

Для поддержания требуемых параметров микроклимата в инкубаторе предусмотрены системы обогрева и увлажнения (рис. 14). В систему обогрева входят электронагревательные элементы мощностью **20** кВт.

Технологический эффект процесса инкубации обусловлен состоянием закладываемых в инкубационный шкаф яиц и качеством управления процессом инкубации. Производственный опыт показывает, что при выполнении технологических требований вывод цыплят составляет **80-81 %** от количества заложенных в инкубационную камеру яиц.

Обмен воздуха в инкубаторе должен обеспечивать удаление углекислого газа для сохранения кислородного баланса.

Воздухообмен в инкубаторе обеспечивается вентилятором с постоянной частотой вращения. Величина воздухообмена регулируется вручную установкой положений заслонок. Заслонки на приточном и вытяжном отверстии связаны между собой тягами

таким образом, чтобы изменения положения одной заслонки вызывало такое же положение другой заслонки.

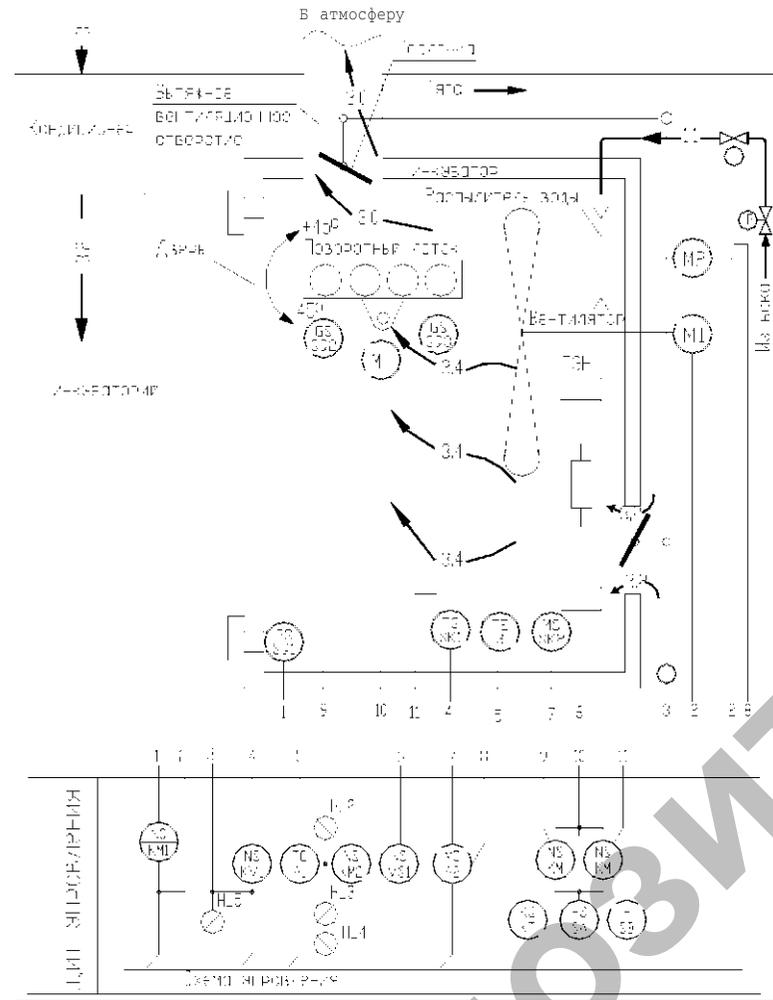


Рис. 14. Схема автоматизации инкубатора

В первый день инкубации устанавливается минимально допустимый воздухообмен. На 8-10-й день воздухообмен увеличивается. Технологические требования к режиму инкубации представлены в табл. 11.

Режим инкубации

Контролируемый параметр	Значение
Температура воздуха, $0^{\circ}\text{B}$	35,6-39,7 $^{\circ}\text{C}$
Влажность воздуха: в инкубационном шкафу, $\Phi^{\text{B}}$ выводном шкафу, $\Phi^{\text{B}}_{\text{выв}}$	40-60 % 50-80 %
Концентрация углекислоты: в инкубационном шкафу, $\text{Kco}^2$ выводном шкафу, $\text{Kco}^2_{\text{выв}}$	0,5 % 2,0 %

Вентилятор включен постоянно в процессе инкубации птицы. При открытых дверях вентилятор и нагревательные элементы отключаются конечным выключателем §((1 (рис. 15).

Процесс инкубации яиц идет с выделением тепла и углекислого газа инкубационным яйцом. Температура яиц является труднодоступной для контроля, поэтому в качестве регулируемой величины принимается температура в камере.

Регулирующее воздействие в инкубационном шкафу осуществляется электронагревателями, мощность которых можно определить после решения уравнения теплового баланса и проведения анализа возмущающих воздействий.

При стабилизированной температуре всасываемого в инкубатор воздуха основным возмущающим воздействием является тепловыделение яиц. В первые дни инкубации тепловыделения настолько малы, что их не хватает на испарения выделяющейся влаги, и тепло, необходимое для изменения агрегатного состояния воды, изымается частично или полностью из окружающей среды. Лишь на седьмые сутки (для кур) или 11-12 сутки (для уток, гусей) испарение влаги может происходить за счет собственного биологического тепла, и, начиная с этого момента, инкубационные яйца могут отдавать излишки теплоты воздуху. Таким образом, мощность нагревательных элементов рассчитана на обеспечение температурного режима в начальный период инкубации. На седьмые сутки (для кур) или 11-12 сутки (для уток, гусей) воздухообмен в инкубаторе увеличивается перестановкой заслонки, что позволяет отводить избытки тепла на подогрев дополнительно поступившего внутрь воздуха и облегчает работу регулирующего прибора.

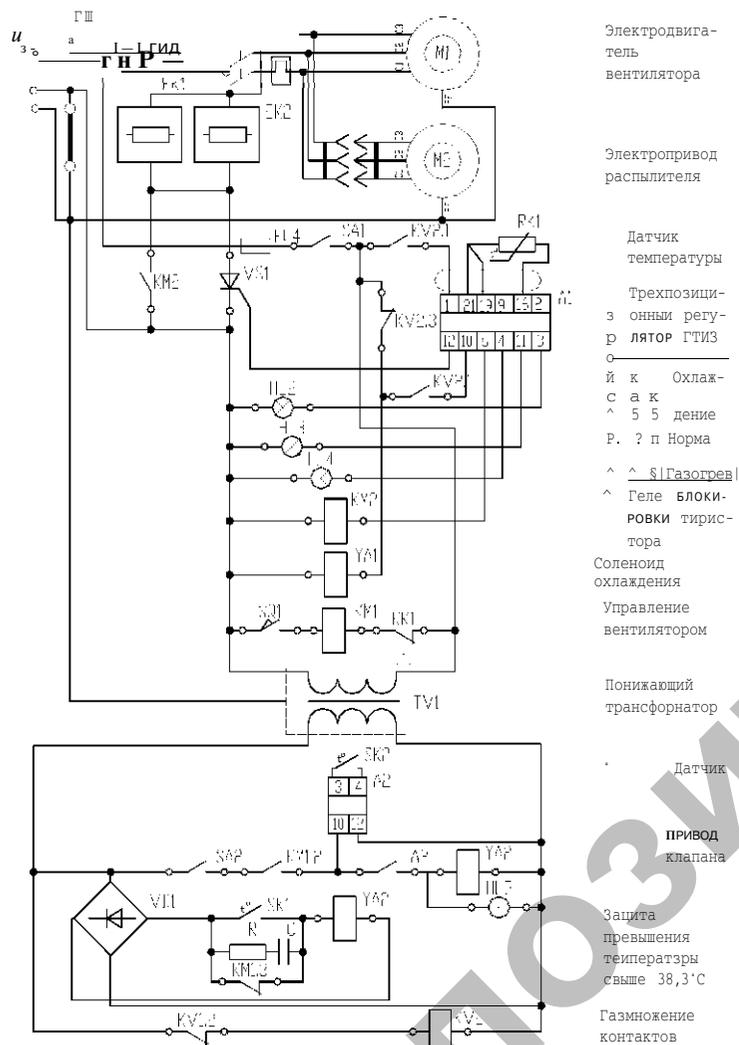


Рис. 15. Принципиальная электрическая схема управления температурно-влажностным режимом инкубатора

Температурным режимом управляют при помощи трехпозиционного терморегулятора РТИ-35 с платиновым датчиком типа ТСП.

В автоматическом режиме при снижении температуры в камере терморегулятор (рис. 15) посылает сигнал на открытие тиристора У81. Электрическое напряжение, равное половине номинального, поступает на обогревательные элементы ЕК1 и ЕК2. При дальнейшем снижении температуры терморегулятор подает напряжение на катушку магнитного пускателя КМ2, который своими контактами шунтирует тиристор и подает на обогревательные элементы полное напряжение. При повышении температуры в шкафу сначала отключается КМ2, а затем посылается сигнал, запирающий тиристор. Если температура превышает  $38,3^{\circ}\text{C}$ , замыкается контакт термореле 8К1 и включает реле КУ1, которое отключит промежуточное реле КУ2, а соответственно, и регулирующий прибор А1, и включит соленоид охлаждения УА1, который полностью открывает заслонку и увеличивает дополнительное поступление более холодного воздуха в камеру. При этом включается световая и звуковая аварийная сигнализация, а также местная световая.

При снижении влажности воздуха (на 3 %) влагорегулятор А2 включает соленоид УА2 и подает воду на диск механического распылителя с электроприводом М2. При этом зажигается сигнальная лампа НБ5. Световая сигнализация НБ4 показывает «Разогрев», НБ3 - «Температура в норме», НБ2 - «Охлаждение».

Поворот лотков осуществляется общим механизмом на три шкафа, приводимым в движение реверсивным электроприводом (рис. 16). Поворотом лотков управляют при помощи реле времени, которое в сочетании с двумя конечными выключателями выполняет челночный поворот вала на угол  $\pm 45^{\circ}$ . Автоматическое управление дублируется ручным.

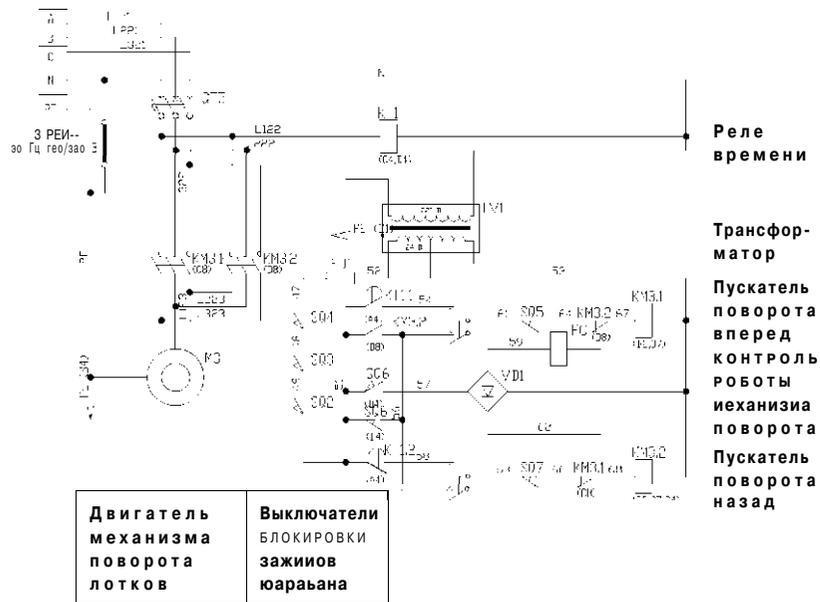


Рис. 16. Принципиальная электрическая схема управления поворотом лотков

#### Содержание отчета:

1. Схема автоматизации инкубатора.
2. Заполненная табл. 9.
3. Диаграмма работы исполнительных механизмов.
4. Модернизированная принципиальная схема управления поворотом лотков (освободить контакт КТ1.2 для других нужд).
5. Принципиальная схема управления инкубационным шкафом на базе цифровых устройств управления.

#### Контрольные вопросы:

1. Какие технологические требования к режиму инкубации должна обеспечивать САУ?
2. Каким образом определить оптимальное регулирующее воздействие?
3. Каковы методы поддержания высокой точности регулирования при позиционном управлении?

4. Каким образом можно поддерживать высокую точность регулирования на протяжении всего периода инкубации?

5. Покажите на схеме автоматизации все датчики, используемые в САУ инкубационным шкафом, и объясните их назначение? Определите их расположение на принципиальной схеме. Каковы особенности подключения датчиков к контроллеру при его использовании в качестве устройства управления в данной САУ?

6. За счет чего обеспечивается охлаждение инкубационного шкафа? Поясните принципы охлаждения, используя схему автоматизации и принципиальную.

7. Прочтите схему автоматизации инкубатора.

## ИЗУЧЕНИЕ САР КОТЛОАГРЕГАТОВ

*Цель работы:* изучить типовые решения реализации САР котлоагрегатов, освоить методику спрямления расходных характеристик регулирующих органов и наладки исполнительных механизмов (ИМ) типа МЭО.

*Оборудование:* стенд с набором закрепленных элементов САР и исполнительных устройств, справочные материалы.

### Вопросы предварительного контроля:

1. Каков состав технологического оборудования парокотельной установки?
2. Перечислите основные марки котельных установок, применяемых в сельскохозяйственном производстве.
3. Перечислите состав контрольно-измерительной аппаратуры, устанавливаемой на котельных установках.

### Порядок выполнения работы:

1. Ознакомьтесь с разделом «Общие сведения» и конструкцией датчиков САР котлоагрегатов. Какие контуры автоматического регулирования можно выделить? Сформулируйте основные требования к САР котла.
2. Разработайте схемы автоматизации отдельно по контурам автоматического регулирования.
3. Используя [10], составьте полные принципиальные схемы САР котлоагрегатов. Что изменится на принципиальной схеме, если в контуре автоматического регулирования нагрузки котла в качестве регулятора использовать регулятор НПО «Энергоприбор»?

4. Используя описание регулятора НПО «Энергоприбор», разработайте схему управления исполнительным механизмом в контуре нагрузки котла. Согласуйте схему с преподавателем.

5. Используя методику наладки регуляторов непрерывного действия и инструкцию к регулятору, настройте регулятор на П-закон регулирования, использование датчика с сигналом 4-20 мА и параметры П-регулирования. Подача питания на стенд осуществляется автоматическим выключателем 8P1. После наладки регулятора стенд обесточьте.

6. Соберите схему, разработанную в п. 4, на наборном поле. После проверки преподавателем, подайте питание на стенд автоматическим выключателем 8P1. Подайте напряжение на собранную схему переключателем 8A1. Сымитируйте управление исполнительным механизмом с помощью потенциометра. Покажите результат преподавателю.

7. Определите расходную характеристику  $z = \Gamma(a)$  регулирующего органа.

8. Обесточьте стенд. Разберите схему.

9. Изучите методику наладки исполнительного механизма и раскройте порядок действий по наладке преподавателю.

### Общие сведения

По химической сущности горение топлива является процессом окисления его горючих составляющих. В качестве окислителя в обычных промышленных установках используется кислород воздуха. Важнейшее условие полноты сгорания - наличие определенного количества окислителя, которым должна быть обеспечена каждая частичка топлива. Основным технологическим показателем эффективности использования топлива является коэффициент полезного действия агрегата. Одна из причин низкого эксплуатационного КПД промышленных установок - это потери тепла при сгорании топлива, вызванные несоблюдением оптимального соотношения между расходом топлива и воздуха. При недостаточной подаче воздуха в топку могут появиться большие потери из-за химической неполноты сгорания или возникает угроза обрыва факела из-за его избытка. Поэтому система автоматического регулирования должна обеспечивать оптимальные режимы работы котельных установок.

Как объект автоматизации котел может быть представлен моделью (рис. 17). Уравнения динамики, связывающие входные и выходные элементы, имеют достаточно сложный вид. Например, с целью оценки влияния основных факторов на изменение уровня  $\phi^1$  и давления в барабане  $\phi^2$  без учета саморегулирования, влияния расхода топлива и давления пара в паровом коллекторе полные уравнения динамики можно выразить следующим образом:

$$92 \dot{\phi}^1 = 1,03 \phi^1 - X + 2,78 \cdot 92 X', \quad (42)$$

$$344,4 \cdot \rho^2 = -0,19 \phi^1 + 1,19 \phi^2 - X. \quad (43)$$

Громоздкость расчетов постоянных времени и коэффициентов приводит к тому, что авторы уравнений рекомендуют определять некоторые из коэффициентов экспериментально [18].

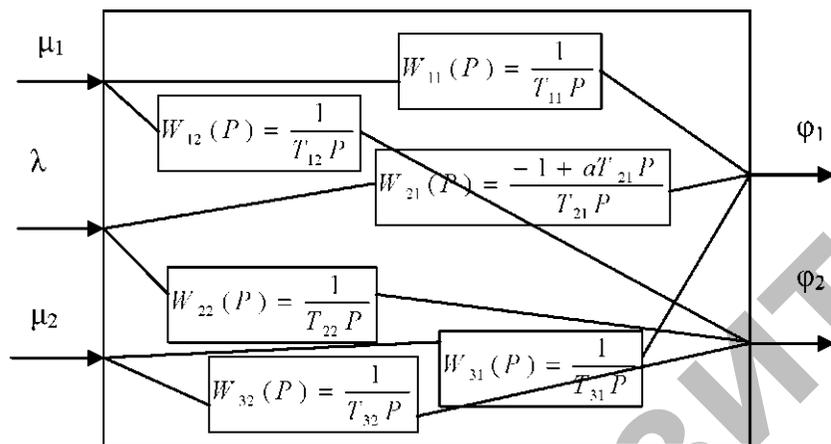


Рис. 17. Модель парового котла:

$\phi^1$  - уровень в барабане котла;  $\phi^2$  - давление в котле;

$\mu^1$  - расход питательной воды;  $\mu^2$  - расход топлива; X - нагрузка котла

Экспериментальные исследования, проведенные на котле ЛМЗ 26/13, показали, что средние значения постоянных равны:  $T_{11} = 91$  с;  $T_{12} = 3500$  с;  $T_{21} = 91$  с;  $a = 2,37$ ;  $T_{22} = 330$  с;  $T_{31} = 91$  с;  $T_{32} = 301$  с.

Для других типов котлов эти значения можно рассчитать по формулам, приведенным в [11].

Системы автоматического управления котельными подразделяются на системы общекотельной автоматики, системы управления котлоагрегатами и выполняют следующие основные операции:

- технологическая защита, предотвращающая аварии;
- технологическая блокировка, исключающая выполнение не-правильных операций;
- автоматический контроль работы котлов;
- технологическая сигнализация, извещающая персонал о ходе выполнения технологических процессов;
- дистанционное управление котлом (пуск и останов котлов);
- автоматическое регулирование.

Основными видами АСР котельных установок для котлов являются: регулирование процессов горения и питания; для деаэраторов - регулирование уровня воды и давления пара.

Автоматическое регулирование процессов горения предусматривается для всех котлов, работающих на жидком или газообразном топливе. При применении твердого топлива АСР процессов горения предусматривают в случаях механизированных топочных устройств. Необходимость АСР на резервном топливе должна быть определена в ходе технико-экономического обоснования, выполненного с учетом расчетного времени работы котла на резервном топливе. Для аварийного топлива АСР не предусматривают.

Регуляторы питания рекомендуют устанавливать на всех паровых котлах. Для котлов паропроизводительностью более 0,55 кг/с (2 т/ч) установка регуляторов питания обязательна. Для котельных установок, работающих на жидком топливе, необходимо предусматривать АСР температуры и давления топлива. Котлы с температурой перегрева пара  $100^\circ\text{C}$  и выше должны быть снабжены АСР температуры перегретого пара.

Рассмотрим построение АСР на примере парового котла типа ДКВР.

Регулятор нагрузки котла (рис. 18а) состоит из датчика давления типа МЭД (1а), регулирующего прибора (1б) и исполнительного механизма, регулирующего подачу топлива в топку (реализуется П-закон).

Регулятор соотношения топливо-воздух (рис. 18б) при работе на газовом топливе строят на базе регулирующего прибора 2в по двухимпульсной схеме. Один импульс поступает от дифманометра 2а типа ДМ, контролирующего давление газа, а второй - от дифманометра 2б типа ДТ2-200, измеряющего разность давлений в воздухопроводе и атмосферного воздуха. При работе котла на мазуте с помощью переключателя регулирующий прибор 2в переводят на трехимпульсную схему. При этом импульс от расходомера газа отключается, и в схему включаются импульсы от расходомера пара.

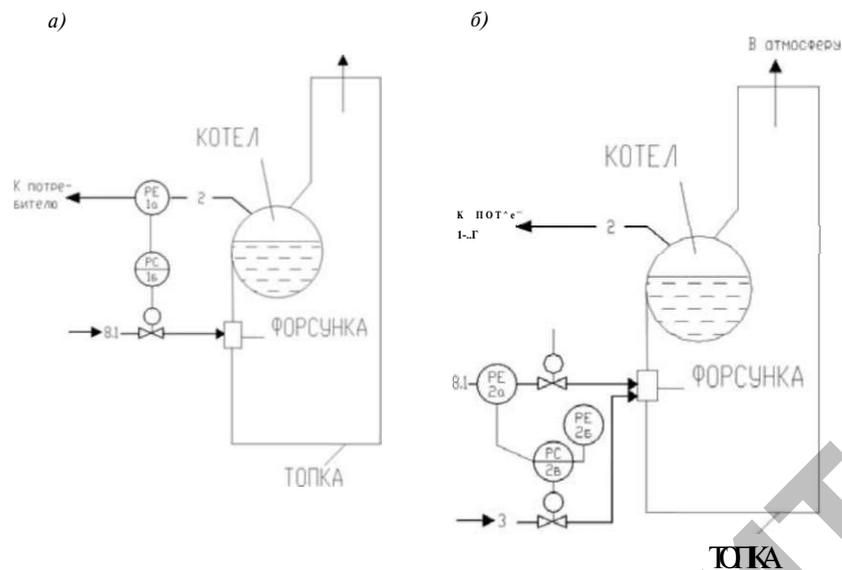


Рис. 18. Схемы АСР парового котла типа ДКВР:

а) - регулятор нагрузки котла; б) - регулятор соотношения топливо-воздух

АСР питания котла (рис. 19а) аналогична регулятору нагрузки котла и состоит из датчика уровня воды в котлоагрегате типа ДМ (дифманометр 3а), регулирующего прибора 3б, реализующего П-закон регулирования и исполнительного механизма, обеспечивающего непрерывную подачу воды в котел.

АСР разрежения в топке (рис. 19б). Импульс к регулирующему прибору 4Б поступает от дифманометра 4а типа ДТ2-50, измеряющего

разрежение в топке. Регулирующий прибор подает сигнал на заслонку управляющую сервомотором. При полностью закрытой заслонке и недостаточном разрежении в топке включается дополнительно вытяжной вентилятор. Регулирующий прибор реализует ПИ-закон регулирования.

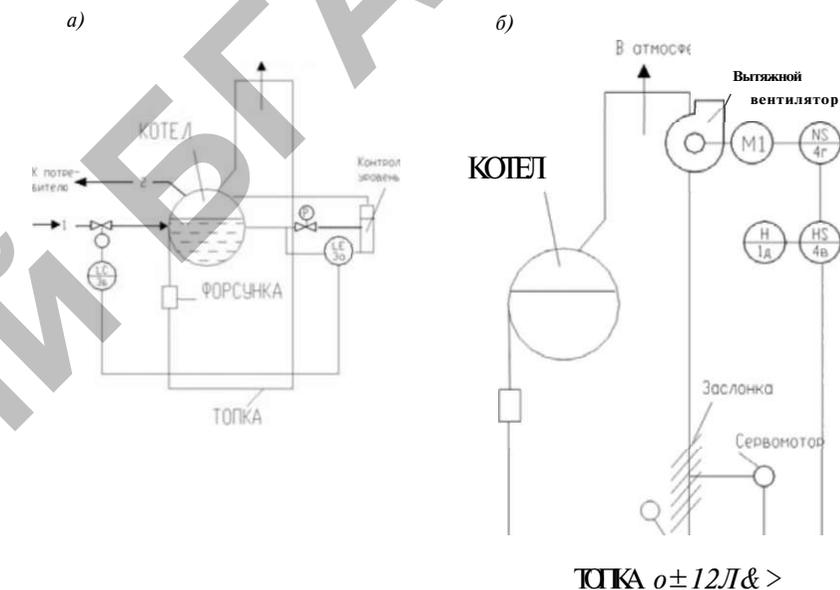


Рис. 19. Схемы АСР парового котла типа ДКВР:

а) - АСР питания котла; б) - АСР разрежения

### Спрямление расходной характеристики регулирующего органа.

В качестве регулирующих органов (РО) систем автоматического регулирования применяются различного рода дроссельные заслонки, клапаны, задвижки, шиберы, направляющие аппараты, реостаты и др.

Большинство РО имеют линейную или близкую к линейной конструктивную характеристику (зависимость проходного сечения РО  $R_{р.о.}$  от его хода  $h_{р.о.}$ ).

Однако для работы с регулятором имеет значение не конструктивная, а расходная характеристика, т. е. зависимость расхода регулируемой среды от хода РО  $I_{ро}$ ,

Если регулирующей средой является вода, то расход ее через РО определяется выражением:

$$O = 0,453 \text{ ц } P \sqrt{P \text{ у}}, \quad (44)$$

где  $O$  - расход воды, кг/с;  
 $P$  - площадь проходного сечения, м<sup>2</sup>;  
 $AP$  - перепад давления на регулирующем органе, Па;  
 $\gamma$  - удельный вес воды, Н/м<sup>3</sup>;  
 $\zeta$  - коэффициент расхода.

Если конструктивная характеристика  $Pp.o. = G(\gamma\rho^0)$  линейна, то расходная характеристика  $O = G(\gamma\rho^0)$  будет также линейна при постоянстве остальных величин, входящих в формулу (44).

Если  $\gamma$  и  $\zeta$  можно считать постоянными во всем диапазоне работы РО, то перепад давления  $AP$  не является постоянным. Как правило,  $AP$  является максимальным при полностью закрытом РО и уменьшается по мере его открытия. Это приводит к тому, что даже у РО с линейной конструктивной характеристикой расходная характеристика получается нелинейной (кривая 1 на рис. 20).

Такая характеристика неприемлема для осуществления автоматического регулирования (при условии, что характеристика объекта регулирования линейна), так как одному и тому же ходу РО при различных степенях открытия соответствуют различные приращения расхода регулируемой средой. Для осуществления автоматического регулирования требуется, чтобы РО имел линейную или близкую к линейной расходную характеристику (кривая 2 на рис. 20).

Расходную характеристику можно спрямить программированием проходных отверстий РО, однако в производственных условиях это связано с большими трудностями. Гораздо более простым решением является рациональное выполнения сочленения исполнительного механизма (ИМ) о РО, что позволяет использовать для автоматического регулирования РО с неблагоприятной характеристикой (рис. 21).

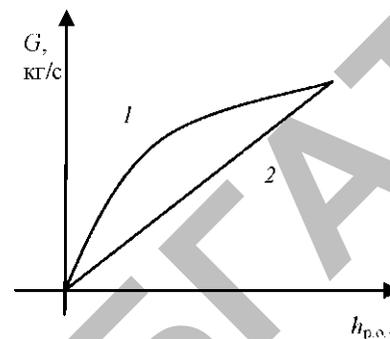


Рис. 20. Расходная характеристика регулирующих органов

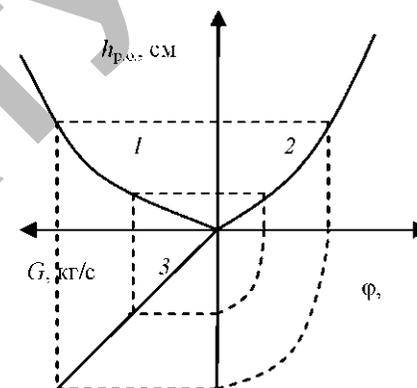


Рис. 21. Спрямление расходной характеристики РО с помощью характеристики сочленения:  
 1 - характеристика РО; 2 - характеристика сочленения; 3 - результирующая характеристика;  $O$  - расход регулирующей среды;  $\gamma\rho^0$  - ход РО;  $\varphi$  - угол поворота кривошипа ИМ

Для экспериментального определения расходной характеристики РО весь диапазон перемещения РО разбивают на 6-10 равных участков (углов поворота или линейных отрезков) и устанавливают соответствующие шкалы. Сначала снимают предварительную характеристику. В случае наличия нелинейности участок диапазона перемещения РО, которому соответствует нелинейный участок характеристики, разбивают на ряд более мелких отрезков (углов) и приступают к экспериментальному определению расходной характеристики.

Расходную характеристику РО определяют при прямом и обратном ходе 2-3 раза при наиболее вероятных технологических режимах.

Перемещение РО, сочлененных с электрическими ИМ, ограничивают с помощью конечных выключателей.

Если у объекта регулирования статическая характеристика нелинейна, то расходная характеристика РО должна быть также нелинейной и представлять собой зеркальное отражение статической характеристики объекта регулирования во всем диапазоне.

Требуемая форма характеристики дросселирующего органа может быть получена несколькими способами, одним из которых является введение между РО и ИМ промежуточного звена с соответствующей нелинейной статической характеристикой - профильного кулачка, кривошипа, кулисы, профиль и размеры которых рассчитывают по заданной и фактической расходом характеристикам. Эти связи позволяют за счет некоторых конструктивных усложнений осуществлять неравные перемещения РО при относительно равных перемещениях выходного элемента ИМ, а также расширяют границы возможных взаиморасположений РО и ИМ. Обычно такие сочленения выполняются либо как шарнирный четырехзвенник (иногда многозвенник), либо как устройство с профильными кулачками (рис. 22).

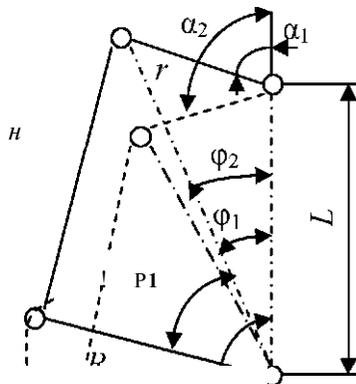


Рис. 22. Кинематическая схема механизма сочленения при вращательном движении подвижной части РО и выходного устройства ИМ

Расчет такого сочленения сводится к определению длины рычага РО  $K$  и длины соединительной тяги  $H$ . Исходными данными при расчете этого сочленения являются длина рычага ИМ  $r$ , расстояние между осями РО и ИМ  $B$ , полный угол поворота вала ИМ  $\alpha^2 - \alpha^1$  и полный угол поворота вала РО  $\rho^2 - \rho^1$ .

$$K = \frac{A}{2} \left[ \cos(\alpha^2 - \alpha^1) - \frac{B}{r} \cos(\rho^2 - \rho^1) \right] \quad (45)$$

$$H = K + A \left[ \frac{2Kr \cos(\alpha^2 - \alpha^1)}{2Kr \cos(\alpha^2 - \alpha^1)} \right]$$

Величина  $A$  определяется из уравнений:

$$A = \frac{r}{2} \sqrt{2 + B^2 + 2 \frac{B}{r} \cos \rho} \quad (46)$$

Величина  $B$  определяется из уравнений:

$$B = r \sqrt{2 + \frac{2r}{B} \cos \rho} \quad (47)$$

Обычно полные углы поворота РО и ИМ равны  $90^\circ$ , тогда

$$\frac{3r}{2} \cos \rho^1 + \cos 3\rho^1 = 1,414 \quad (48)$$

Для получения зависимости  $\alpha = f(\rho)$ , близкой к линейной, угол  $\rho$  выбирают возможно меньшим, но таким, чтобы звенья механизма не создавали положения мертвой точки. Одновременно учитывают, что при слишком малом угле возрастает момент, необходимый для поворота РО, и выбирают обычно  $\rho^1$ , равный  $10^\circ$ . При  $\rho^1 = 10^\circ$  и при полных углах поворота ИМ и РО, равных  $90^\circ$ ,  $K = 0,8197r$ .

После расчета и установки элементов сочленения производят наладку ИМ.

При наладке электрических ИМ в общем случае производятся следующие работы:

- 1) внешний осмотр и проверка соответствия механизма проекту;
- 2) измерение сопротивления изоляции электрических цепей (согласно ГОСТ 7192-74, сопротивление изоляции при температуре окружающего воздуха  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$  и относительной влажности не более 80 % должно быть не менее 20 МОм);
- 3) настройка механических упоров и конечных выключателей;
- 4) настройка элементов защиты;
- 5) настройка датчиков обратной связи и дистанционного указателя положения;
- 6) настройка путевых выключателей и местного указателя положения;
- 7) проверка и настройка элементов сочленения с РО;
- 8) проверка совместной работы ИМ с РО;
- 9) снятие характеристик.

Наладка ИМ должна производиться в соответствии с монтажно-эксплуатационными инструкциями завода-изготовителя.

Исполнительные механизмы типов МЭК и МЭО состоят из следующих основных узлов: электродвигателя, редуктора, блока датчиков. Для сочленения ИМ с валом РО служит кривошип. В качестве электропривода в ИМ в зависимости от модификации используются двухфазные конденсаторные двигатели с полым ротором и трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором.

В ИМ применяется один из следующих блоков датчиков: индуктивный БДИ-6, индуктивный с устройством «люфт» БДИ, реостатный БДР. Блок датчиков состоит из элементов, служащих для осуществления обратной связи по положению, дистанционного указания положения, сигнализации и электрического ограничения крайних положений кривошипа ИМ.

Для настройки блока датчиков необходимо:

а) поворотом выходного вала установить регулирующий орган в среднее положение;

б) отвернуть винт цапгового зажима на поворот, совместить риску с отметкой  $90^{\circ}$  или  $240^{\circ}$  профильного кулачка с точкой касания подшипника (риска  $90^{\circ}$  профильного кулачка соответствует среднему положению диапазона регулирования  $0-90^{\circ}$ , риска  $240^{\circ}$  - среднему положению диапазона регулирования  $0-240^{\circ}$ );

в) после установки кулачка винт цапгового зажима завернуть;

г) произвести настройку кулачков микровыключателей блока датчиков (кулачки установить в положение, обеспечивающее срабатывание микровыключателей в требуемых положениях рычага механизма).

Настройка реостатов блока датчиков БДР производится поворотом на валу и закреплением в необходимом положении токосъемника. Для закорачивания неработающих витков реостата необходимо ослабить винт на корпусе; повернуть кольцо подвижного контакта отверткой за шлиц и закрепить его снова винтом.

При настройке для работы в диапазоне углов от  $0$  до  $240^{\circ}$  перевести концы проводов, ведущие к блоку датчиков БДР, с клемм «1» и «3» соответственно на клеммы «2» и «7» (механизмы поставляются заводом с настройкой датчиков на работу в диапазоне  $0-90^{\circ}$ ).

Для ограничения угла поворота рычага выходного вала ИМ имеются два настраиваемых механических упора. Шаг установки упоров -  $3^{\circ}$ . Установка упоров производится на угол, превышающий угол, превышающий угол настройки конечных выключателей на  $3-6^{\circ}$ .

Для привода бесконтактных ИМ используются малоинерционные однофазные асинхронные конденсаторные двигатели типа ДАУ, обладающие хорошими динамическими свойствами, что обеспечивает их длительную работу в стопорном режиме (на упор). Применение электродвигателей, допускающих работу в стопорном режиме, позволяет в ряде случаев ограничивать угол поворота выходного вала только упорами, не прибегая к использованию конечных выключателей, что повышает надежность работы системы регулирования.

#### Содержание отчета:

1. Схема автоматизации по контурам регулирования.
2. Полные принципиальные электрические схемы САР.
3. Расходная характеристика.
4. Методика наладки исполнительного механизма типа МЭО.

#### Контрольные вопросы:

1. Назовите основные виды автоматизации котельных установок, предусмотренные ОСТ.
2. Назовите основные контуры регулирования. Раскройте их содержание по схеме автоматизации.
3. Обоснуйте выбор законов регулирования по контурам регулирования.
4. С какой целью производится спрямление расходных характеристик регулирующих органов? Приведите методику спрямления.
5. Приведите порядок наладки электродвигательных исполнительных механизмов.
6. Приведите порядок настройки блока датчиков исполнительного механизма.

## ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПАСТЕРИЗАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

*Цель работы:* освоить методику определения закона плавного регулирования и наладки регуляторов непрерывного действия; изучить типовое решение автоматизации пастеризационных установок.

*Оборудование:* справочные материалы, стенд с набором закрепленных элементов САУ и исполнительных устройств.

### Вопросы предварительного контроля:

1. Какие две группы законов регулирования вы знаете?
2. Дайте определения основных законов плавного регулирования.
3. Запишите передаточные функции для каждого закона плавного регулирования.

### Порядок выполнения работы:

1. Ознакомьтесь с теорией в разделе «Общие сведения» и литературе [1, с. 538-542]. Какие контуры автоматического регулирования можно выделить?
2. Определите закон регулирования в основных контурах регулирования в соответствии с математическим описанием пастеризационной установки.
3. Разработайте схему автоматизации и ознакомьтесь с электрической схемой управления пластинчатой пастеризационной установкой [1, с. 542].
4. Изучите оборудование, представленное на лабораторном стенде. Используя описание регулятора КТ-820, разработайте схему управления перепускным клапаном с учетом оборудования, используемого на наборном поле (управление перепускным клапаном). Согласуйте схему

с преподавателем. Соберите схему на наборном поле. После проверки схемы преподавателем, подайте питание на стенд автоматическим выключателем 8P1. Подайте напряжение на собранную схему переключателем 8A1. Сымитируйте управление клапаном, меняя задание на регуляторе КТ-820. Покажите результат преподавателю. Обесточьте стенд. Разберите схему.

5. Используя описание реле-регулятора уровня Р2-829, разработайте схему управления насосом, поддерживающим уровень в уравнительном баке, с учетом оборудования, используемого на наборном поле (управление уровнем в уравнительном баке). Согласуйте схему с преподавателем. Соберите схему на наборном поле. После проверки схемы преподавателем, подайте питание на стенд автоматическим выключателем 8P1. Подайте напряжение на собранную схему переключателем 8A2. Сымитируйте управление насосом, используя емкость с водой и электроды реле-регулятора. Покажите результат преподавателю. Обесточьте стенд. Разберите схему.

6. Изучите методику наладки регуляторов непрерывного действия. Проведите наладку. Основные положения зафиксируйте в отчете.

### Общие сведения

К наиболее важным операциям первичной обработки относят *очистку, пастеризацию и охлаждение* молока.

Схема автоматизации пластинчатой пастеризационной установки приведена на рис. 23.

Из молокоборника молоко поступает в уравнительный бак. Из бака насос подает молоко в первую секцию пластинчатого аппарата (секцию регенерации), где молоко за счет теплообмена нагревается до  $+37...+40^{\circ}\text{C}$ . Из первой секции регенерации молоко поступает в молокоочиститель, очищается, подается во вторую секцию регенерации и переходит в секцию пастеризации, где за счет теплообмена с горячей водой нагревается до температуры  $+76^{\circ}\text{C}$  (в установке ОПФ-1-20) или до  $+90^{\circ}\text{C}$  (в установке ОПФ-1-300). Пастеризованное молоко через выдерживатель проходит в секции регенерации, и его температура снижается до  $+20...+25^{\circ}\text{C}$ . Далее молоко проходит первую секцию охлаждения холодной водой, а затем вторую - ледяной водой, где его температура снижается до  $+5...+8^{\circ}\text{C}$ . Холодное молоко поступает в танки.

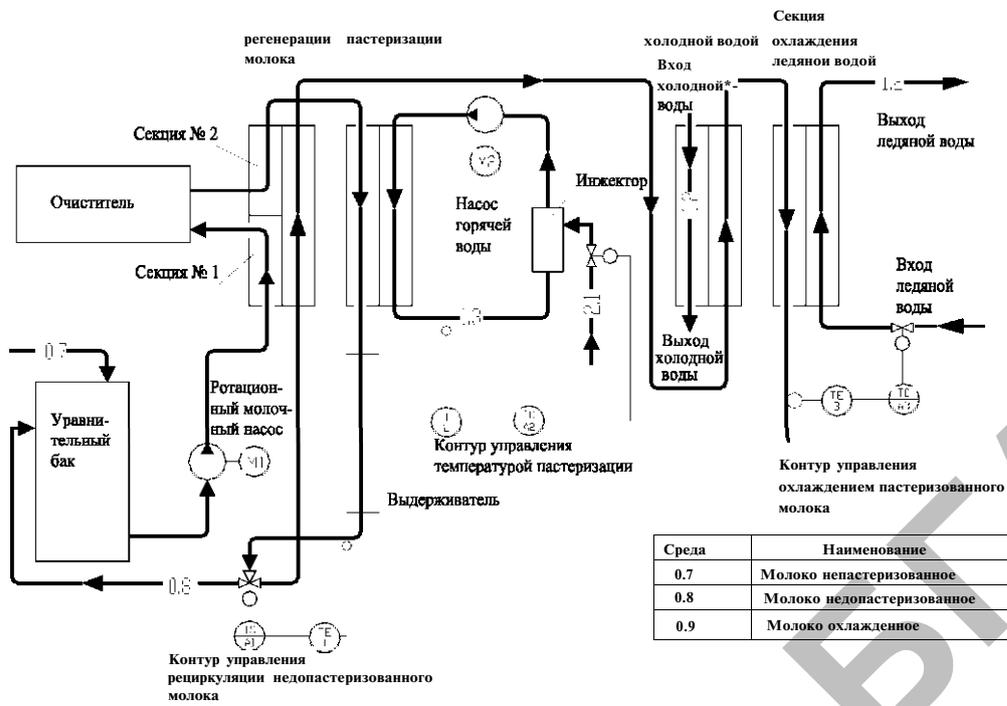


Рис. 23. Схема автоматизации пастеризационной установки

Горячая вода готовится в бойлере, где нагревается паром через инжектор паропровода от котельной установки.

Дополнительная выдержка молока в течение 20 с в выдерживателе установки ОПФ-1-20 и 300 с в выдерживателе установки ОПФ-1-300 перед охлаждением способствует уменьшению бактериального загрязнения.

Контроль температуры молока после пастеризационной секции осуществляется первичным преобразователем, сигнал которого подается на регулятор, формирующий сигнал исполнительному механизму трехходового клапана, который при низкой температуре молока перепускает его обратно в уравнильный бак.

Температура горячей воды после секции пастеризации контролируется преобразователем, сигнал которого подается на регулирующий прибор. Исполнительный механизм управляет вентилем подачи пара в инжектор для изменения температуры горячей воды.

Для выбора наиболее рациональных схем автоматического управления установкой проводят ее исследование с целью получения математического описания установки как объекта автоматизации. Определение статических и динамических характеристик позволяет выбрать наиболее эффективные регуляторы и параметры их настройки.

Процесс пастеризации и охлаждения молока можно представить структурными схемами, показанными на рис. 24. Входная величина секции пастеризации - расход пара  $O_p$ , выходная - температура молока  $\theta_m$ . Возмущениями являются непостоянство расхода молока  $O_m$ , его температура, изменение коэффициента теплопередачи пастеризатора вследствие отложения белка на теплопроводящих поверхностях. Входная величина секции охлаждения - расход хладоносителя  $O_{хл}$ , выходная температура холодного молока -  $\theta_{мх}$ . Основными возмущениями в охладителях молока являются колебания температуры хладоносителя, изменение давления хладоносителя  $P_{хл}$ , расход молока  $O_m$  и др.



Рис. 24. Структурные схемы:

а) - пастеризация молока; б) - охлаждение молока

Динамика нагревательной части пластинчатого пастеризатора по каналу «расход пара - температура молока» описывается уравнением теплового баланса секции пастеризатора и системы подогрева горячей воды. Если пренебречь потерями тепла в окружающую среду, то уравнение теплового баланса в установившемся режиме имеет вид:

$$C O (1 - \xi \theta - \theta) = O (\theta - C O), \quad (49)$$

где  $C_m, C_v$  - теплоемкость молока и воды,  $\text{кДж/кг}^\circ\text{C}$ ;

$O_m, O_p$  - расход молока и пара,  $\text{кг/с}$ ;

$C$  - коэффициент регенерации теплоты;

$\theta_{mi}, \theta_{mk}$  - температура молока на входе и на выходе пастеризатора;

$z$  - энтальпия пара,  $\text{кДж/кг}$ ;

$\theta$  - температура воды.

Из уравнения (49) получаем статическую характеристику пастеризатора:

$$\theta = \theta_0 + \frac{1 - C \theta_0}{C O (1 - \xi)} \Delta O_p \quad (50)$$

По результатам экспериментальных и теоретических исследований передаточная функция пастеризатора с достаточной для практики точностью может быть представлена аperiodическим звеном первого порядка и звеном чистого запаздывания:

$$W(P) = \frac{1}{T_p P + 1} \quad (51)$$

где  $k_p$  - коэффициент передачи;

$T$  - постоянная времени;

$t_p$  - время запаздывания, с.

Из уравнения (50) коэффициент передачи следующий:

$$k_p = \frac{1 - C_9}{CO (1 - 2,)} \quad (52)$$

Средние значения параметров  $k_p$ ,  $T$  и  $t_p$  для некоторых установок приведены в табл. 12.

Таблица 12

Установка	Значения $k_p$ , $T$ и $t_p$				
	$k_p$	$T$ , с	$t_p$	Производительность, л/ч	Площадь поверхности теплообменника, м <sup>2</sup>
ОПУ-3М	3820	250	20	3000	13,4
ОПУ-5М	2300	369	12	-	-
ОПФ-1	-	-	-	1000	2,5

При накоплении белковых веществ значение  $t$  возрастает на 50-70 %.

Соотношение  $t/T < 0,2$  для секций пастеризации, что позволяет использовать регулирующие приборы, реализующие простейшие законы регулирования. На рис. 25 представлена принципиальная электрическая схема управления пластинчатой пастеризационной установкой. «Пуск» и «Останов» приводов насосов и очистителей производятся вручную с помощью кнопочных станций, что на рис. 25 не показано.

**Наладка регуляторов непрерывного действия.** Под законом регулирования подразумевается функциональная связь между выходным сигналом (координатой)  $X_{вых}$  регулятора и его входной координатой  $X_{вх}$  как в установившемся, так и в переходном режимах.

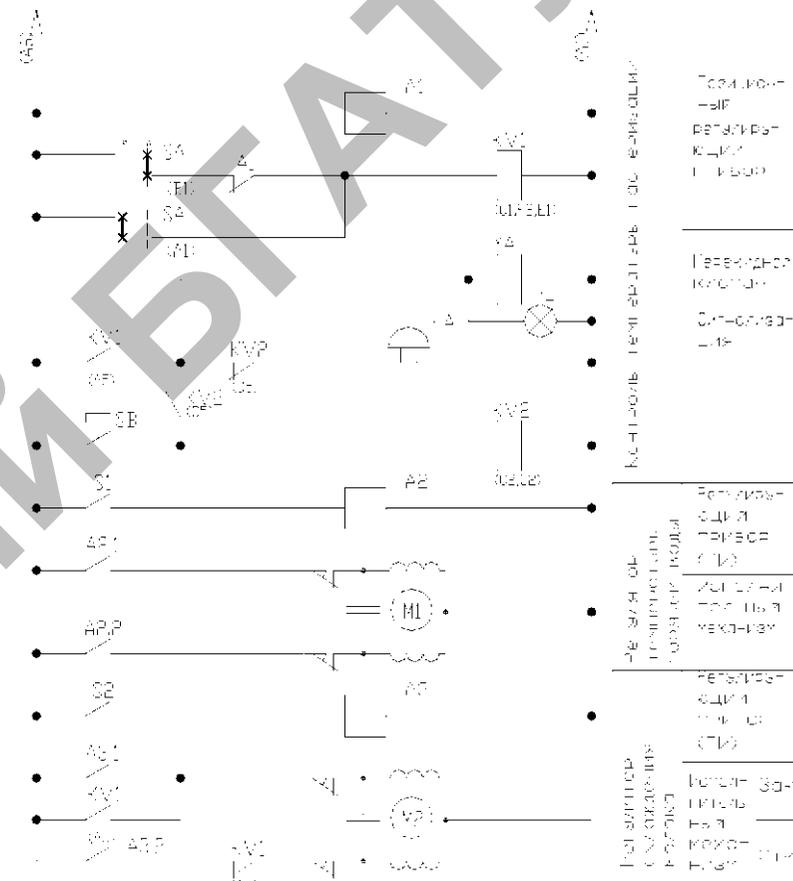


Рис. 25. Упрощенная принципиальная электрическая схема управления пластинчатой пастеризационной установкой

Среди непрерывных наиболее широко используются два основных простейших закона (П- и И-законы) и три их комбинации в сочетании с предварением или без него (ПИ-, ПД-, ПИД-законы).

Закон регулирования П-регулятора выражается уравнением:

$$X_{вых} = K X_{вх} \quad (53)$$

Его передаточная функция в операторной форме  $W(p) = k_p$ .

Характерными величинами П-регулятора являются зона пропорционального  $X^p$  или коэффициент пропорциональности  $k_p$  и рабочая точка  $\sigma$ . Рабочая точка  $\sigma$  представляет собой такое значение выходного сигнала, при котором отклонение регулируемой величины становится равным нулю.

Закон регулирования И-регулятора выражается зависимостью:

$$(54)$$

а его передаточная функция уравнением:

$$W(p) = \frac{k_p}{T_i p} \quad (55)$$

Закон регулирования ПИ-регуляторов, которые иногда называют *изодромными*, описывается уравнением:

$$X_{вых} = k_p X_{вх} + \frac{k_p}{T_i} \int X_{вх} dt, \quad (56)$$

где  $T_i$  - постоянная времени интегрирующего звена (называется *временем изодрома*).

Передаточная функция ПИ-регулятора:

$$W(p) = k_p + \frac{k_p}{T_i p} \quad (57)$$

Структурная алгоритмическая схема ПИ-регулятора представляет собой параллельное соединение безынерционного и интегрирующего звеньев.

Закон регулирования ПИД-регулятора описывается уравнением:

$$X_{вых} = k_p X_{вх} + T_d \dot{X}_{вх} + \frac{k_p}{T_i} \int X_{вх} dt, \quad (58)$$

где  $T_d$  - постоянная времени дифференцирующего звена, которую иногда называют *временем предварения*.

Переходный процесс в автоматической системе должен, по возможности, иметь минимальное время регулирования, сравнительно небольшое динамическое отклонение регулируемой величины, небольшое перерегулирование и минимальную статическую ошибку. Однако удовлетворить все перечисленные требования одновременно ни одним регулятором невозможно. Поэтому параметры регуляторов принято настраивать на один из трех типовых *переходных процессов регулирования* (рис. 26).

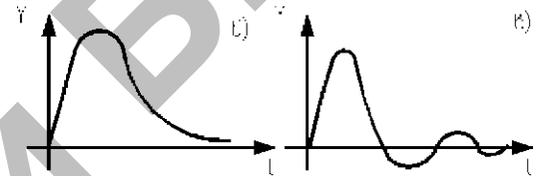


Рис. 26. Характеристики типовых переходных процессов: а) - аperiodический; б) - с 20%-м перерегулированием; в) - с минимальной площадью под кривой переходного процесса

*Аperiodический процесс* характеризуется минимальным временем регулирования для объектов с самовыравниванием (для объектов без самовыравнивания время регулирования велико), отсутствием перерегулирования, небольшим управляющим воздействием. Вместе с тем, динамическое отклонение в этом процессе максимально. Такой тип переходного процесса рекомендуется в тех случаях, когда объект имеет несколько регулируемых величин и необходимо, чтобы регулирующее воздействие для рассматриваемой величины не оказывало нежелательного влияния на другие регулируемые величины.

*Процесс с 20%-м перерегулированием* (со степенью затухания близкой к  $\zeta = 0,85-0,95$ ), который характеризуется наличием перерегулирования и уменьшенным динамическим отклонением регулируемой величины. Применяется к объектам, допускающим перерегулирование, но чувствительным к большим динамическим отклонениям.

*Процесс с минимальной площадью отклонения регулируемой величины* характеризуется малым значением динамического от-

клонения, обеспечивает минимум интегральной квадратичной оценки, равной  $\int \Delta y^2$ ; однако перерегулирование здесь большое, увеличивается время регулирования и требуется значительное управляющее воздействие на объект. Этот процесс применяют для тех объектов, в которых по техническим требованиям не допускается большое отклонение регулируемой величины.

Задача настройки регулятора заключается в том, чтобы применительно к данному объекту выбрать (рассчитать) и установить такие настроечные параметры (коэффициенты усиления, постоянные времени интегрирования и дифференцирования), которые обеспечили бы процесс регулирования, близкий к оптимальному.

Расчетные значения параметров настройки регуляторов для типовых переходных процессов приведены в табл. 13.

Таблица 13

Параметры настройки аналоговых регуляторов непрерывного действия

Типовые процессы регулирования

Регулятор	Апериодический		20%-ное перерегулирование		$\tau_{\text{мП}}   x^2 \text{ аг}$	
	Статический объект	Астатический объект	Статический объект	Астатический объект	Статический объект	Астатический объект
И	$k_p = 0,22 A$	-	$k_p = 0,59 A$	-	$k_p = 0,59 A$	-
П	$k_p = 0,3 B$	$k_p = 0,4 C$	$k_p = 0,7 B$	$k_p = 0,7 C$	$k_p = 0,9 B$	-
ПИ	$k_p = 0,6 B$ $T_i = 0,6 T_0$	$k_p = 0,4 C$ $T_i = 6 T_3$	$k_p = 0,7 B$ $T_i = 0,7 T_0$	$k_p = 0,7 C$ $T_i = 3 T_3$	$k_p = B$ $T_i = T_0$	$k_p = C$ $T_i = 4 T_3$
ПИД	$k_p = 0,95 B$ $T_i = 2,4 T_3$ $T_d = 0,4 T_3$	$k_p = 0,6 C$ $T_i = 5 T_3$ $T_d = 0,2 T_3$	$k_p = 1,2 B$ $T_i = 2 T_3$ $T_d = 0,4 T_3$	$k_p = 1,1 C$ $T_i = 2 T_3$ $T_d = 0,4 T_3$	$k_p = 1,4 B$ $T_i = 1,3 T_3$ $T_d = 0,5 T_3$	$k_p = 1,4 C$ $T_i = 1,6 T_3$ $T_d = 0,5 T_3$

$A = \frac{1}{\tau_0} \cdot \tau = T^0$ .  $\tau = T$ .  $T$ —условная постоянная времени астатического объекта

$$T_3 = T_{\text{р.о}} + T_{\text{р.о}} + T_0$$

Значения коэффициентов усиления и постоянных времени в электрических аналоговых регуляторах устанавливают путем изменения сопротивления соответствующих переменных резисторов.

Регуляторы можно настроить без объекта в лаборатории на специально приспособленном стенде. При этом на вход регулятора необходимо подавать воздействия в виде изменяющейся регулируемой величины (температуры, влажности, уровня жидкости и т. п.). На выходе регулятора должны быть установлены приборы, регистрирующие изменение управляющего воздействия. На рис. 27 приведены динамические характеристики П-, ПИ- и ПИД-регуляторов.

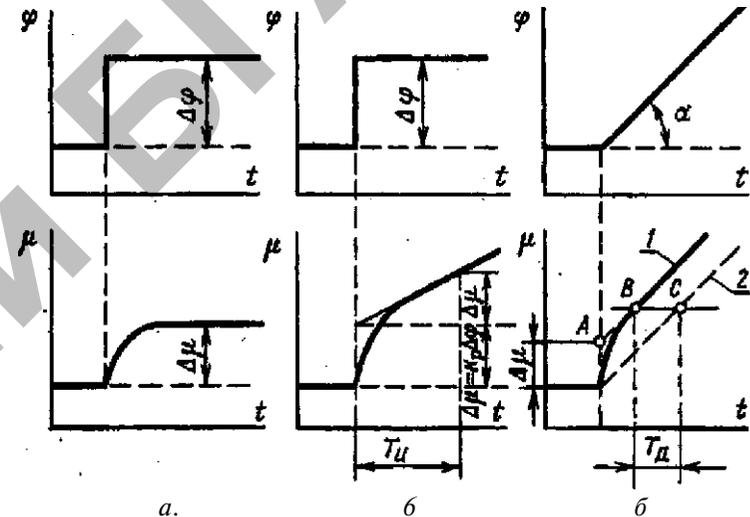


Рис. 27. Динамические характеристики: а - П-регулятора; б - ПИ-регулятора; в - ПИД-регулятора

При настройке П-регуляторов значение коэффициента усиления  $k_p$  определяют по динамической характеристике как отношение приращения выходной величины  $\psi$  к изменению входной величины  $\phi$  (рис. 27а).

Приступая к настройке ПИ-регулятора, сначала отключают интегральную часть и градуируют устройство для настройки. Затем, включив интегральную часть одновременно с пропорциональной, градуируют приспособление для настройки  $T_i$  при том же значении  $k_p$ . На рис. 27б видно, как выходной сигнал регулятора вначале изменяется на  $\Delta\psi$  за счет действия пропорциональной части, а затем нарастает под действием интегральной части. Время, за которое произойдет удвоение выходного сигнала пропорциональной части характеристики, и будет временем изодрома  $T_i$ .

*ПИД-регуляторы* градуируют вначале при отключенной интегральной и дифференциальной части, то есть устанавливают величину  $K_P$ . Затем подключают интегральную часть и аналогично ПИ-регуляторам градуируют устройство для настройки  $T_i$ . Для настройки времени предварения  $T_d$  включают пропорциональную и дифференциальную части регулятора (при отключенной интегральной части). Устанавливают известное, и на вход регулятора подают непрерывно возрастающее воздействие (рис. 27в), скорость нарастания которого постоянна, и регистрируют изменение выходной величины, которая резко изменяется (совершает скачок) за счет действия дифференциальной части, а затем нарастает под действием пропорциональной части.

Время предварения  $T_d$  определяют как разность времени достижения одних и тех же значений выходной величины регулятора при включенной и выключенной дифференциальной части. При выключенных интегральной и дифференциальных частях ПИД-регулятор превращается в П-регулятор (характеристика 2). Чтобы найти значение  $T_d$ , проводят прямую, параллельную оси времени, выше точки  $A$  так, чтобы она пересекла характеристики 1 и 2. Отрезок  $BC$  в масштабе времени определяет время предварения  $T_d$  при данном положении настроечных устройств.

Необходимо иметь в виду, что рассчитанные по таблице или выбранные по графикам настроечные параметры регуляторов вследствие неточности снятия и обработки характеристик объектов, ряда упрощений при математической обработке результатов, а также неточного снятия и обработки характеристик объектов, ряда упрощений при математической обработке результатов и по другим причинам могут несколько отличаться от оптимальных значений, которые обеспечивают требуемый вид переходного процесса.

Поэтому в процессе наладки необходима корректировка параметров настройки. Однако при этом следует помнить, что любое изменение настройки регулятора для улучшения одних показателей может привести к ухудшению других. Например, уменьшение коэффициентов усиления приводит к уменьшению колебательности системы, уменьшению времени регулирования, но увеличивает статическую ошибку (для П-регуляторов). Увеличение времени изодрома способствует увеличению степени затухания переходного процесса, но при чрезмерном увеличении времени изодрома начинает прояв-

ляться статическая ошибка. Увеличение времени предварения до некоторых значений улучшает качество регулирования, но вместе с тем чрезмерное увеличение ухудшает показатели переходного процесса.

Чрезмерное увеличение передаточного коэффициента или уменьшение времени интегрирования и увеличение времени предварения способствует увеличению колебательности процесса и могут привести к возникновению незатухающих колебаний системы, то есть к неустойчивому режиму работы автоматической системы.

### Содержание отчета:

1. Схема автоматизации пастеризационной установки.
2. Выводы по пункту 2 порядка выполнения работы.
3. Принципиальная электрическая схема управления пластинчатой пастеризационной установкой.
4. Принципиальная электрическая схема управления перепускным клапаном.
5. Принципиальная электрическая схема поддержания уровня в уравнительном баке.
6. Методика наладки регуляторов непрерывного действия.

### Контрольные вопросы:

1. Охарактеризуйте пастеризационную установку как объект автоматизации.
2. Какие контуры регулирования выявляют в процессе пастеризации? Проиллюстрируйте ответ схемой автоматизации.
3. Каким образом влияет изменение значений коэффициентов настройки регулятора на переходной процесс?
4. По каким критериям выбирают тип переходного процесса?
5. По мере работы пастеризационной установки накапливается накипь молока на пластинах пастеризатора, что приводит к уменьшению коэффициента передачи. Каким образом это влияет на работу системы регулирования температуры пастеризационной установки, и какие действия необходимо предпринять службе КИПиА?
6. Раскройте методику наладки регуляторов непрерывного действия.

### ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ (САУ ТП) В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ

*Цель работы:* изучение типовых решений по реализации системы автоматического управления технологическими процессами в защищенном грунте; освоение методики разработки и реализации САУ и программного управления.

*Оборудование:* методические указания, справочные материалы, стенд с набором закрепленных элементов САУ и исполнительных устройств.

#### Вопросы предварительного контроля:

1. Какой объем автоматизации предусматривают нормы технологического проектирования для зимних теплиц?
2. Какие параметры микроклимата в теплице должны поддерживаться системой автоматического регулирования?
3. Каковы технические характеристики а-контроллера 2-го поколения как устройства управления?

#### Порядок выполнения работы:

1. Ознакомьтесь с общими положениями по автоматизации ТП в защищенном грунте, приведенными в методических указаниях [12, с. 47-67] и литературе [2, с. 160-165].
2. Сформулируйте технологические требования к САУ температуры воздуха в теплице. Разработайте в соответствии с технологическими требованиями схему автоматизации и полную электрическую схему САУ температуры воздуха в теплице с учетом оборудования, представленного на лабораторном стенде.

3. Сравните разработанную Вами схему с аналогом, представленным на рис. 28. Соберите схему (линии соединения выделены). Покажите работу преподавателю.

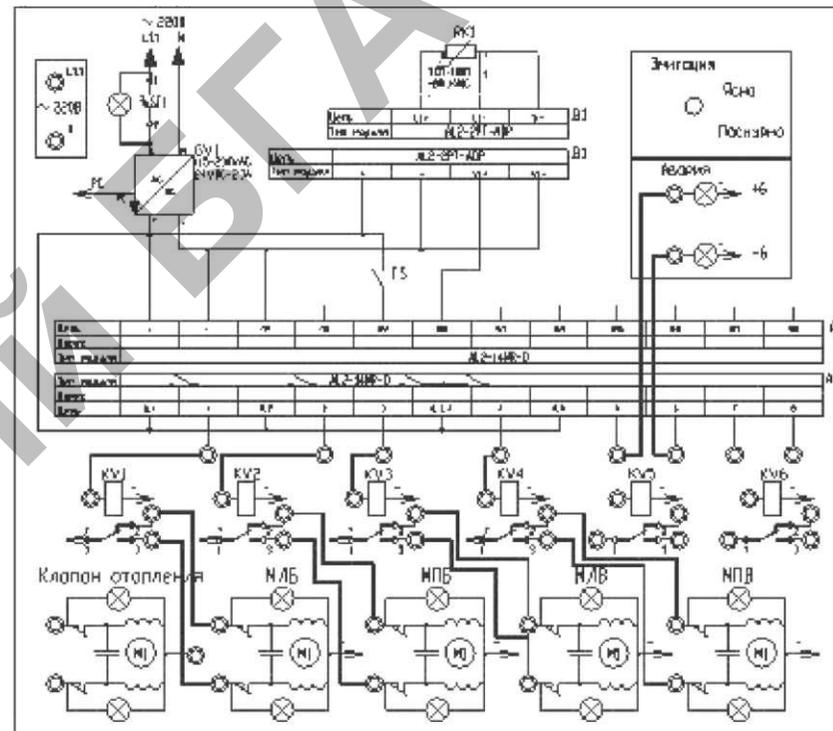


Рис. 28. Наборное поле для реализации САУ ТП в защищенном грунте:

МЛБ - механизм левой боковой; МПБ - механизм правой боковой;

МЛВ - механизм левой верхней; МПВ - механизм правой верхней фрамуг

4. Вместе с преподавателем после проверки схемы опробуйте работу схемы, подав питание на стенд.
5. Заполните табл. 14, изменяя (принудительно) температуру на датчике 1. Сделайте вывод о заданной температуре в пасмурный и ясный день.

Таблица 14

Диаграмма работы исполнительных механизмов при изменении температуры

Температура, °С	Изменение состояния исполнительного механизма	Положение имитатора	Температура, °С	Изменение состояния исполнительного механизма	Положение имитатора
	МЛБ открыт	Ясно		МЛБ открыт	Пасмурно
	МПБ открыт	Ясно		МПБ открыт	Пасмурно
	МЛВ открыт	Ясно		МЛВ открыт	Пасмурно
	МПВ открыт	Ясно		МПВ открыт	Пасмурно
	Норма	Ясно		Норма	Пасмурно
	Авария: ошибка +6 °С	Ясно		Авария: ошибка +6 °С	Пасмурно
	Авария: ошибка -6 °С	Ясно		Авария: ошибка -6 °С	Пасмурно

6. Обесточьте стенд. Разберите схему.

7. Считайте программу с контроллера. Для этого к отключенному компьютеру присоедините кабель связи. Включите компьютер, подайте питание на стенд. Запустите Alpa Pro\$гаттш\$. Вызовите команду **Считывание из контроллера** из меню Контроллер. Посмотрите, какой контур регулирования остался не задействованным.

8. Сделайте вывод о качестве регулирования.

9. Снимите питание со стенда, выключите компьютер, отсоедините кабель связи.

### Общие сведения

Согласно научно обоснованным нормам питания, человек должен равномерно в течение всего года потреблять 130-150 кг овощей и 120 кг картофеля.

Таким образом, для равномерного потребления овощей в течение года около 25 % всего количества овощей должно выращиваться в сооружениях защищенного грунта (теплицах, парниках, утепленном грунте и т. п.).

**Технологические основы управления микроклиматом в теплицах.** Важнейшими параметрами микроклимата, которые играют значительную роль в росте растений, являются следующие: освещенность, температура воздуха, влажность воздуха, концентрация углекислого газа и скорость движения воздуха. Управление

микроклиматом означает управление этими параметрами с учетом их взаимосвязи.

В природе существует равновесие между теплотой, поступающей за счет радиации, и ее потерей. В теплице это равновесие менее устойчиво, поскольку ее ограждение практически не пропускает наружу длинноволновую составляющую теплового излучения (парниковый эффект).

Равновесие, конечно же, наступает, но важно, чтобы оно соответствовало той температуре, которая нужна растению.

Оптимальное значение температуры воздуха зависит от многих факторов и, в первую очередь, от выращиваемой культуры, стадии ее развития и уровня освещенности растений. Достаточное количество света при высокой температуре ускоряет фотосинтез и накопление углеводов, необходимых для дыхания и роста растений. Низкая освещенность и высокая температура приводят к дефициту углеводов и истощению растений, а низкая температура даже при достаточной освещенности замедляет или приостанавливает рост растения.

Максимум интенсивности фотосинтеза соответствует температуре +25...+30 °С, но с учетом дыхания, интенсивность которого также зависит от температуры, этот оптимум снижается до +20...+25 °С [13].

Следует помнить, что изменяют и регулируют обычно температуру воздуха, а не температуру самого растения. В то же время, несмотря на малую тепловую инерцию листа, при нарушениях баланса влаги его температура может быть на 10 °С выше температуры окружающего воздуха.

В переходных режимах массивные части растения прогреваются медленнее - отсюда опасность конденсации на них влаги и заболевания растения. Поэтому в режиме перехода от ночного к дневному уровню температур скорость изменения этого параметра не должна превышать 6 °/ч.

Оптимальная температура воздуха для теплолюбивых культур (томат, огурец, баклажан, перец) при солнечной погоде равна (+24 ± 4) °С, в пасмурную погоду +22 °С, ночью +15...+20 °С, для умеренно требовательных к теплоте культур (редис, салат, сельдерей и т. п.) (+16 ± 4) °С. Оптимальное значение среднесуточной температуры почвы для первых культур равно +22...+26 °С, а для вторых - на 3-4 °С ниже.

При прорастании семян культур температуру поддерживают на уровне  $+20...+25^{\circ}\text{C}$ , а после появления всходов снижают до  $+18...+20^{\circ}\text{C}$  у теплолюбивых и до  $+6...+8^{\circ}\text{C}$  - умеренно требовательных к теплоте растений.

Температура почвы, как правило, незначительно отличается от температуры воздуха, но при ее снижении замедляется поглощение растением питательных веществ и воды, а при повышении - корневая система становится слишком большой. Особую опасность представляет смена солнечной погоды на пасмурную, когда возникает дефицит углеводов и задержка роста растений из-за того, что почва сильно активна, а фотосинтез слаб.

Урожайность в культивационных сооружениях в значительной степени зависит от влажности почвы. Влажность почвы необходимо поддерживать на уровне 75-90 % полной полевой влажности (ППВ). Относительная влажность воздуха для рассады огурцов и баклажанов - 65-75 %, томата и перца - 55-65 %, салата и капусты - 60-70 %. В послерассадочный период относительная влажность воздуха для этих культур соответственно - 85-95 %, 55 и 65 %, 75 и 85 %. Влажность воздуха мало влияет на продуктивность биоценоза, но все-таки при снижении температуры воздуха следует ее увеличивать.

Температура воды для полива должна быть на уровне температуры почвы и воздуха в теплице (порядка  $+20...+25^{\circ}\text{C}$ ).

Воздушно-газовый режим в значительной мере определяет продуктивность фотосинтеза. В ночные часы содержание  $\text{CO}_2$  в теплице за счет дыхания растений увеличивается до 0,05 %, а днем за счет фотосинтеза падает до 0,01 %, что и вызывает необходимость принудительной подачи  $\text{CO}_2$  в теплицу в количествах, зависящих от уровня освещенности.

Оптимальное значение  $\text{CO}_2$  в воздухе для огурцов должно составлять 0,25 и 0,35 %, для томата - 0,1-0,15 %, т. е. в 3-12 раз больше, чем в открытой воздушной среде.

Содержание  $\text{CO}_2$  в теплицах повышают, сжигая природный газ в специальных горелках или используя газы из котельных. Для повышения содержания  $\text{CO}_2$  до 0,3 % в теплице площадью 1 га требуется сжигать примерно  $50 \text{ м}^3$  газа в час.

Углекислый газ доставляют также в баллонах высокого давления и через редукторы выпускают в теплицы.

Для нормального роста растений и предохранения их от заболеваний необходима постепенная смена воздуха в надземной части растений. Оптимальный воздушно-газовый режим обеспечивает повышение урожая до 20 %.

Световой режим определяется степенью использования солнечной энергии, которая характеризуется потоком ФП. Искусственная освещенность растений требует большой затраты энергии и поэтому используется в теплицах на Крайнем Севере. Для этого применяют электрические лампы накаливания и люминесцентные лампы с установочной мощностью: для огурцов - до 700 Вт и для томатов - до 900 Вт на  $1 \text{ м}^2$ , стремясь создать облученность растений не менее 5-8 тыс. лк.

С учетом сложности взаимосвязи параметров микроклимата в теплице и их изменения во времени разработаны принципы и программы управления климатом теплиц в течение суток у вегетационного периода культур. На рис. 29 представлен график изменения температуры и влажности воздуха в теплице в течение суток. В ночное время суток температура  $\text{t}_{\text{в}}$  поддерживается постоянной. За час до восхода солнца температура в теплице повышается до величины  $\text{t}_{\text{в}}^{\text{в}}$ , подсушивается воздух, и с восходом солнца вода не конденсируется на растениях и плодах, а начинается нормальный процесс фотосинтеза.

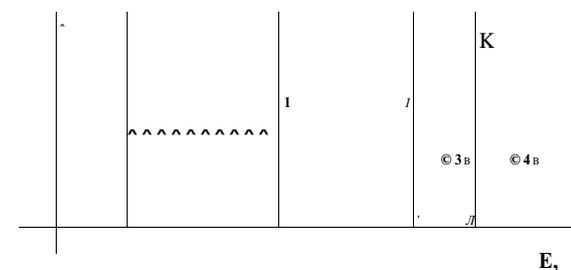


Рис. 29. График поддержания температуры воздуха  $\text{t}_{\text{в}}$  в теплице в течение суток с учетом освещенности  $E$  и времени суток  $T$

В переходном режиме массивные части растения прогреваются медленно - отсюда опасность конденсации на них влаги

и заболевания растения. Поэтому, если при переходе от ночного к дневному уровню температур не подсушивается воздух, скорость изменения температуры не должна превышать  $6^{\circ}\text{C}$  в час.

Если погода пасмурная, то в течение всего светового дня поддерживается температура 03в, равная температуре 02в. В солнечную погоду, начиная с освещенности 2 000 лк, повышают температуру в соответствии с величиной освещенности до температуры 04в. После этого открывают вентиляционные фрамуги, и избыток тепла уходит благодаря вентиляции. Переход от дневной температуры к ночной осуществляется после захода солнца. Угол наклона линии превышения дневных температур в солнечные дни над температурой в пасмурный день зависит от времени года, географической широты расположения тепличного хозяйства. В соответствии с увеличением освещенности и температуры в теплицах снижают температуру труб системы отопления, но снижение производят до определенного минимального уровня, обеспечивающего стимулирование движения воздуха в теплице. При превышении температуры на установленную величину  $A$  приоткрываются вентиляционные фрамуги, чтобы убрать излишки тепла.

**Объем автоматизации ТП защищенного грунта.** Нормы технологического проектирования ОНТП-СХ для зимних теплиц площадью от 3 га (в блоке) и выше предусматривают [4]:

- автоматическое регулирование температуры воздуха в теплице (днем - с учетом освещенности);
- автоматическое регулирование температуры теплоносителя для обогрева почвы и поливной воды.

Автоматизируется управление системами полива почвы и увлажнения воздуха, подкормки растений углекислым газом и установками доосвещения.

Предусматривается также программное и дистанционное управление скоростью температурных переходов «день - ночь», положением теплозащитных экранов (при их наличии) и т. д.

Проектный объем автоматизации технологических процессов в зимних теплицах, на примере блока многопролетных теплиц, площадью 6 га, показан на рис. 30.

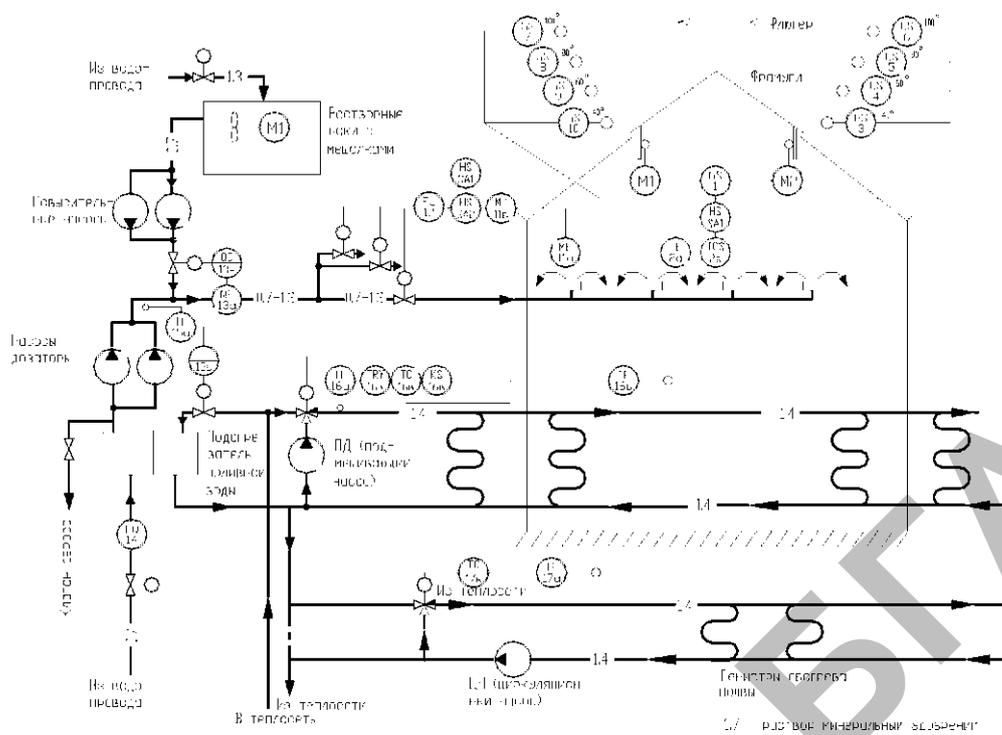


Рис. 30. Схема автоматизации процессов блока многопролетных теплиц

РЕПОЗИТОРИЙ БГАТУ

Допустимые отклонения температуры воздуха в теплице от уровня, заданного агротехническими требованиями, составляет  $\pm 1^\circ\text{C}$ , относительной влажности воздуха в системе подпочвенного обогрева -  $\pm 2^\circ\text{C}$  и т. д.

Сложность регулирования микроклимата в теплице объясняется не только системой взаимных связей между отдельными параметрами воздушной среды внутри теплицы и вне ее, но и неудовлетворительными характеристиками объекта по основным каналам передачи регулирующих воздействий (изменением температуры и расхода теплофикационной воды в системах обогрева), а также высокими требованиями к точности стабилизации параметра.

Какими бы сложными не были программы управления климатом теплицы при выращивании различных овощных культур, все они сводятся к управлению отоплением и вентиляцией.

Подмешивающий или циркуляционный насос может быть включен по схемам рис. 31.

Схема с установкой насоса на подающем трубопроводе (рис. 31а) рекомендуется при недостаточном давлении в подающей магистрали тепловой сети (и в коллекторе прямой воды).

Схему с установкой насоса на обратном трубопроводе (рис. 31б) используют, если необходимо снизить повышенное давление в обратной магистрали тепловой сети. Это характерно при подключении тепличного комбината к конечным перегруженным участкам тепловой сети и особенно при ее уклоне от источника теплоснабжения.

В варианте «в» (рис. 31) расход энергии на перекачку теплоносителя в среднем меньше, условия работы ПН легче, и тепловая сеть на пьезометрический график влияет минимально. Кроме того, при сбросе части подачи ПН в КОВ (режим 2) вариант «а» приобретает преимущества вариантов «б» и «в», и становится возможным централизованное автоматическое управление гидравлическими режимами блока теплиц в целом.

Локальные системы регулирования, применяемые в серийном оборудовании для автоматизации многолетних теплиц, действуют по ПИ-закону или П-закону (рис. 31). П-закон регулирования формируется охватом регулятора «жесткой» обратной связью 1-3 по положению регулирующего органа (трехходового смесительного клапана). Можно выполнить схемы регулятора соотношения температуры воздуха в теплице 1-2 и температуры воды в системе обогрева 1-4.

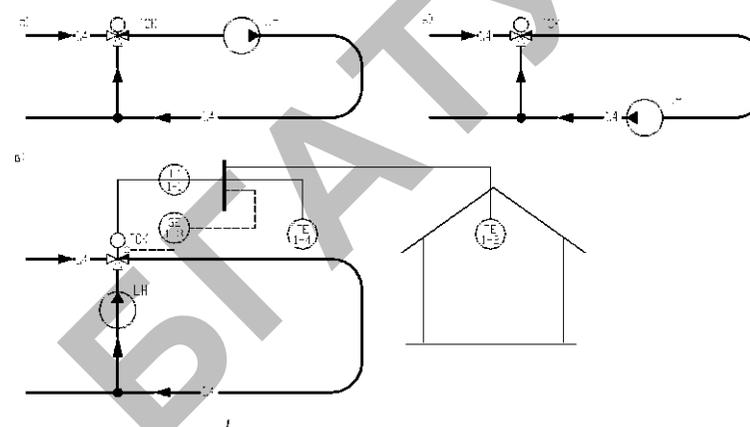


Рис. 31. Варианты схемы включения насосов узла пропорционального регулирования

В ангарных теплицах может использоваться многоканальный принцип управления, который реализуется поочередным подключением к регулятору датчиков и исполнительных механизмов, управляющих мощностью систем обогрева в каждой из теплиц блока.

Параметры динамической настройки в общем случае зависят от статических и динамических характеристик объектов автоматизации.

Регистр отопления, как звено системы регулирования, представляет собой звено чистого (транспортного) запаздывания. Время запаздывания  $t$  определяется расстоянием  $l$  от места установки датчиков температуры до смесительного клапана и скоростью движения теплоносителя.

Время чистого запаздывания  $t$  пропорционально времени заполнения рабочего объема  $V$  системы обогрева:

$$t = (l / \text{Цф} / 0, \quad (59)$$

где  $\text{Ц}$  - длина труб регистра;

$\text{ф}$  - производительность циркуляционного насоса.

Передаточная функция этого звена:

$$W_p(P) = e^{-tP} \quad (60)$$

Кроме этого в системе обогрева имеется переходное запаздывание, возникающее из-за инерционности датчика температуры и исполнительного механизма, а также вследствие запаздывания передачи теплоты от воды к трубам, от труб к воздушному объему теплицы, а затем через ограждения теплицы - в окружающее пространство.

С учетом указанных явлений передаточная функция объекта управления, согласно теоретическим и экспериментальным исследованиям, выражается уравнением второго порядка:

$$Ж_0(P) = \kappa (TP + 1) / (T^2 P^2 + TP + 1). \quad (61)$$

Общая передаточная функция блочной теплицы в режиме обогрева воздуха следующая:

$$\frac{\kappa (TP + 1)}{T^2 P^2 + TP + 1} \quad (62)$$

Для сравнительной оценки приведем значения постоянных величин, полученных исследованиями блочной теплицы площадью 1 га совхоза «Московский»:  $V = 100 \text{ м}^3$ ;  $2 = 250 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $\tau = 6 \text{ мин}$ ;  $T = 0,6 \text{ мин}$ ;  $T^1 = 22,7 \text{ мин}$ ;  $T^2 = 10,4 \text{ мин}$ ;  $\kappa = 0,31$ . Коэффициент усиления объекта  $\kappa$  определяется как отношение перепадов температур по воздуху  $\theta^2$  и теплоносителя  $\theta^1$  между установившимся начальными ( $\theta^1_{нч}$ ;  $\theta^2_{нч}$ ) и конечными ( $\theta^1_{кч}$ ;  $\theta^2_{кч}$ ) значениями:

$$\kappa = \frac{\theta^2_{нч} - \theta^2_{кч}}{\theta^1_{нч} - \theta^1_{кч}} \quad (63)$$

Этот коэффициент показывает, на сколько градусов происходит изменение температуры воздуха при изменении температуры воды на  $1^\circ\text{C}$ .

Известно, что инерционность объекта по каналам управления принято оценивать отношениями  $t/T$ . Теплица относится к группе объектов автоматизации, характеризующимся отношением  $t/T > 1$  (особенно при управлении по типовому каналу ( $\theta^1 \rightarrow \theta^2$ )). Кроме того, задача автоматизации осложняется большими абсолютными значениями  $t$  и  $T$ , значительно меньшей инерционностью объекта по каналам передачи основных возмущающих воздействий и весьма жесткими требованиями к качеству стабилизации параметра

( $\pm 1^\circ\text{C}$ ), имеющими мало аналогов в практике автоматизации технологических процессов.

В холодное время года в теплицах, особенно многопролетных, наблюдается неравномерность температурных полей по площади сооружения.

В практике эксплуатации многопролетных теплиц компенсация неравномерности температурных полей обеспечивается электрокалориферными установками с позиционным способом управления.

Теплицы имеют устройства естественной и принудительной вентиляции, предназначенные для снижения внутренней температуры, удаления от растений воздуха с избыточным влагосодержанием и замены его воздухом с достойным количеством углекислого газа и кислорода. Для этого в стеклянной крыше теплиц устанавливаются форточки (фрамуги), которые открываются с подветренной стороны электрическим исполнительным механизмом (см. рис. 30).

Процесс управления снижением температуры можно разложить на два временных периода: переходный процесс вентиляции в период открытия форточек и процесс установившейся вентиляции при постоянной кратности воздухообмена в теплице после открытия форточек.

Таким образом, блочная теплица как объект управления температурой в режиме вентиляции представляется передаточной функцией:

$$Ж_в(p) = \kappa e^{-\tau p} / (TP + 1), \quad (64)$$

где  $\kappa$  - коэффициент усиления объекта, показывающий, на сколько градусов происходит снижение температуры при однократной замене воздуха в теплице;

$\tau$  - время чистого запаздывания (составляет половину времени открытия фрамуги).

Для той же теплицы совхоза «Московский» установлено, что  $\kappa = 0,45^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 2 \text{ мин}$ ;  $T = 3 \text{ мин}$ .

Для управления процессом открытия-закрытия фрамуг многопролетных теплиц используются регулирующие приборы, реализующие П- или ПИ-законы регулирования, а для ангарных теплиц - многопозиционный закон регулирования.

Каждый регулятор температуры с помощью четырех исполнительных механизмов управляет положением левых и правых

форточек системы естественной вентиляции (вместе или порознь - выбирается оператором); кроме того, оператор может ограничить степень открытия форточек на 40, 60, 80 и 100 %.

*Системы обогрева грунта* предусматриваются в рассадных отделениях зимних теплиц. Для обогрева грунта применяют полиэтиленовые трубы диаметром 20/16 см, которые закладывают на глубину 40 см на расстоянии 40 см одна от другой в рассадочных теплицах и 160 см - в остальных, так что в одном звене размещается 16 (или 4) таких труб. Металлические трубы быстро корродируют и выходят из строя.

При разработке работоспособной системы автоматического управления температурой в защищенном грунте, обеспечивающей агротехнические требования по равномерному распределению температурного поля в корнеобитаемом слое, необходимо иметь математические зависимости между изменениями температуры почвы в форме передаточных функций.

Математическое моделирование процесса обогрева корнеобитаемого слоя (субстрата) сводится к нахождению зависимости значения текущей температуры  $\theta$  в любой точке данного слоя, в заданное время  $t$ :

$$\theta = \Gamma(x, y, z, t), \quad (65)$$

где  $x, y, z$  - координаты глубины, ширины и длины субстрата.

С физических позиций определить явно выраженные математические зависимости в общем виде весьма сложно, так как субстрат представляет собой неоднородную капиллярно-пористую среду, процесс распространения теплоты в которой является комбинацией различных взаимосвязанных видов теплопередачи: конкретной теплопроводности, лучеиспускания, конвекции. Кроме того, вывод уравнения динамики теплопередачи в слое субстрата усложняется наличием в нем влаги, растворенных веществ, неоднородных включений твердых частиц и корневой системы растений, неодинаковой плотностью и структурой субстрата, а также влиянием солнечной радиации и температуры внешней среды.

Для обеспечения решения поставленной задачи используют так называемые методы конечно-разностных аппроксимаций, которые позволяют заменить систему с распределенными параметрами системы, состоящей из отдельных элементов с сосредоточенными параметрами.

Применительно к субстрату уравнения теплопередачи записываются для отдельных точек по глубине обогреваемого слоя, т. е. рассматривается дискретное изменение температуры по высоте слоя при непрерывном изменении времени.

Для этого общую толщину обогреваемого слоя  $x = 15-20$  см разбивают на  $n = 3-4$  зоны каждая толщиной  $L = 4-5$  см. Для каждой зоны записываются дифференциальные уравнения теплопроводности, значения постоянных коэффициентов которых зависят от координаты  $x$ .

Таким образом, каждая зона рассматривается, как аperiodическое звено первого порядка, а обогреваемый слой субстрата - как последовательные соединенные звенья.

Общая передаточная функция обогреваемого слоя субстрата, как звено САУ температурой, составляет:

$$Ж_c(P) = \frac{\kappa^1 \cdot \kappa^2 \cdot \dots \cdot \kappa^n}{(T_{п1}P + 1)(T_{п2}P + 1) \dots (T_{пn}P + 1)}, \quad (66)$$

где  $\kappa^1, \kappa^2, \dots, \kappa^n$  - коэффициенты усиления первой, второй и  $n$ -й зоны обогреваемого слоя субстрата;

$T_{п1}, T_{п2}, \dots, T_{пn}$  - постоянные времени тех же зон.

Таким образом, получают уравнение передаточной функции  $n$ -го порядка, которое легко представить последовательным соединением аperiodических звеньев первого порядка, количество которых равно  $n$ , значит, проще моделировать сложные системы.

В соответствии с ОНТП-СХ 10-81 необходимо обеспечить автоматическое регулирование температуры теплоносителя для обогрева почвы. В многопролетных теплицах, оборудованных автоматической КТ-1, регулирование температуры почвы осуществляется регулирующим клапаном в двухпозиционном режиме, подающим в систему подпочвенного обогрева обратную воду. Однако из-за крайне неудовлетворительных динамических характеристик объекта регулирования, его большой инерционности, вместо автоматического поддержания температуры почвы обычно предусматривают автоматическое регулирование температуры воды в системе подпочвенного обогрева за счет смешивания прямой и обратной воды или за счет изменения подачи греющего теплоносителя к водонагрева-

телю, обеспечивающему нагрев воды в контуре подпочвенного обогрева до 40-45 °С. Первый метод используют в многопролетных теплицах, оборудованных автоматикой КТ-1, причем стабилизация параметра обеспечивается регулятором прямого действия РТП-125, а для контроля текущего значения температуры воды и сигнализации о ее аварийном повышении до 50 °С применяют обычный манометрический термометр.

В многолетних теплицах температура воды в системе подпочвенного обогрева поддерживается импульсным регулятором, управляющим (последовательно) двумя трехходовыми смесительными клапанами, включенными параллельно. При предельных отклонениях регулируемой температуры прерывается регулирующее воздействие и выдается светозвуковой сигнал. После возвращения температуры в допустимые пределы блокировка снимается.

*Автоматическое управление влажностным режимом почвы и воздуха в теплицах пока не находит широкого применения в основном из-за недостаточной надежности и работоспособности датчиков влажности. Поэтому влажностный режим поддерживают при помощи разомкнутой системы программного управления, которая обеспечивает увлажнение воздуха и почвы посредством способов дождевания и корневого полива через капиллярные трубки. Системы дождевания используют и для внесения минеральных удобрений в растворах. Программное устройство разрешает включение системы дождевания не чаще одного раза в час с поочередным поливом по участкам 200-400 м<sup>2</sup>.*

#### **Содержание отчета:**

1. Требования к САР температуры воздуха в теплице. График поддержания температуры воздуха в теплице в течение суток с учетом освещенности и времени суток.
2. Схема автоматизации поддержания температуры воздуха в теплице.
3. Типовые схемы пропорционального регулирования температуры в теплице.
4. Заполненная табл. 14 и необходимые выводы.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Каковы технологические основы управления температурой воздуха в теплице?
2. Охарактеризуйте теплицу как объект управления температурой. Обоснуйте выбор закона регулирования в контуре обогрева.
3. Охарактеризуйте регистр отопления как звено системы регулирования.
4. Каковы принципы управления температурой воздуха в теплице? Проиллюстрируйте ответ схемой автоматизации.
5. Приведите возможные режимы работы энергопункта в процессе поддержания температуры блока теплиц?
6. Поясните возможные схемы работы подмешивающего насоса.
7. Каковы принципы управления температурным режимом почвы?
8. Каковы принципы управления влажностным режимом почвы?
9. Каковы принципы управления содержанием углекислого газа в атмосфере теплиц?
10. Каковы принципы управления доосвещением растений?

## АВТОМАТИЗАЦИЯ СУШКИ ЗЕРНОВЫХ

*Цель работы:* усвоить принципы автоматизации сушильных установок, изучить типовое решение автоматизации сушилки М-819, освоить методику наладки программы управления зерносушилкой.

*Оборудование:* справочные материалы, стенд с макетом САУ зерносушилкой М-819.

### Вопросы предварительного контроля:

1. Каковы виды зерносушилок?
2. Каковы способы сушки зерна?
3. По каким причинам требуется послеуборочная обработка зерна?
4. Перечислите основные технологические операции послеуборочной обработки зерна.
5. Каков состав технологического оборудования пункта послеуборочной обработки зерна?

### Порядок выполнения работы:

1. Изучите технологию сушки зерна и принципы автоматизации зерносушилки М-819 (плакаты над лабораторным стендом), составьте схему автоматизации зерносушилки М-819.
2. Подайте питание на лабораторный стенд автоматическим выключателем 8Р1.
3. Используя кнопку «пуск», включите макет в работу. При этом наблюдайте индикацию меню на табло панели оператора.
4. С помощью кнопок панели оператора выберите режим «Наладка».
5. Используя тумблеры 8Б1, 8Б2, имитирующие датчики уровня, а также имитатор импульсов с влагомера, произведите наладку

системы управления, следуя шагам (пунктам) инструкции на панели оператора. Шаги наладки фиксируйте в отчете.

6. Используя кнопку «стоп», выключите макет.

7. Снимите питание со стенда автоматическим выключателем 8Р1.

### Общие сведения

Сушку зерна производят наиболее распространенным конвективным способом, при котором теплота передается к зерну от смеси поточных газов с воздухом или от чистого нагретого (в калориферах) воздуха. Необходимо отметить, что в наиболее распространенных конвективных шахтных зерносушилках, наряду с конвективным способом, происходит кондуктивный способ сушки (от нагретых подводящих коробов) и контактный (сорбционный), т. е. зерно-зерно, в непродуваемых зонах шахты.

При конвективной сушке зерно (в зависимости от типа зерносушилки) может находиться в неподвижном слое (камерные зерносушилки), малоподвижном слое (шахтные зерносушилки) и падающем слое (рециркуляционные зерносушилки). В зерносушилках для сушки зерна крупяного назначения применяют кондуктивный способ передачи теплоты зерну от нагретых паровых труб, а для удаления влаги из зерновой массы используют конвективный способ.

Скорость кондуктивной сушки зависит от температуры греющей поверхности и толщины зернового слоя. Кондуктивную сушку осуществляют на крупяных и мукомольных заводах для подогрева и сушки зерна.

Наиболее перспективен комбинированный способ сушки, сочетающий конвективный и контактный способы при обработке зерна агентом сушки в плотном подвижном и падающем слоях. Этот способ применяют на хлебоприемных предприятиях.

*Зерносушилки М-819, ВТИ-5, ДСП-32* имеют одну шахту, состоящую (по высоте) из зон: сушильной, промежуточной и охлаждающей [15]. Сушильная и охлаждающая зоны оборудованы коробами.

В верхней части сушильной камеры от верхнего ряда коробов стенки шахты сплошные. Находящийся в этой части шахты слой зерна предохраняет от утечек агента сушки через верх шахты. При работе сушилки не допускается снижение уровня зерна в шахте над верхним рядом коробов ниже 500 мм. В шахту, в специально остав-

ленные в стенах пазы, вставлены два затвора, один из которых расположен между сушильной и охладительной камерами, а второй - под охладительной камерой. За каждое открытие затвора из шахты выпускается 300-500 кг зерна, слой зерна при этом опускается на 100-200 мм в шахте. На период запуска сушилки в работу, когда просушивают первую порцию зерна, промежуточный затвор закрывают. Зерно находится в это время только в сушильной камере в неподвижном состоянии. После того, как первая порция зерна будет просушена, затвор открывают, зерно поступает в охладительную камеру, заполняет ее, и в дальнейшем промежуточный затвор остается открытым.

Промежуточная зона (не продуваемая ни воздухом, ни агентом сушилки) оснащена задвижкой с ручным приводом и датчиками для контроля температуры нагрева зерна. Здесь образуется зона его отлежки.

Выгрузка зерна и регулирование производительности осуществляется выпускным устройством, расположенным под шахтой. Шахтные зерносушилки наиболее удобны, просты и нашли широкое применение в сельском хозяйстве. Производительность шахтных зерносушилок колеблется от 1 до 50 т/ч.

**Шахтные прямоточные зерносушилки** по режиму работы - непрерывного действия, и применяют их для сушки пшеницы, ржи, ячменя, кукурузы, семян подсолнечника и других культур продовольственного и семенного назначения [16]. В сушильной шахте под действием силы тяжести зерно движется сверху вниз и пронизывается агентом сушки. Зерно движется в шахте сплошной массой со скоростью, определяемой работой выпускного механизма периодического или непрерывного действия.

Необходимый уровень зерна в сушилке контролируется датчиками минимального и максимального уровней, которые установлены в надсушильных бункерах. Датчики уровня управляют работой порционного разгрузочного устройства: при достижении минимального уровня останавливается электродвигатель разгрузочных кареток, при достижении максимального уровня и наличия управляющего сигнала электродвигатель разгрузочных кареток включается снова.

Исполнительный механизм шлюзового затвора охладительной колонки управляется аналогично.

Поскольку температура нагрева  $\theta$  и влажности  $\omega$  зерна на выходе из зерносушилки зависят от температуры  $\theta^0$ , расхода  $B$ , относи-

тельной влажности  $\omega^0$  подаваемого в сушилку теплоносителя, начальной температуры  $\theta^0$ , исходной влажности  $\omega^0$  зерна, скорости  $V$  движения и времени  $I$  пребывания зерна в сушильной камере, а также конструктивных параметров  $K$  сушилки:

$$\theta, \omega = \Gamma(\theta^0, B, \omega^0, V, I, K), \quad (67)$$

то для определения взаимодействия между ними необходимо исследовать математическую модель сушильной камеры.

Аналитически определить взаимосвязь между указанными величинами по модели весьма трудно из-за нелинейности зависимостей между параметрами рассредоточенности и разных их значений по всему объему сушильной камеры, а также из-за разных физико-химических свойств и форм связи влаги зерна. Остается единственный путь - экспериментальное определение передаточных функций сушилки.

В шахтных зерносушилках выходными управляемыми параметрами являются температура  $\theta$  и влажность  $\omega$  зерна на выходе, а входными управляющими параметрами - температура  $\theta^0$  теплоносителя и скорость движения  $V$  зерна через шахту. Начальные температура  $\theta^0$  и влажность  $\omega^0$  зерна на входе в сушилку, с точки зрения автоматического управления, являются мешающими воздействиями. Между остальными параметрами (67) связь слабая - с коэффициентом взаимной корреляции менее 0,4, поэтому они в модели (рис. 32) не показаны, т. е. ими пренебрегают.

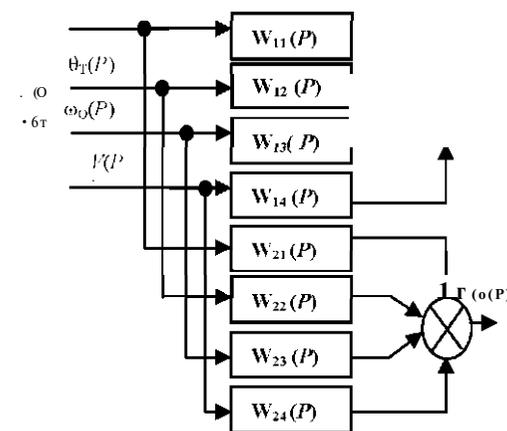


Рис. 32. Математическая модель шахтной зерносушилки как объекта управления температурой и влажностью

Все передаточные функции для шахтных зерносушилок равны выражению:

$$Ж(P) = \kappa_2(TP_2 + 1) e^{-\tau P} \quad (68)$$

Для всех функций шахтной зерносушилки СЗШ-16А  $T^1 = 176$  с,  $T^2 = 86$  с. Для функций:  $Ж^{11}(P) - \kappa = 0,31$ ,  $\tau = 60$  с,  $T = 88$  с;  $Ж^{Уп}(P) - \kappa = 0,6$ ,  $\tau = 1380$  с,  $T = 0$ ;  $Ж^{^P} - \kappa = -0,2$ ,  $\tau = 1680$  с,  $T = 0$ ;  $Ж^{М}(P) - \kappa = 13,3$ ,  $\tau = 60$  с,  $T = 84$  с;  $Ж^{л}(P) - \kappa = 0,063$ ,  $\tau = 300$  с,  $T = 0$ ;  $Ж^{,2}(P) - \kappa = 0,11$ ,  $\tau = 1800$  с,  $T = 80$  с;  $Ж^{г3}(P) - \kappa = 0,67$ ,  $\tau = 1500$  с,  $T = 80$  с;  $Ж^{u}(P) - \kappa = 8,1$ ,  $\tau = 300$  с,  $T = 60$  с.

Для других конструктивных решений шахтных сушилок коэффициенты передаточных функций необходимо определять.

Процесс сушки в рециркуляционных зерносушилках состоит из циклов, которые включают следующее: кратковременный нагрев с частичной поверхностной сушкой, контактный теплообмен между сырым и рециркулирующим зерном и частичное охлаждение зерна. Однако его охлаждение приводит к снижению скорости сушки и увеличению расхода топлива, поэтому снижение температуры зерна должно быть небольшим.

Рассмотрим три основных варианта рециркуляционной сушки зерна.

*Первый вариант:*

1) кратковременный нагрев и поверхностное испарение влаги из смеси сырого рециркулирующего зерна при воздействии на него высокотемпературного агента сушки;

2) контактный теплообмен и контактный (сорбционный) влагообмен между сырым и рециркулирующим предварительно нагретым зерном.

Смесь зерна поступает в нагревательное устройство, где происходит испарение влаги с поверхности зерна и нагрев зерна до допустимой температуры. После нагревательного устройства зерно поступает в теплообменник, где влага между сырым и сухим зерном частично перераспределяется, выравнивается температура зерна. В теплообменнике происходит перераспределение влаги и температуры в отдельных зерновиках. Основная влажность зерна из теплообменника поступает в зону промежуточного (частичного) охлаждения, где зер-

но продувается наружным атмосферным воздухом. В зоне промежуточного охлаждения происходит самоиспарение влаги за счет теплоты зерна. Из зоны промежуточного охлаждения зерно возвращается на рециркуляцию. Часть просушенного зерна с заданной конечной влажностью направляют в зону охлаждения, после чего его выпускают из зерносушилки и направляют на хранение.

*Второй вариант:* сначала происходит предварительный нагрев сырого зерна до предельно допустимой температуры с частичной сушкой, контактный влагообмен между сухим рециркулирующим и сырым зерном, затем зерно поступает в зону сушки с воздействием на него агента сушки с температурой ниже, чем предусмотрено в инструкции по сушке для прямоточных шахтных зерносушилок.

Процесс сушки включает несколько циклов. Однако за один цикл удаляется значительно больше влаги, чем в первом варианте, и в связи с этим сокращается число циклов.

При втором варианте рециркуляционной сушки зерно не подвергается промежуточному охлаждению, что исключает непроизводительные потери теплоты. Сушка в рециркуляционной шахте происходит интенсивно с использованием теплоты нагретого зерна. В дальнейшем по мере удаления зоны испарения от поверхности зерновки скорость сушки замедляется, а температура зерна начинает возрастать и достигает предельно допустимой. Равенство температур в начале и в конце процесса сушки позволяет условно назвать этот режим изотермическим.

*Третий вариант.* Процесс сушки по этому варианту (зерносушилки А1-УЗМ) отличается тем, что сырое зерно нагревается контактным способом: нагретым до предельно допустимой температуры зерном. Дополнительный нагрев зерна в подогревателе происходит при его перекрестном пронизывании агентом сушки. Теплообменник расположен между первой и второй зонами сушки, теплообмен регулируется частичным охлаждением зерна, дополнительный нагрев зерна осуществляется при более низких температурах агента сушки ( $140-200^{\circ}\text{C}$ ), чем в первом и втором вариантах ( $250-350^{\circ}\text{C}$ ) и при числе рециркуляции от 2 до 5.

Изотермический режим сушки обеспечивает максимальную производительность зерносушилки при высоких технико-экономических показателях. При изотермическом режиме проводят нагрев зерна до предельно допустимой температуры уже на первой

стадии сушки, на следующих стадиях поддерживают температуру зерна постоянной, что обеспечивает максимальную скорость испарения влаги из зерна. Такой способ называют рециркуляционно-изотермическим.

При рециркуляционно-изотермическом режиме сырое зерно направляют в камеру предварительного нагрева, где его нагревают в падающем слое при восходящем потоке агента сушки, имеющем температуру около  $100^{\circ}\text{C}$  и прошедшем камеру основного нагрева, в которую он поступает с температурой  $300-350^{\circ}\text{C}$ . Затем зерно подается в камеру основного нагрева, где происходит его дальнейший нагрев и смешивание с рециркулирующим зерном. После теплообменника часть зерна поступает в шахту окончательного охлаждения, а остальное зерно - в шахту изотермической сушки, где оно сушится при температуре  $100-120^{\circ}\text{C}$ .

#### **Содержание отчета:**

1. Схемы автоматизации зерносушилок СЗК-16 и М-819.
2. Инструкция по наладке системы управления сушилкой в соответствии с рекомендуемыми шагами, высвечиваемыми на панели оператора.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Проанализируйте потоки воздействий, действующие на сушилку.
2. Какие законы регулирования применимы в основных контурах регулирования сушки зерна и почему?
3. Обоснуйте объем автоматизации зерносушилки М-819.
4. Покажите пути модернизации системы автоматического управления зерносушилкой М-819, реализованной на лабораторном стенде.

Лабораторная работа № 16

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРА ЯИЦ В МНОГОЯРУСНОМ ПТИЧНИКЕ**

*Цель работы:* изучить типовые решения автоматизации технологических процессов в птицеводческом помещении, освоить принципы построения систем управления подобными установками, возможностей реализации управления на современной аппаратной базе, методики настройки преобразователей частоты, используемых в САУ.

*Оборудование:* справочные материалы, стенд с набором закрепленных элементов САУ и исполнительных устройств.

#### **Вопросы предварительного контроля:**

1. Какие технологические процессы в птицеводческом помещении должны быть охвачены автоматизацией?
2. Какие законы плавного регулирования можно реализовать в САУ с частотным преобразователем НисЫ 8Л00?
3. На какие типовые переходные процессы принято настраивать регуляторы непрерывного действия?
4. По каким критериям выбирают тип переходного процесса при наладке регуляторов непрерывного действия?

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Изучив раздел «Общие сведения», сформулируйте требование к схеме управления процессом сбора яиц в многоярусном птичнике.
2. На основании состава элементов САУ, представленных на стенде (рис. 33), разработайте принципиальную электрическую схему управления в соответствии со сформулированными требованиями.

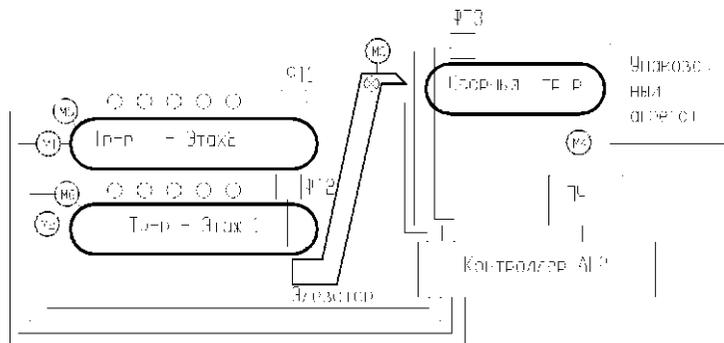


Рис. 33. Схема лабораторного стенда

3. Согласуйте схему с преподавателем, соберите схему управления на стенде, проверьте с преподавателем и опробуйте работу линии.

4. Зафиксируйте время, через которое произойдет отключение линии при отсутствии на ней яиц (отключите тумблеры ФТ1 и ФТ2).

5. Имитируя перемещение яиц на сборном транспортере (поднесите яйцо к оптическому датчику (ФТ3 на рис. 33) с разной периодичностью), снимите характеристику зависимости скорости от количества яиц  $n = \Gamma(\text{Б})$ .

6. Постройте характеристику канала регулирования  $n = \Gamma(\text{Б})$ .

7. Установите параметры ПИД-закона регулирования в преобразователе частоты:  $k^p = 1$ ,  $T^i = 1500$  с,  $T^d = 130$  с и зафиксируйте в отчете функции, отвечающие за их установку.

8. Составьте схему автоматизации процесса сбора яиц в многоярусном птичнике.

### Общие сведения

Основными процессами птицеводства, подлежащими электро-механизации, являются инкубация, выращивание молодняка, выращивание птицы на мясо, содержание кур-несушек, сортировка, упаковка и хранение яиц.

Клеточное содержание наиболее распространено в промышленном птицеводстве. Промышленность выпускает комплекты оборудования с различными типами клеточных батарей, в которых механизированы и в значительной степени автоматизированы производственные процессы кормораздачи, сбора яиц и уборки помета.

Сбор яиц в птичниках, как правило, механизирован. Транспортеры сбора яиц (рис. 34) расположены вдоль гнезд 1, в которых содержится (клеточные батареи) или несетя (напольное содержание) птица. Снесенное яйцо выкатывается из гнезда по наклонной решетке 2 на ленту 3, приводимую в движение шкивом 4 от вала электропривода. В конце ряда гнезд установлен накопительный стол 5, с которого птичница собирает яйца.

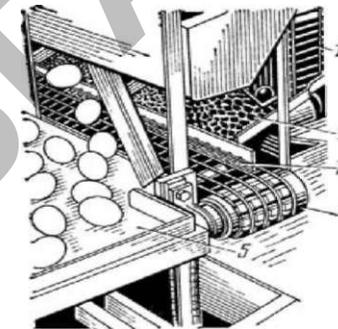


Рис. 34. Устройство для сбора яиц в птичниках:

1 - гнездо; 2 - наклонная решетка; 3 - лента; 4 - шкив; 5 - накопительный стол

При централизованном сборе яиц с многоярусных гнезд вместо накопительного стола устанавливают механизм вывода яиц на один уровень (рис. 35). В каскадных батареях этот механизм устанавливают наклонно.

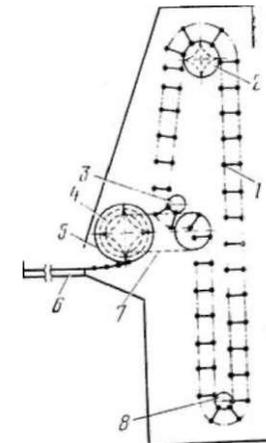


Рис. 35. Элеватор яиц:

1 - транспортерная лента; 2 - верхний шкив; 3 - ролик; 4 - приводная звездочка; 5 - электропривод; 6 - стол; 7 - цепь; 8 - нижний шкив

Для централизации сбора яиц в горизонтальном направлении (с нескольких батарей или птичников) применяют ленточные или планчатые транспортеры яиц. В этих системах приемные столы на элеваторах отсутствуют.

Принципиальная электрическая схема управления сбором яиц в птичнике (рис. 36) предусматривает работу в ручном, наладочном и автоматическом режимах (выбор режима 8A1).

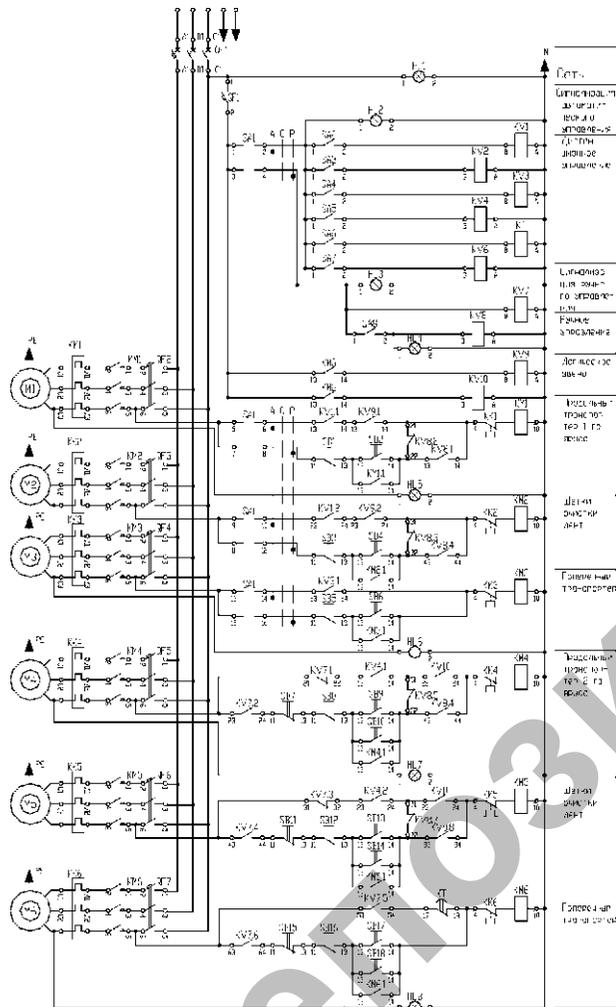


Рис. 36. Принципиальная электрическая схема управления сбором яиц в птичнике

Тумблерами-переключателями 8A2-8A7 осуществляется дистанционное включение отдельных установок в наладочном режиме, а 8A8 - при ручном управлении. При включении поперечного транспортера М3 магнитным пускателем КМ3 блок-контактами КУ1.1 и КУ1.2 через КУ9.1 и КУ9.2 подготавливается включение продольных транспортеров первого яруса М1 и привода щеток очистки лент М2. На втором ярусе поперечный транспортер М4 через реле КУ7 заблокирован с приводом продольного транспортера М6, а через реле КУ10 - с приводом очистки щеток М5. В автоматическом режиме управление по заранее заданному алгоритму осуществляет многоканальное устройство программного управления, которое своими контактами дублирует функции контактов выключателей 8A2-8A7 и автоматически управляет транспортерами.

При централизованном сборе яиц, чтобы не потерять контроль над продуктивностью птицы, вводят автоматический учет яиц, для чего используют счетчики различных конструкций, датчиками импульсов для которых могут служить фотореле или рычажные, с микропереключателями, релейные элементы.

#### Содержание отчета:

1. Схема автоматизации процесса сбора яиц в многоярусном птичнике.
2. Принципиальная схема управления линией сбора яиц в многоярусном птичнике.
3. Время отключения линии.
4. Характеристика канала регулирования  $n = \Gamma$  (Ы).

#### Контрольные вопросы:

1. Требования к САУ процессом сбора яиц в многоярусном птичнике.
2. С помощью схемы автоматизации поясните принципы автоматизации процесса сбора яиц в многоярусном птичнике.
3. Какого типа датчик применим для контроля яиц на транспортере? Поясните его принцип действия.
4. Возможности и область преобразователей частоты в САУ.
5. Раскройте схемы связи контроллера с преобразователем частоты (ступенчатое переключение скорости и плавное управление скоростью).
6. Продемонстрируйте, как настраивать параметры ПИД-регулятора, встроенного в преобразователь частоты.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА НОРМАЛИЗАЦИИ МОЛОКА ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ ЙОГУРТА

*Цель работы:* изучить типовые решения автоматизации технологических процессов в перерабатывающей промышленности, освоить принципы построения систем управления на микропроцессорных устройствах управления, освоения методики настройки устройства управления при реализации плавных законов регулирования.

*Оборудование:* справочные материалы, стенд с набором закрепленных элементов САУ и исполнительных устройств.

### Вопросы предварительного контроля:

1. Какие параметры подлежат автоматическому регулированию на молокоперерабатывающих предприятиях?
2. Какой состав технических средств автоматизации может быть предложен для реализации законов плавного регулирования при построении САУ на микропроцессорных устройствах управления?
3. На какие типовые переходные процессы принято настраивать регуляторы непрерывного действия?
4. По каким критериям выбирают тип переходного процесса при наладке регуляторов непрерывного действия?

### Порядок выполнения работы:

1. Изучив раздел «Общие сведения», сформулируйте требование к схеме управления процессом нормализации молока.

2. На основании состава элементов САУ, представленных на стенде (рис. 37), разработайте принципиальную электрическую схему управления в соответствии со сформулированными требованиями.

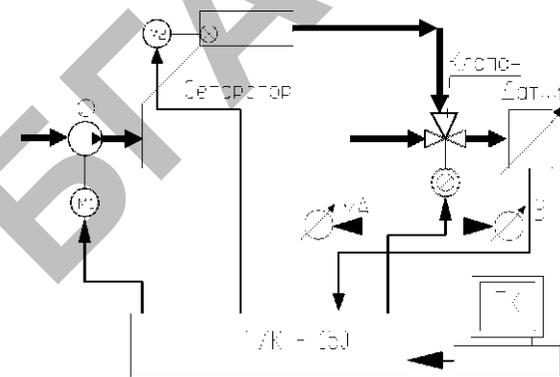


Рис. 37. Схема лабораторного стенда

3. Согласуйте схему с преподавателем, соберите схему управления на стенде, проверьте с преподавателем и опробуйте работу линии.
4. Составьте алгоритм программы управления процессом нормализации молока и сравните его с программой, реализованной на стенде в устройстве управления.
5. Снимите характеристику канала регулирования жирности молока в потоке  $V = \Gamma$  (Лд).
6. Установите параметры ПИД-закона регулирования в соответствующем функциональном блоке программы управления:  $k_p = 1$ ,  $T_i = 1500$  с,  $T_d = 130$  с. Перепишите программу в контроллер и еще раз снимите характеристику канала регулирования жирности молока в потоке  $V = \Gamma$  (Лд).
7. Постройте две характеристики на одном графике. Нанесите параметры, характеризующие качество управления. Сделайте соответствующие выводы.
8. Составьте схему автоматизации процесса нормализации молока.

## Общие сведения

Рентабельность продукции молочного производства во многом зависит от степени автоматизации технологических процессов.

При производстве йогурта важной стадией технологического процесса является процесс нормализации молока по жиру. Существуют два основных способа нормализации: в резервуаре и в потоке.

Второй способ является наиболее эффективным, так как он исключает наличие больших площадей под резервуары, что увеличивает съем продукции с 1 м<sup>2</sup> площади, сокращая расходы на выработку готового продукта; обладает более высокой точностью и степенью контроля, позволяет снизить время нормализации. Однако процесс нормализации в потоке требует высокой степени автоматизации, обеспечивающей оптимальное регулирование всех значимых технологических параметров.

Разработка системы автоматизации процесса нормализации в потоке требует: исследования процесса как объекта автоматизации, выявления требований к качеству регулирования, разработки алгоритма функционирования оборудования, реализации его в структуре управления и перевода в программу управления для программируемого логического контроллера и принципиальную электрическую схему.

Принцип работы установки заключается в сепарировании цельного молока, а затем смешивании полученных сливок и сепарированного молока до требуемой жирности. Как объект автоматизации, данная установка может быть представлена аperiodическим звеном второго порядка с запаздыванием [17], т. е. является сложным объектом. Управляемым параметром является жирность молока для производства йогурта, управляющим - расход сливок, поступающих от сепаратора, возмущающим параметром - жирность сливок.

Рациональный алгоритм работы оборудования заключается в следующем. Молоко посредством насоса поступает в сепаратор-сливкоотделитель. Сепаратор разделяет молоко на сливки и обезжиренное молоко. Давление сепарированного молока поддержива-

ется на постоянном уровне клапаном постоянного давления. Жирность сливок, поступающих из сепаратора, должна измеряться датчиком плотности и пересчитываться системой управления в процентное содержание жира. Параметры потока могут измеряться с помощью расходомеров. Управление потоком сливок может производиться с помощью клапана с плавной регулировкой. Система управления должна контролировать положение клапана с плавной регулировкой по результатам расчетов параметров жирности, на основании баланса жира в молоке до разделения и молока и сливок - после разделения, и параметров скорости потока. Количество смешанных сливок определяется по показаниям расходомера. При длительном отсутствии сливок в трубопроводе (определяется по показаниям расходомеров) система должна автоматически отключаться с включением аварийной сигнализации.

Реализовать данный алгоритм функционирования позволяет микропроцессорное устройство управления. По функционально-экономическим параметрам целесообразным является использование в качестве устройства управления контроллера МизибЗЫЛЬРНЛ ЛЬ2-14МК-Б, который с помощью модуля расширения ЛЬ2-2БЛ позволяет реализовать плавное управление клапанами, обеспечив контроль входных параметров и необходимый пересчет. Программа управления процессом нормализации молока для данного контроллера представлена на рис. 38.

Таким образом, особенности процесса нормализации молока в потоке обуславливают специфические требования к системе автоматического управления данным процессом: точное поддержание массовой доли жира нормализованного молока от заданного значения (не более 0,05 %); необходимость уменьшения расхода цельного молока на единицу выпускаемой продукции; снижение энергопотребления; сокращение времени технологического цикла; обеспечение точного контроля расхода сырья. Обеспечить данные требования позволяет реализация рационального алгоритма управления на базе программируемого логического контроллера (ПЛК), учитывающего особенности ПЛК.

### Контрольные вопросы:

1. Требования к САУ процессом нормализации молока.
2. С помощью схемы автоматизации поясните принципы автоматизации процесса нормализации молока.
3. Какого типа датчик применим для контроля жирности молока? Поясните его принцип действия.
4. Каков состав оборудования для реализации автоматизации процесса нормализации молока?
5. Продемонстрируйте, как настраивать параметры ПИД-регулятора на базе микропроцессорного устройства управления.
6. Перечислите состав контрольно-измерительной и регулирующей аппаратуры на молокоперерабатывающих предприятиях.

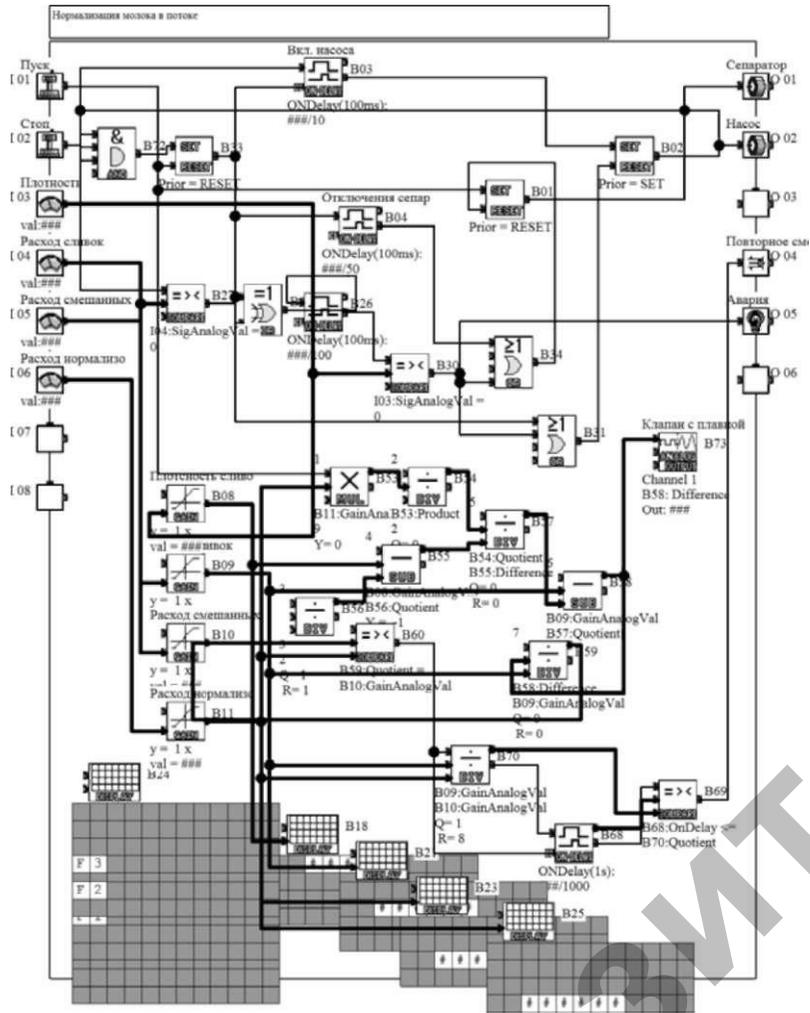


Рис. 38. Реализация алгоритма управления нормализацией молока в потоке

### Содержание отчета:

1. Схема автоматизации процесса нормализации молока.
2. Принципиальная схема управления линией нормализации молока.
3. Алгоритм программы регулирования жирности молока.
4. Характеристика канала регулирования  $V = \Gamma (K^A)$ .

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ МОБИЛЬНОГО АГРЕГАТА

**Цель работы:** изучить принципы реализации САУ рабочими органами мобильного агрегата, освоить методику исследования и настройки подобных систем

**Оборудование:** справочные материалы (И:\атпсхп\лабораторные\лр18.ppt), компьютер с установленным программным обеспечением.

### Вопросы предварительного контроля:

1. Перечислите наименования рабочих органов МСХМ.
2. Каковы типовые элементы САУ рабочими органами комбайна?
3. Какой объем автоматизации может быть предусмотрен для транспортного агрегата?

### Порядок выполнения работы:

1. Используя материалы раздела «Общие сведения», изучите элементы САУ оптимальной загрузкой молотилки комбайна.
2. Просмотрите анимацию, иллюстрирующую принцип действия САУ загрузкой молотилки комбайна [18], вызвав ее по пути (И:\атпсхп\лабораторные\с\лааз).
3. Снять статическую характеристику  $n = \Gamma(a)$  в окне 5 презентации лр18.ppt, предварительно подключив измерительные приборы к необходимым точкам технической системы (правильность отслеживается программно).
4. Снять переходную характеристику объекта  $n(t)$  в окне 6 презентации лр18.ppt и определить передаточную функцию  $Ж(P)$ .

5. Реализуйте управление загрузкой молотилки комбайна на устройстве управления типа а-контроллер, покажите результат преподавателю, приведите алгоритм программы в отчете.

### Общие сведения

К мобильным процессам относятся такие технологические процессы, которые выполняются непрерывно передвигающимися машинами и агрегатами: перевозка грузов, обработка почвы, посев и посадка растений, уход за урожаем и уборка его. При этом подлежат автоматизации два типа технологических процессов: вождение и управление рабочими органами.

В качестве примера автоматизации управления рабочими органами рассмотрим САУ оптимальной загрузкой молотилки (рис. 39). Автоматическое управление оптимальной загрузкой молотилки зерноуборочного комбайна осуществляется регулированием скорости передвижения комбайна посредством изменения передаточного числа вариатора 2 [19, с. 154], передающего вращающий момент от вала двигателя 1 комбайна на привод колес 3.

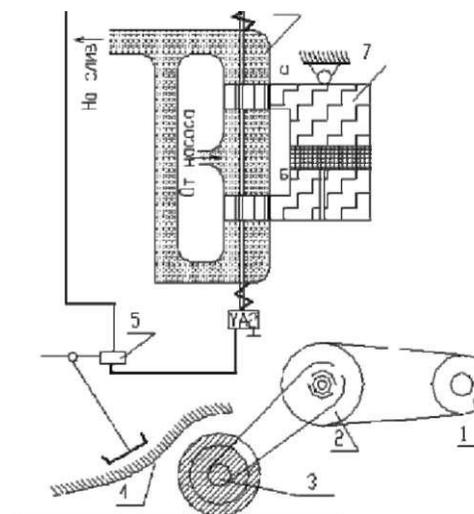


Рис. 39. САУ оптимальной загрузкой молотилки комбайна:  
1 - двигатель; 2 - вариатор; 3 - привод колес; 4 - хедер; 5 - контакты датчика;  
6 - золотник; 7 - гидроцилиндр

САУ оптимальной загрузкой молотильного барабана обеспечивает уменьшение потерь зерна и лучшее качество обмолота. При увеличении толщины хлебной массы на хедере 4 ползковый датчик толщины массы замыкает верхние контакты 5 и включает электромагнит УА1, который передвигает поршень золотника 6 и открывает окна а и Б. Масло под давлением поступает в гидроцилиндр 7 и передвигает поршень силового цилиндра вниз. В результате этого у вариатора 2 увеличивается передаточное число, комбайн снижает скорость движения, и, следовательно, уменьшается подача хлебной массы в молот барабана. При этом размыкаются контакты 5, а поршни золотника под действием пружины закрывают окна а и Б.

#### Содержание отчета:

1. Схема устройства для управления загрузкой комбайна.
2. Графики характеристик объекта управления и передаточная функция.
3. Алгоритм программы управления для а-контроллера.

#### Контрольные вопросы:

1. Какие процессы относят к мобильным? Приведите примеры.
2. Каковы особенности автоматизации мобильных сельхозмашин (МСХМ)?
3. Перечислите системы контроля и управления, предусмотренные для основных видов МСХМ.
4. Поясните принципы реализации управления рабочими органами культиваторов.
5. Поясните принципы реализации управления АСУ глубиной пахоты силовым и высотным методами? В чем преимущества и недостатки данных методов?
6. Поясните принципы реализации автоматического управления загрузкой молотилки комбайна?
7. Как влияют свойства объекта управления на выбор закона управления? Каковы рекомендации по выбору закона регулирования?

Лабораторная работа № 19

### ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЖДЕНИЕМ МОБИЛЬНОГО АГРЕГАТА

*Цель работы:* изучить принципы реализации САУ вождением мобильного агрегата, освоить методику исследования и настройки подобных систем.

*Оборудование:* справочные материалы, компьютер с установленным программным обеспечением.

#### Вопросы предварительного контроля:

1. В чем сложность автоматизации мобильных агрегатов?
2. Каковы особенности МСХМ как объектов автоматизации?
3. Каковы способы осуществления автоматического рулевого управления?
4. Каковы типовые элементы САУ вождением МСХМ?

#### Порядок выполнения работы:

1. Используя материалы раздела «Общие сведения», изучите элементы САУ вождением методом копира.
2. Просмотрите анимацию, иллюстрирующую принцип действия САУ преодолением препятствий МСХМ [18], вызвав ее по пути (c1:\атпсхп\лабораторные\c1aa8).
3. Снимите переходную характеристику объекта  $\delta(I)$  в окне 5 презентации лр19.pptx, предварительно подключив измерительные приборы к необходимым точкам технической системы (правильность отслеживается программно), и определите передаточную функцию  $W(p)$  объекта управления.
4. Реализуйте управление вождением на устройстве управления типа а-контроллер, покажите результат преподавателю, приведите алгоритм программы автовождения.

## Общие сведения

Для создания системы вождения оказалось целесообразным разбить работу трактора на 3 этапа [2, с. 133]: выезд и возвращение, движение по рабочей длине гона, повороты в конце гона для заезда на новый гон. Наибольшие затраты по времени и объему выполняемой работы связаны со вторым этапом. Поэтому было предложено несколько методов автовождения.

*Метод копирования* может быть использован, когда МСХМ должна проходить один и тот же путь по равноотстоящим друг от друга траекториям. Первый гон прокладывает механизатор, а затем по борозде от плуга движется копир, закрепленный впереди, и выдает сигналы на изменение траектории движения машины в соответствии с направлением борозды (рис. 40).

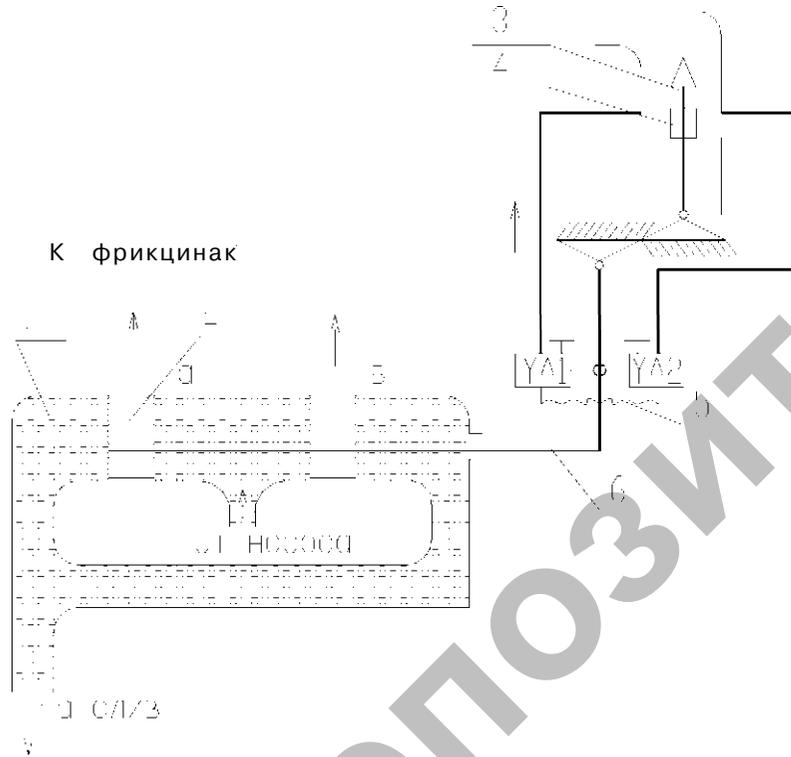


Рис. 40. Автовождение по методу копирования:

1 - золотник; 2 - поршень золотника; 3 - копир; 4 - контакт; 5 - пружина; 6 - рычаг

Копир 3 скользит по дну борозды. Если отклоняется влево, то замыкает контакт 4 и срабатывает электромагнит УЛ1, питающийся от аккумуляторной батареи. При этом рычаг 6 передвигает поршень 2 золотника 1 тоже влево и открывает окна а и Б. Масло под давлением поступает к левому силовому гидроцилиндру, который отключает левый фрикцион. Вследствие этого машина начинает поворот влево до размыкания контакта 4. Электромагнит УЛ1 отключается, и пружиной 5 поршни 2 золотника 1 возвращаются в исходное положение, при котором левый и правый фрикционы включены.

Недостатки метода копирования: накапливается статическая ошибка управления, вследствие этого сильно искривляется маршрут движения. Копир при наезде на местные препятствия выскакивает из борозды, и трактор приобретает произвольное движение.

*Метод программного автовождения* позволяет прокладывать траекторию движения заданием программного устройства. Его сложно осуществить из-за необходимости иметь высокую точность соблюдения траектории движения. Поэтому программное автовождение может быть использовано только в комбинации с копированием: на длине гона - копир, на поворотах - программное управление.

Методы, использующие *естественные и искусственные ориентиры*, удобны при строго заданных маршрутах движения.

## Содержание отчета:

1. Схема устройства автовождения методом копира.
2. Переходная характеристика объекта управления и передаточная функция.
3. Алгоритм и программа управления автовождением для а-контроллера.

## Контрольные вопросы:

1. Раскройте основные особенности автоматизации МСХМ.
2. В чем состоит специфика МСХМ как объекта автоматизации?
3. Перечислите требования к САК МСХМ.
4. Каковы методы реализации автовождения?
5. Поясните принципы реализации автовождением разными методами. В чем преимущества и недостатки методов?
6. Поясните принятый алгоритм автовождения.
7. В чем сложность автоматизации МСХМ?

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОКА В СЫРНЫХ ВАННАХ

*Цель работы:* изучить типовые решения автоматизации процессов переработки сельскохозяйственной продукции, освоить принципы построения систем управления подобными установками, возможностей реализации управления на современной аппаратной базе, методики настройки современных микропроцессорных регуляторов.

*Оборудование:* справочные материалы, стенд с набором закрепленных элементов САУ и исполнительных устройств.

### Вопросы предварительного контроля:

1. Какова методика наладки регуляторов непрерывного действия?
2. На какие типовые переходные процессы принято настраивать регуляторы непрерывного действия?
3. По каким критериям выбирают тип переходного процесса при наладке регуляторов непрерывного действия?

### Порядок выполнения работы:

1. Изучив раздел «Общие сведения», сформулируйте требование к схеме управления оборудованием процесса переработки молока.
2. На основании состава элементов САУ, представленных на стенде (рис. 41), разработайте принципиальную электрическую схему управления в соответствии со сформулированными требованиями.
3. Соберите схему управления, проверьте с преподавателем и опробуйте работу установки.
4. Изучив возможности представленных на стенде аппаратов (прил. 4), произведите настройку программного регулятора.
5. Подключите к выходу регулятора магазин сопротивлений.

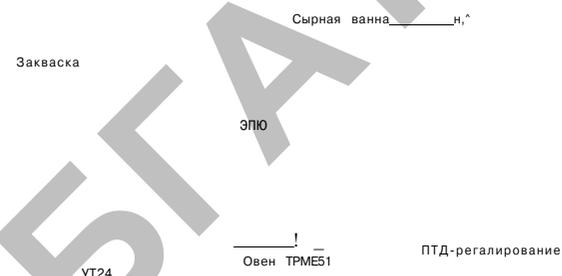


Рис. 41. Схема лабораторного стенда

6. Снимите характеристику канала регулирования  $I = f(K)$ .
7. Определите, какими передаточными функциями могут быть описаны участки переходной характеристики.

### Общие сведения

Технологические процессы в соответствии с их общими физико-химическими и биологическими закономерностями можно представить в виде следующих типовых процессов: механические, гидродинамические, тепловые, массообменные, химические и микробиологические. Этот классификационный признак технологических процессов положен в основу разработки типовых схем автоматизации.

Основным регулируемым параметром в большинстве теплоэнергетических процессов (термоагрегаты, пастеризационно-охладительные установки, сушильные камеры и т. д.) является температура. Эти объекты характеризуются инерционностью и запаздыванием, что обуславливает значительную продолжительность переходных процессов.

Задача регулирования температуры в аппаратах и агрегатах заключается в регулировании величины теплового потока от тепло-

носителя (или хладагента) к нагреваемому (охлаждаемому) веществу через стенки теплообменников. Наиболее распространенный способ регулирования температуры - это стабилизация расхода теплоносителя (или хладагента) в зависимости от изменения температуры в объекте. Наиболее интересный случай, когда температуру в объекте требуется менять по программе. Примером таких объектов является сырная ванна.

По требованиям к автоматизации процесса переработки молока в сырных ваннах автоматическое управление должно предусматриваться для следующих операций: заполнение емкостей молоком, внесение закваски и сычужного фермента, перемешивание в течение заданного промежутка времени заквашенного молока, выдержка его до образования сгустка, разрезание сгустка по достижении готовности (определяемой по вязкости), вымешивание сырного зерна и нагревание его по заданной программе.

Автоматическое регулирование процесса переработки молока в сырных ваннах (рис. 42) осуществляется в соответствии с [20, с. 198-200] следующим образом. Ванна заполняется в течение определенного времени с использованием клапанов 3а и 3б. По истечении 5 мин после заполнения ванны включается перемешивающий механизм, который подключен к регулятору напряжения 6а. Это позволяет осуществлять плавное регулирование частоты вращения мешалок. В то же время в ванну автоматически подается закваска, а через 15 мин вносится сычужный фермент. Еще через 5 мин мешалка отключается, и начинается процесс формирования сгустка, который продолжается 35-40 мин. Ход процесса контролируется первичным преобразователем 9а и прибором 9б.

Программой предусмотрено включение механизма для разрезания сгустка по истечении 40 мин после внесения сычужного фермента. В случае его готовности ранее установленного времени механизм разрезания сгустка включается автоматически. Процесс разрезания сгустка происходит в течение 15-20 мин при частоте вращения электродвигателя 0,5-1,0 мин<sup>-1</sup>, что позволяет избежать потери жира с сывороткой. Контроль частоты вращения производится прибором 8б с преобразователем 8а.

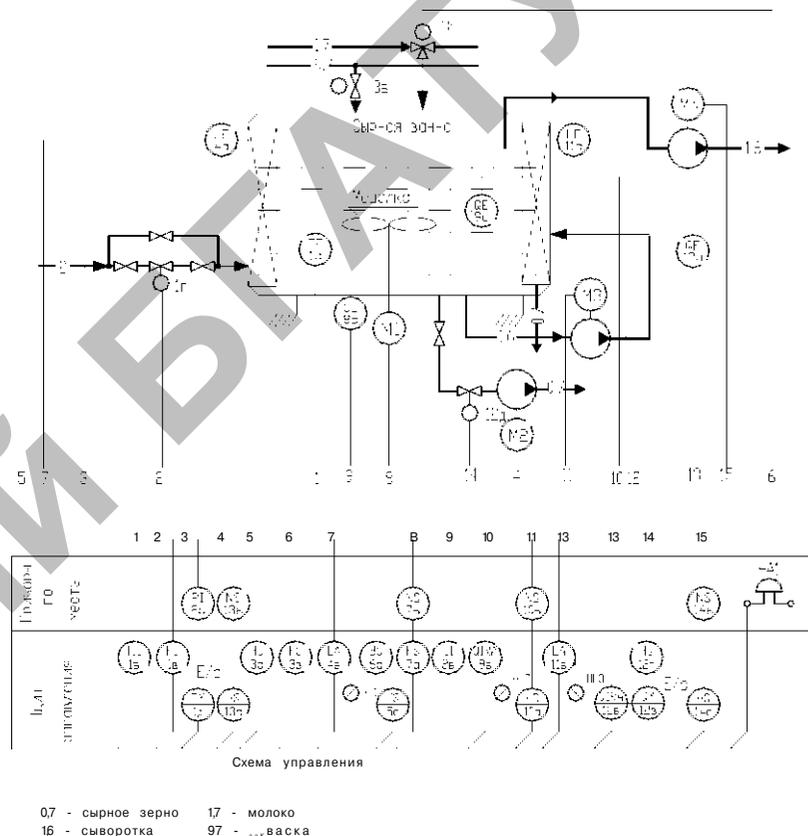


Рис. 42. Схема автоматизации процесса переработки молока в сырных ваннах

Через 5 мин после разрезания сгустка автоматически включается мешалка для вымешивания зерна (частота вращения сначала 0,5 мин<sup>-1</sup>, затем 1 мин<sup>-1</sup>). На 7-й минуте после разрезания сгустка программное устройство включает двигатель МЗ насоса подачи сыворотки к стеклянным электродам первичного преобразователя 12а рН-метра, который соединен с прибором 12б (заданное значение рН равно 6,5).

Затем за 10 мин включается исполнительный механизм 1г, установленный на паропроводе для нагревания смеси зерна с сывороткой. Нагревание происходит в течение 42 мин. Контроль давления пара осуществляется манометром 2а. Скорость изменения темпера-

туры постепенно возрастает с 0,12 °С/мин (в интервале 31-34 °С) до 0,16 °С/мин (в интервале 34-37 °С) и, наконец, до 0,2 °С/мин (в интервале 37-38 °С).

Управление работой клапана, установленного на паропроводе, производится по программе с помощью программного устройства 5а. При температуре, равной 38 °С, вступает в действие система регулирования температуры. Контроль и регулирование температуры осуществляются электроконтактным манометрическим термометром 16. Температура в ванне поддерживается до конца обработки зерна.

В зависимости от нарастания кислотности, примерно на 70-й минуте (при рН 6,3) включается мешалка. По истечении 1-2 мин включается насос М4 для удаления половины объема сыворотки.

Автоматическое отключение насоса и контроль уровня осуществляются прибором 116. При рН 6,05 включается насос М2 для перекачивания смеси зерна и оставшейся сыворотки. С помощью прибора 126 подается сигнал на открытие исполнительного механизма 12д, и ванна опорожняется. В случае отказа системы автоматического управления опорожнением ванны осуществляется дистанционно оператором. Для контроля работы САУ оператором используются сигнальные лампы НЫ-НЬ3 и звонок НЛ1, оповещающий об окончании процесса в сырной ванне.

#### **Содержание отчета:**

1. Схема автоматизации сырной ванны.
2. Принципиальная схема подключения программного регулятора.
3. Характеристика канала регулирования  $I = \Gamma (K)$ .
4. Методика наладки программного регулятора.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Требования к САУ процессом переработки молока в сырной ванне.
2. Охарактеризуйте сырную ванну как объект автоматизации.
3. Принципы управления температурой массы в сырной ванне.
4. Возможности и область применения программных регуляторов.
5. Методика наладки программных регуляторов.

#### **Лабораторная работа № 21**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ОБЪЕКТЕ, ИМЕЮЩЕМ НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ**

*Цель работы:* изучить типовые решения автоматизации контроля сельскохозяйственной продукции, освоить методику настройки технических устройств системы дистанционного измерения температуры.

*Оборудование:* справочные материалы, стенд с набором закрепленных элементов САК и исполнительных устройств.

#### **Вопросы предварительного контроля:**

1. Какие параметры подлежат контролю при хранении зерна?
2. Какие параметры подлежат контролю при хранении картофеля?
3. Каковы причины самосогревания зерна?
4. Каковы требования к температурно-влажностному режиму в зернохранилище?

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Изучив раздел «Общие сведения», сформулируйте требование к САК зернохранилища.
2. Подключите модули термоподвесок к модулю коммутации и индикации медным кабелем МКЭШ - 3х0,75 (схема подключения приведена на лабораторном стенде).
3. Изучите методику настройки системы дистанционного измерения температуры (прил. 5) и продемонстрируйте преподавателю, как посмотреть значение температуры на датчиках первой подвески на экране «ТЕРМО».

4. Включите компьютер. Запустите программу *Б* (с рабочего стола). Наблюдайте показания температуры по подвескам на экране. Зафиксируйте показания температуры по датчикам первой подвески в первой графе табл. 15 (показания времени - 0 с).

5. Снимите зависимость  $T = \Gamma(t)$ , включив подогрев бункера с зерном (лампа накаливания) переключателем, фиксируя по графам температуру с периодичностью 30 с до температуры 50 °С в нижней точке бункера (табл. 15). Как меняется цвет показаний температуры на дисплее компьютера?

Таблица 15

Переходная характеристика бункера								
Температура	Время, т, с							
	0	30	60	90	120	150	180	210
ТЗ								
Т6								

6. Выключив подогрев (тумблером), продолжайте фиксировать показания датчиков подвески, пока не будет достигнуто снижение до 30 °С (отметьте участок охлаждения в табл. 15).

7. Постройте зависимость  $T = \Gamma(t)$ .

8. Выключите компьютер.

9. Выключив питание, разберите собранную часть схемы.

### Общие сведения

Контроль и учет позволяют своевременно выявить и устранить все недостатки производства и этим способствовать повышению качества и увеличению количества сельскохозяйственной продукции.

Качество хранения сельскохозяйственной продукции контролируют визуально на местах или по отобранным образцам - химическими методами в лабораториях.

При помощи технических средств автоматизации контролируют микроклимат в хранилищах, температуру и влажность хранимого

продукта, очищают его и сортируют перед закладкой на хранение и перед поступлением к потребителю, и на посев.

Зерно и зернопродукты на хранение закладывают предварительно очищенными, просушенными и охлажденными до 10 °С и ниже, т. е. 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.

Для семенного зерна нельзя допускать снижения температуры до -20 °С и ниже, так как из-за наличия свободной влаги и ее замерзания нарушается целостность семени и снижается всхожесть.

По показаниям датчиков температуры обнаруживают очаги самосогревания зерновой продукции и гнили в овощехранилищах.

Самосогревание влажной зерновой массы возникает вследствие протекающих в ней биохимических процессов и плохой теплопроводности. При этом температура в самосогреваемом участке насыпи поднимается до 55-65 °С, а иногда до 70-75 °С, что ведет к потере посевных, технологических, пищевых и фуражных качеств зерновых продуктов.

Самосогревание возникает в неветилируемых местах, в которых находится зерно с повышенной влажностью.

Процесс самосогревания зерновых продуктов и гниения картофеля и овощей сопровождается не только повышением температуры, но и увеличением выделения влаги. Вследствие этого очаги самосогревания и гниения можно обнаружить не только датчиками температуры, но и по увеличению показаний датчиков относительной влажности воздуха, закладываемых в массу хранимой продукции.

Реализовать систему обнаружения очагов самосогревания можно, например, на базе предлагаемой НИИПТИХлебопродуктов системы дистанционного измерения температуры «ТЕРМО».

Система дистанционного измерения температуры «ТЕРМО» на основе современных интеллектуальных датчиков и термоконтроллеров предназначена для контроля температуры сыпучих сред в складах силосного типа предприятий сельскохозяйственного производства (мукомольное, комбикормовое, пивоваренное и т. д.). Система позволяет измерять и хранить в базе данных рабочей станции оператора температуру сыпучих продуктов. Структурная схема системы дистанционного измерения температуры «ТЕРМО» показана на рис. 43.

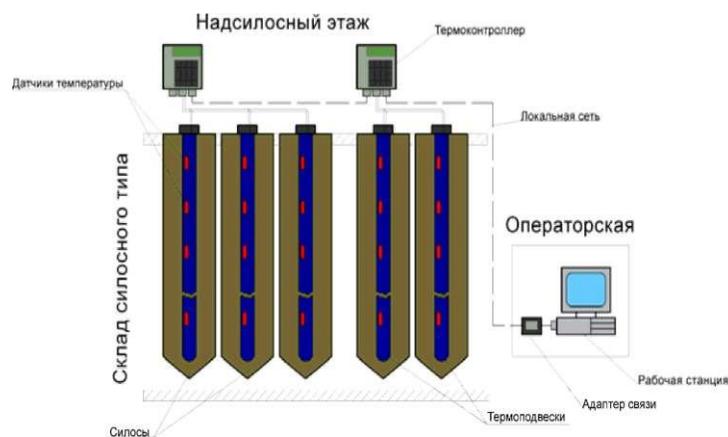


Рис. 43. Структурная схема системы дистанционного измерения температуры «ТЕРМО»

Система состоит из следующих компонентов.

**Термоподвеска с датчиками температуры.** Датчики температуры - современные цифровые микросхемы измерения температуры типа Balla§ 8ешуопслсl;ог.

**Термоконтроллер.** Термоконтроллер является собственной разработкой НПЛ АСУ ТП. Все контроллеры системы объединяются друг с другом в сегментах локальной сети. Один термоконтроллер может обрабатывать информацию от 120 точек измерения.

**Рабочая станция оператора.** IBM-совместимый персональный компьютер, с помощью адаптера связи (преобразователя интерфейса K8232/K8485) подключается к локальной сети системы. Программное обеспечение верхнего уровня позволяет производить визуализацию, документирование, вывод на принтер значений температур в силосах.

Система работает следующим образом: информация о температуре в силосах от «интеллектуальных» датчиков поступает в термоконтроллеры, где с помощью программного обеспечения нижнего уровня происходит ее обработка. Система может работать в двух режимах.

1. Диспетчерский режим работы. Это основной режим работы системы. Обеспечивает измерение температуры по всем каналам измерения и передачу значений температуры через локальную сеть

на верхний уровень для обработки этой информации программным обеспечением верхнего уровня;

2. Местный режим работы. Это вспомогательный режим работы термоконтроллера. Измерение температур осуществляется непрерывно. Значения температур по всем датчикам выбранной термоподвески отображаются на индикаторе термоконтроллера.

Программное обеспечение верхнего уровня системы дистанционного измерения температуры выполняет следующие функции:

- отображает информацию, полученную от термоконтроллеров в табличной и графической (мнемосхема) форме;
- позволяет просматривать и распечатывать результаты измерений по выбранным термоподвескам за любые сутки;
- обеспечивает непрерывный режим самодиагностики системы с ведением протокола.

Программное обеспечение верхнего уровня разработано в среде операционной системы Л8Р Ыпих и имеет современный удобный графический интерфейс пользователя.

На рис. 44 показан экран рабочей станции оператора.

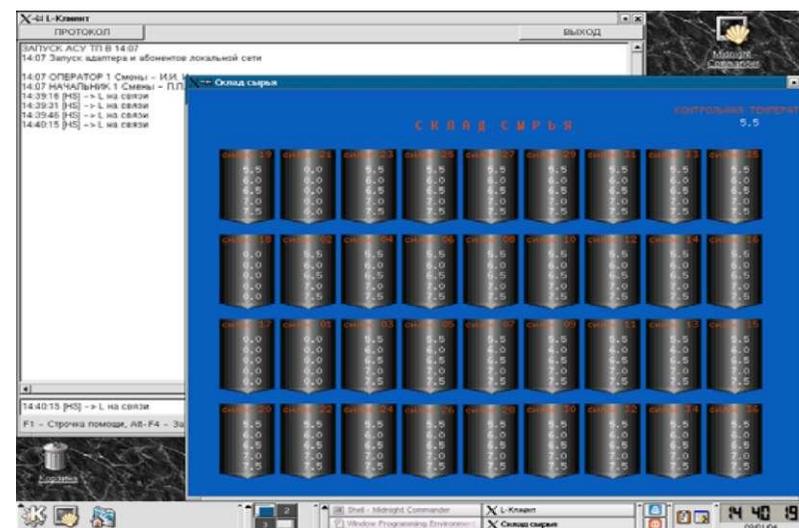


Рис. 44. Экран рабочей станции оператора

### Содержание отчета:

1. Схема автоматизации контроля температуры в бункере зернохранилища.
2. Структурная схема САК зернохранилища.
3. Методика наладки программного регулятора.
4. Переходная характеристика  $T = \Gamma(\tau)$ .

### Контрольные вопросы:

1. Каковы функции контроля и учета сельскохозяйственной продукции.
2. Каковы способы контроля качества сельскохозяйственной продукции.
3. Каковы способы обнаружения очагов самосогревания в зернохранилищах?
4. Требования к САК хранимого зерна и зернопродуктов.
5. Раскройте назначение, область применения и структурную схему системы «ТЕРМО».
6. Какой передаточной функцией можно описать зернохранилище, как объект контроля температуры?

### ЛИТЕРАТУРА

1. Фурсенко С. Н., Якубовская Е. С., Волкова Е. С. Автоматизация технологических процессов : учеб. пособие. Минск : БГАТУ, 2007.
2. Бородин И. Ф., Недилько Н. М. Автоматизация технологических процессов. М. : Агропромиздат, 1986.
3. Автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства : методические рекомендации к первому циклу работ / сост. Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. Минск: БГАТУ, 2008.
4. САУ-МП. Логический контроллер. Паспорт и руководство по эксплуатации. М. : ОВЕН, 2009.
5. Компоненты автоматизации ОВЕН. Каталог продукции 2008/2009. М. : 2009. 254 с.
6. Мурусидзе Д. Н. Установки для создания микроклимата на животноводческих фермах. М. : Колос, 1979.
7. Славин Р. М. Комплексная механизация и автоматизация промышленного птицеводства. М. : Колос, 1978.
8. Бохан Н. К., Дайнеко В. А., Фурсенко С. Н. Контрольно-измерительные приборы в сельском хозяйстве. Минск: Ураджай, 1989.
9. Кудрявцев И. Ф., Карасев О. Б., Матюнина Л. Н. Автоматизация производственных процессов на животноводческих фермах и комплексах. М. : Агропромиздат, 1985.
10. Элементы и устройства с.-х. автоматики : справ. пособие / Н. И. Бохан [и др.]. Минск : Ураджай, 1989.
11. Левин Б. К. Регулирование парокотельных установок пищевых предприятий. М. : Агропромиздат, 1987.
12. Автоматизация технологических процессов: методическое руководство к лабораторным работам. Цикл 3 / сост. С. Н. Фурсенко. Минск : БГАТУ, 1997.

13. Клапвайк Д. Климат теплиц и управление ростом растений / пер. с голланд. с предисловием Д. О. Лебла. М. : Колос, 1976.

14. Рысс А. А., Гурвич Л. И. Автоматическое управление температурным режимом в теплицах. М. : Агропромиздат, 1986.

15. Малин Н. И. Энергосберегающая сушка зерна. М. : КолосС, 2004.

16. Краусп В. Р. Автоматизация послеуборочной обработки зерна. М. : Машиностроение, 1975.

17. Цеттър К.-Х., Ханшманн В. Сепараторы для молочной промышленности // Научно-промышленная документация № 7 [Электронный ресурс], 2003. Режим доступа: [пф://tctctc.tce81gaНа8ерагахог.ГооС-1ес.сот/01.pCG](http://tctctc.tce81gaНа8ерагахог.ГооС-1ес.сот/01.pCG). Дата доступа: 16.12.2008.

18. СЪЛЛ§: техническая анимация 2006: СБ-К.

19. Ожерельев В. Н. Современные зерноуборочные комбайны. М. : Колос, 2009.

20. Митин В. В., Усков В. И., Смирнов Н. Н. Автоматика и автоматизация производственных процессов мясной и молочной промышленности. М. : Агропромиздат, 1987.

**Логический контроллер  
для управления системой подающих насосов ОВЕН САУ-МП**

Прибор САУ-МП предназначен для решения задач локальной автоматизации. Он применяется для создания систем автоматизации технологических процессов, связанных с контролем и поддержанием заданного уровня жидких или сыпучих веществ в различного рода резервуарах, емкостях, контейнерах и т. п. Контроль уровня осуществляется при помощи четырех, подключаемых ко входам прибора, датчиков, которые устанавливаются пользователем в резервуаре на заданных условиях технологического процесса отметках. Для визуального контроля срабатывания датчиков на лицевой панели прибора предусмотрены четыре светодиодных индикатора.

При применении соответствующего алгоритма прибор может быть применен для управления группой подающих насосов в системах горячего и холодного водоснабжения.

В качестве входных датчиков могут быть применены кондуктометрические (контролирующие степень электропроводности среды) зонды; активные датчики с выходными ключами п-р-п-типа; механические контактные устройства; датчики наличия давления типа ДЭМ.

**Технические характеристики**

Номинальное напряжение питания прибора: 220 В частотой 50 Гц.

Допустимые отклонения номинального напряжения: -15...+10 %.

Количество обслуживаемых насосов от 1 до 3.

Диапазон установки временных параметров от 1 с до 63 суток.

Количество независимых входов: 4.

Количество выходных э/м реле: 3.

Макс. допустимый ток нагрузки: 8 А при 220 В 50 Гц.

Габариты и степень защиты корпуса:

- настенный Н 130x105x65 мм, 1Р44;

- щитовой Щ1 96x96x70 мм, 1Р54.

Функциональная схема прибора САУ-МП представлена на рис. П.1.1. В состав прибора входят:

- *входные устройства* Вх1-Вх4, предназначенные для приема сигналов датчиков, сравнения величины принятого сигнала с за-

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

данным и выдачи на блок программируемой логики соответствующего логического уровня (0 или 1);

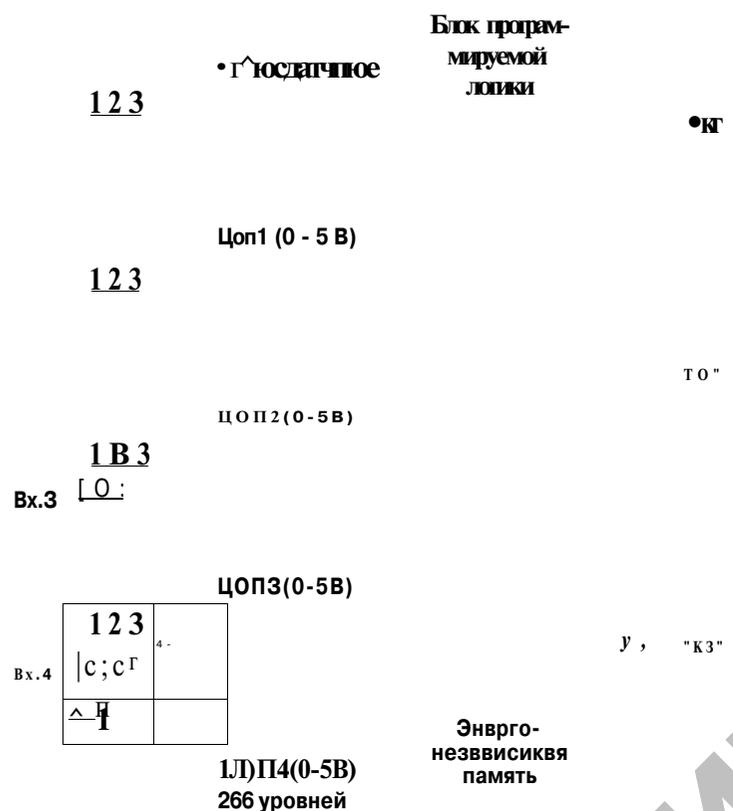


Рис. П. 1.1. Функциональная схема прибора САУ-МП

• блок программируемой логики, предназначенный для формирования сигналов управления выходными реле по принятым от входных устройств сигналам в соответствии с записанным в его энерго-независимой памяти алгоритмом, а также для приема и копирования алгоритма из другого прибора САУ-МП или компьютера;

• выходные электромагнитные реле, предназначенные для управления исполнительными механизмами;

• светодиодные индикаторы, служащие для отображения информации о состоянии датчиков, выходных реле и режимах работы прибора.

**Элементы индикации и управления.** На лицевой панели прибора (рис. П. 1.2) имеются светодиодные индикаторы: «РУЧ», «АВТ»,

«К1», «К2», «К3», «ВХОДЫ 1, 2, 3, 4», и кнопки

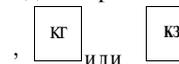


назначение которых зависит от режима работы прибора.

При выполнении заданного алгоритма и в режиме ручного управления светодиоды «ВХОДЫ 1, 2, 3, 4» индицируют состояние датчиков, а светодиоды «К1», «К2», «К3» - состояния выходных реле. Светодиоды «АВТ» и «РУЧ» загораются соответственно в режиме автоматического и ручного управления реле. Кнопка

ПРОГ.

служит для переключения в автоматический режим работы и обратно (в ручной). В режиме ручного управления включение выходных реле осуществляется нажатием соответствующей кнопки



Выключение осуществляется повторным нажатием той же кнопки.



САУ-МП

Рис. П. 1.2. Элементы индикации и управления САУ-МП

Одновременное мигание светодиодов «АВТ» и «РУЧ» указывает на то, что прибор работает в режиме отсчета задержки начала выполнения алгоритма. Нажатие кнопки в этом режиме приводит к переходу в режим выполнения заданного алгоритма.

В режимах изменения уставок таймеров и опорного напряжения входных устройств кнопки служат для выбора и задания значений соответствующих уставок, а светодиоды отображают номер или текущее значение выбранной уставки.

В режимах приема, передачи алгоритма используются кнопки **НиН**.

Кнопка К2 инициирует передачу алгоритма в другой прибор, а прием и запись алгоритма в энергонезависимую память.

### Алгоритмы работы прибора САУ-МП

#### Алгоритм 06

Алгоритм предназначен для управления тремя независимыми насосами, каждый из которых поддерживает уровень жидкости в одной из трех емкостей по показаниям трех датчиков уровня (рис. П. 1.3).

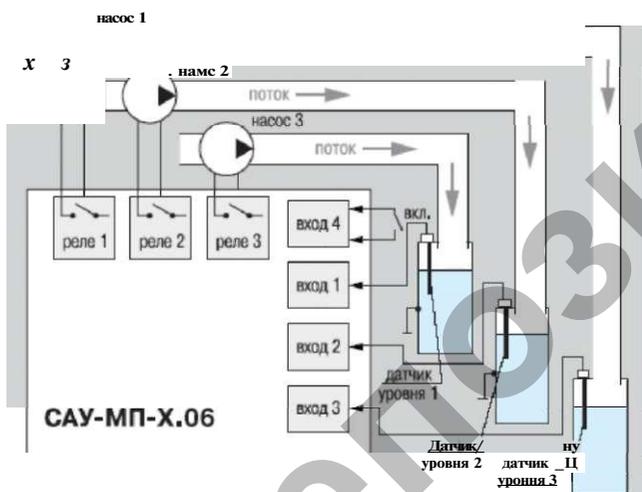


Рис. П. 1.3. Поясняющая схема к алгоритму 06

#### Алгоритм 11

Алгоритм предназначен для управления основным и резервным насосами в системах водоснабжения, включающих в себя два насоса, датчик наличия потока и, либо третий насос, либо аварийную сигнализацию.



Рис. П. 1.4. Поясняющая схема к алгоритму 11

#### Алгоритм 12

Алгоритм 12 предназначен для управления двумя насосами, поочередно работающими на наполнение расходного бака.

На подающей трубе установлен датчик давления («сухой контакт»), подключаемый ко входу 4. Датчик верхнего уровня («короткий» электрод) подключается ко входу 2, а нижнего уровня («длинный» электрод) - ко входу 3.

Если уровень воды выше «короткого» электрода, насосы не работают, и так до тех пор, пока уровень не упадет ниже «длинного» электрода - тогда включается один из насосов. Уровень воды в баке начинает повышаться, но двигатель продолжает работать до тех пор, пока вода не закроет «короткий» электрод. Двигатель выключается, а при следующем осушении длинного электрода включится двигатель другого насоса.

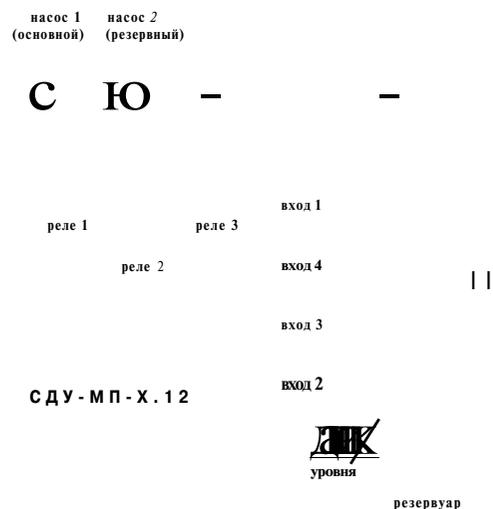


Рис. П. 1.5. Поясняющая схема к алгоритму 12

#### Алгоритм 13

Модификация САУ\_МП\_X.13 является аналогом САУ\_МП\_X.11. Отличие заключается в том, что на реле 3 при включении двигателя насоса предварительно выдается сигнал переключения обмоток двигателя на пусковой режим («треугольник-звезда»), и лишь по истечении заданного времени включается двигатель. Аварийная сигнализация отсутствует.

#### Алгоритм 14

САУ\_МП\_X.14 («Вальс») предназначен для управления установкой из трех циркуляционных насосов, работающих на одну магистраль.

На каждом из насосов установлен свой собственный датчик давления (подключаются к входам 1-3). Насосы работают поочередно парами 1-2, 1-3, 2-3, 1-2,...

Если один из насосов отказал, то постоянно работает оставшаяся пара насосов. При включении прибора, когда должны одновременно запускаться насосы первого и второго каналов, во избежание большой нагрузки на сеть пусковыми токами двух двигателей, включение второго канала происходит с некоторым запаздыванием.

Аварийная сигнализация отсутствует.

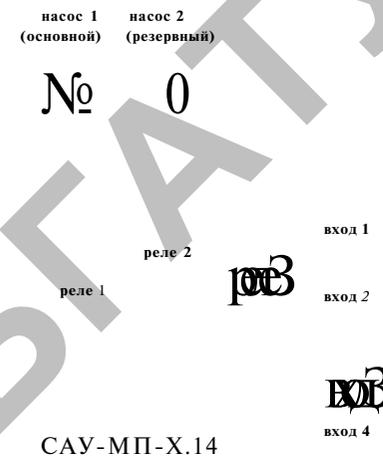


Рис. П. 1.6. Поясняющая схема к алгоритму 14

#### Алгоритм 15

САУ\_МП\_X.15 так же, как и САУ\_МП\_X.11, предназначен для управления основным и резервным насосом и имеет возможность аварийной сигнализации.

Отличие состоит в работе реле 3, которое выдает сигнал аварии при отказе любого из двух насосов, при этом включается насос, находившийся в выключенном состоянии.

Если в процессе дальнейшей работы произошел отказ и второго насоса, о его аварии сигнализирует мигание соответствующего светодиода.

#### Алгоритм 16

Работа САУ\_МП\_X.16 аналогична САУ\_МП\_X.12, но прибор этой модификации управляет работой двух насосов, работающих на осушение расходного бака.

Если уровень воды выше датчика верхнего уровня, включается один из насосов (реле 1) и работает до осушения датчика нижнего уровня. В следующий раз при залипании «короткого» электрода осушать емкость будет второй насос (реле 2). Реле 3 используется для сигнализации об аварии.

### Алгоритм 17

Модификация САУ\_МП\_Х.17 аналогична САУ\_МП\_Х.14. Предназначена для управления насосной установкой, содержащей три подающих насоса, которые включаются поочередно и работают на одну общую магистраль, при этом каждый насос имеет свой собственный датчик давления, замыкание контактов которого свидетельствует о нормальной работе насоса.

В автоматическом режиме одновременно работает только один насос, по истечении заданного времени работы насоса происходит его выключение и включение следующего насоса в порядке: 1-й - 2-й - 3-й - 1-й - 2-й.

Если один из насосов отказал, то поочередно работают оставшиеся насосы. При выходе из строя еще одного насоса, продолжает работать, не выключаясь, последний исправный насос.

### Алгоритм 18

САУ\_МП\_Х.18 управляет двумя насосами (основным и резервным), работающими на осушение емкости.

Датчик верхнего уровня подключается ко входу 3 прибора, нижнего уровня - ко входу 2. Работа насосов осуществляется аналогично алгоритму САУ\_МП\_Х.12, но для контроля исправности насосов служит контрольная емкость. В ней установлен датчик уровня, подключенный ко входу 4.

Вход 1 используется для блокировки работы насосов, реле 3 - для сигнализации об аварии.

### Алгоритм 20

САУ\_МП\_Х.20 предназначен для поддержания (долива) уровня жидкости в емкости, а также для сигнализации о переполнении и защиты насоса от «сухого хода».

В емкости устанавливается пятиэлектродный кондуктометрический датчик. Ко входу 1 подключается электрод «сухого хода», ко

входам 2 и 3 - датчики нижнего и верхнего рабочих уровней, ко входу 4 - электрод перелива. Пятый электрод осуществляет функцию общего.

Система работает на долив от нижнего до верхнего рабочего уровня. Включение насоса осуществляет реле 2 в зависимости от уровня жидкости в емкости. Реле 1 прибора обеспечивает защиту насоса от «сухого хода». Реле 3 используется для сигнализации о переливе.

Для предотвращения преждевременного срабатывания защиты от «сухого хода» и от перелива введены задержки включения/отключения реле при смачивании/осушении соответствующих электродов.

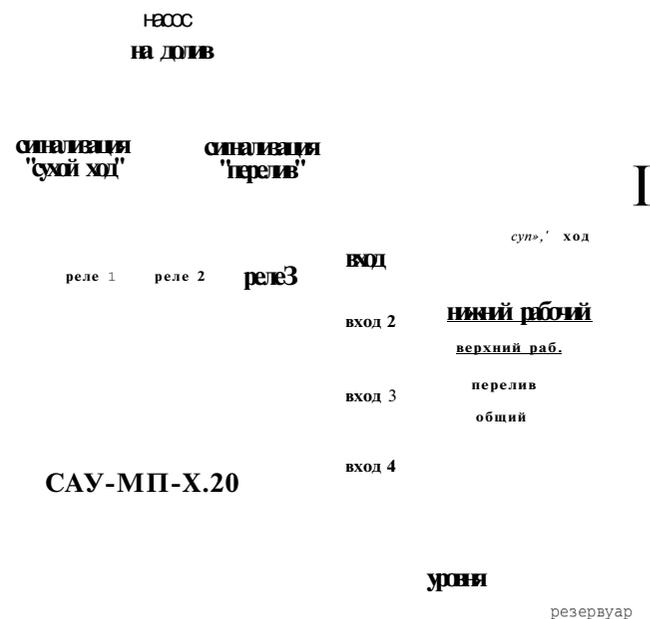


Рис. П. 1.7. Поясняющая схема к алгоритму 20

Приложение 2

**Характеристика преобразователя частоты НкасЫ 8^ 100**

Преобразователь частоты Н1ТАСН1 8Л00 - компактный инвертор с расширенными возможностями. Расшифровка обозначения приведена на рис. П. 2.1. Диапазон моделей дан в табл. П. 4.1, технические характеристики приведены в табл. П. 2.2. Схемы подключения инвертора даны на рис. П. 2.2-П. 2.3, принципы установки параметров на рис. П. 2.4, некоторые параметры настройки расшифрованы в табл. П. 2.5.

Таблица П. 2.1

Линейка моделей преобразователей частоты ШТАСШ 5Л00

Модель    Мощность, кВт    Выходной ток, А    Габариты, ВхШхГ, мм    Масса, кг				
<i>220 В</i>				
8Л00-002ОТБ	0,2	0,2	84x130x100	0,7
8Л00-004ОТБ	0,4	0,4	84x130x114	0,8
8Л00-005ОТБ	0,55	0,55	84x130x114	0,8
8Л00-007ОТБ	0,75	0,75	114x140x136	1,3
8Л00-01ШРБ	1,1	1,1	114x140x136	1,3
8Л00-015ОТБ	1,5	1,5	140x180x160	2,3
8Л00-022ОТБ	2,2	2,2	140x180x171	2,8
<i>400 В</i>				
8Л00-004НРБ	0,4	1,5	114x140x136	1,3

Окончание табл. П. 2.1

Модель	Мощность, кВт	Выходной ток, А	Габариты, ВхШхГ, мм	Масса, кг
8Л00-007НРБ	0,75	2,5	114x130x163	1,7
8Л00-015НРБ	1,5	3,8	114x130x163	1,7
8Л00-022НРБ	2,2	5,5	114x130x163	1,7
8Л00-030НРБ	3,0	7,8	140x180x171	2,8
8Л00-040НРБ	4,0	8,6	140x180x171	2,8
8Л00-055НРБ	5,5	13,0	140x180x171	5,5
8Л00-075НРБ	7,5	16,0	140x180x171	5,7

Таблица П. 2.2

Общие технические характеристики преобразователей частоты ШТАСШ серии 8Л00

Характеристика	Параметры
Напряжение питания	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 фаза 200 В - 10 % ~ 240В + 5 %, 50, 60 Гц ±5 %</li> <li>• 3 фазы 380 В - 10 % ~ 460В + 10 %, 50, 60 Гц ±5 %</li> </ul>
Выходное напряжение	3 фазы от 0 В до напряжения питания
Выходная частота	0,5-360 Гц
Точность частоты	<ul style="list-style-type: none"> <li>• При цифровой установке: ±0,01 %,</li> <li>• При аналоговой установке: ±0,1 %</li> </ul>
Шаг изменения частоты	<ul style="list-style-type: none"> <li>• При цифровой установке: 0,1 Гц</li> <li>• При аналоговой установке: макс. частота 1000 Гц</li> </ul>

Характеристика	Параметры
Характеристика: напряжение/частота	Постоянный момент, Бессенсорный векторный контроль, Сниженный момент, Высокий пусковой момент
Перегрузка по току	150% от номинального тока ( $I_{ном}$ ) в течение 60 с, макс. 220%
Время ускорения и замедления	0,1-3000 с устанавливается индивидуально для каждого процесса, может задаваться в форме кривой, возможна двухступенчатая установка
Пусковой момент	150% от номинального момента и более
Торможение	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Регенеративное,</li> <li>• Динамическое,</li> <li>• С программируемыми параметрами</li> </ul>
Рабочие функции: • Установка частоты	<p><i>Цифровая установка:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Цифровым оператором,</li> <li>• Пультот дистанционного управления</li> </ul> <p><i>Аналоговая установка:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• встроенным переменным резистором,</li> <li>• с клемм входного терминала: <ul style="list-style-type: none"> <li>- переменным резистором 1-2 кОм (1 Вт),</li> <li>- напряжением 0-10 В (входное сопротивление 10 кОм),</li> <li>- токовым сигналом 4-20 мА (входное сопротивление 250 Ом)</li> </ul> </li> <li>• Цифровым оператором,</li> <li>• Пультот дистанционного управления,</li> <li>• Сигналом, поданным на клеммы входного терминала</li> </ul>
Пуск / Стоп / Реверс	

Характеристика	Параметры
Дополнительные рабочие функции	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Работа в многоскоростном режиме (15 фиксированных частот),</li> <li>• Пропуск резонансных частот,</li> <li>• Блокировка изменения параметров,</li> <li>• Автоматический перезапуск,</li> <li>• Встроенный РШ-регулятор,</li> <li>• Автонастройка,</li> <li>• Толчковый режим,</li> <li>• Возможность подключения термодатчика (позистора), и т.д.</li> </ul>
Функции защиты	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Защита от перегрузки по току,</li> <li>• От повышенного и пониженного напряжения,</li> <li>• От перегрева,</li> <li>• От короткого замыкания,</li> <li>• Ограничение перегрузки и т.д.</li> </ul>
Входной терминал	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 аналоговых входа управления частотой,</li> <li>• 6 цифровых программируемых многофункциональных входов</li> </ul>
Выходной терминал	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Аналоговый выход (частота, ток, момент),</li> <li>• 2 бесконтактных цифровых выхода (открытый коллектор) программируются на сигнал о работе привода в заданных диапазонах частот, о превышении установленного значения нагрузки, о превышении заданных значений РГО-регулятора,</li> <li>• 1 релейный выход (авария)</li> </ul>
Температура окружающей среды	от -10 до +40 °С (либо до +50 °С, но при этом частота ШИМ должна быть снижена до 2 кГц, а потребляемый двигателем ток - не более 80 % от номинального тока инвертора)

Окончание табл. П. 2.2

Характеристика	Параметры
Влажность воздуха	20-90 %, без конденсата
Уровень вибрации	Не более $5,9 \text{ м/с}^2$ (0,6 Гц), 10-55 Гц
Место эксплуатации	Высота не более 1000 м, в помещении, свободном от коррозионных газов и пыли
Дополнительное оснащение	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Пульт дистанционного управления,</li> <li>• Устройство копирования,</li> <li>• Кабель для пульта ДУ,</li> <li>• Сетевой дроссель</li> <li>• Помехоподавляющий фильтр,</li> <li>• Выходной дроссель</li> </ul>

**З**<sup>1</sup> 100- 015 Н Р Е

Е - Европейская версия

Исполнение

Напряжение питания

М: 1 х или 3 х ф 200-240 В (0,2-2,2 Вт),

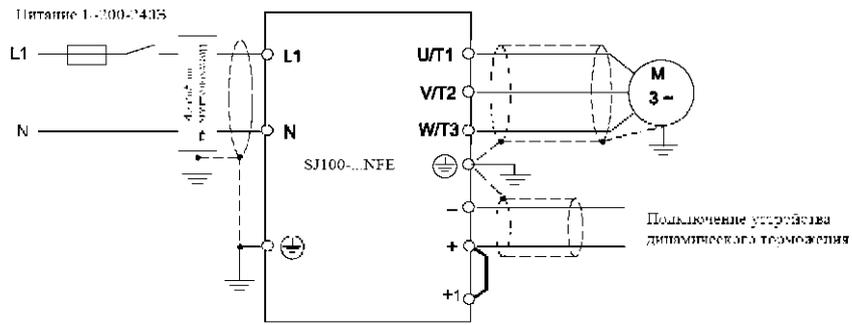
Н: 3 ф х 380~60 В (0,4-4<sup>Г0</sup> кВт).

Максимальная мощность подключаемого электродвигателя в кВт.

Серия преобразователя

Рис. П. 2.1. Расшифровка обозначения преобразователя частоты

а)



б)

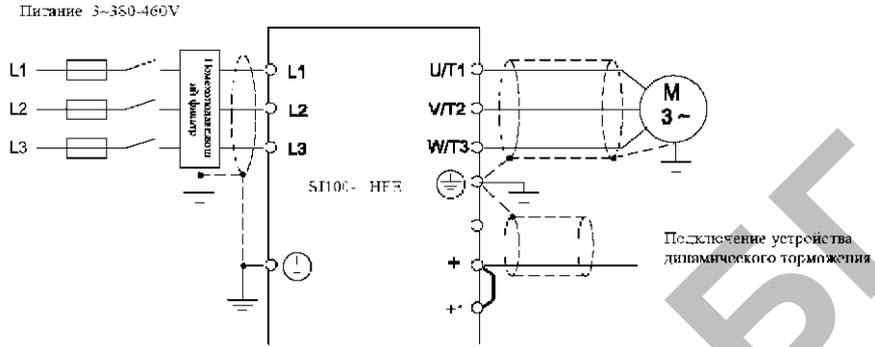


Рис. П. 2.2. Схема подключения силовых клемм инвертора:

а) - на примере 8Л100-... .ОТЕ; б) - на примере 8Л100-... .НРБ

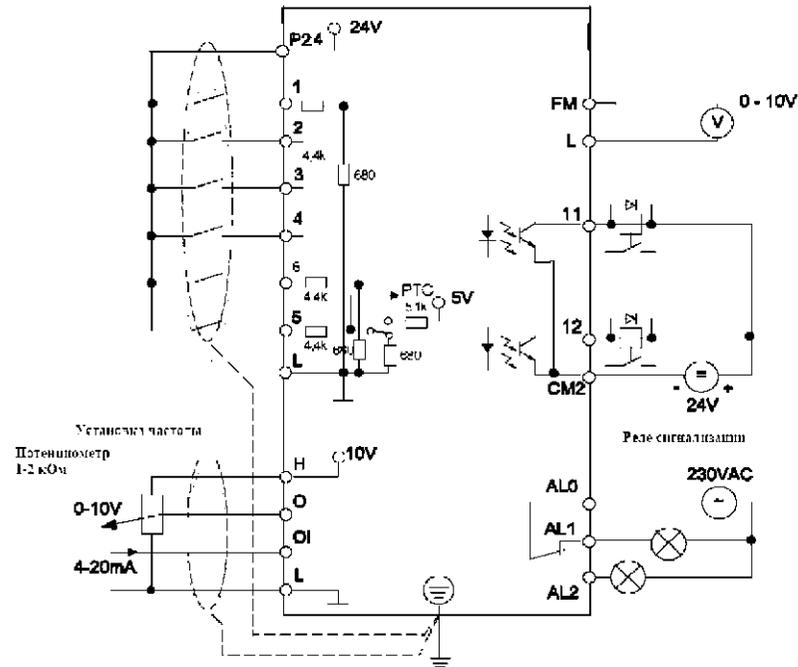


Рис. П. 2.3. Схема подключения цепей управления

Таблица П. 2.3

Характеристика цепей управления преобразователя частоты

Клемма	Функция	Описание
PM	Программируемый выход: задание частоты; ток двигателя	Аналоговый сигнал (0-10В, 1 мА)
Б	0 В	0-вой потенциал для выхода PM
P24	24 В	Потенциал для дискретных выходов 1-6. Максимальная нагрузка - 30 мА
6	Программируемые дискретные входы	2СН
5		К8
4		СР2
3		СР1
2		ШУ
1		Показана заводская установка входов. Обзор функций, которые можно запрограммировать на эти входы, - в табл. П. 4.4. Входы 1-6 можно запрограммировать на восприятие сигнала замыкающего или размыкающего контакта (функции с11-с16)

Клемма	Функция	Описание
Н	10 В - опорное напряжение для задатчика частоты	Потенциометр 1-2 кОм 0-9,6 В номинал 0-10 В 4-19,6 мА номинал 0-20 мА
О	Аналоговый вход задания частоты 0-10 В	Сопротивление нагрузки 10 кОм
О1	Аналоговый вход задания частоты 4-20 мА	Сопротивление нагрузки 250 Ом
Б	0 В - опорный потенциал для аналоговых входов	Если при значении 4 мА выходная частота Ф 0 Гц, то стартовая частота должна быть подкорректирована в функции Б81.
CM2	Опорный потенциал для выходов 11, 12	Транзисторный выход, макс. 27В, 50 мА
11	Программируемый дискретный выход (заводская установка РА1)	Входы 11, 12 могут быть запрограммированы с помощью функций С31, С32 на восприятие сигнала замыкающего или размыкающего контакта. Функции: РА1 - сигнал о достижении установленного значения частоты; РА2 - сигнал при частоте > / = частоте, установленной в функции С42 или С43; КИЧ - сигнал, если выходная частота > 0 Гц; ОБ - сигнал, если ток двигателя превысит установленное в функции С41 значение; ОБ - сигнал, если отклонение между установленным и действительным значением обратной связи больше задания функции С44 (если активирован ГИД-регулятор - функция А71); АБ - сигнал при появлении ошибки
12	Программируемый дискретный выход (заводская установка ШЖ)	

Окончание табл. П. 2.3

Клемма	Функция	Описание	
АБ2	Релейный выход Сигнализация сбоев	АЮ	230УАС
АЫ		АИ	1 _____ ^ 1
АБ0			1 _____ /ч/л
		Работа: АБ0-А/Л замкнут. Сбой: АБ0-^Б2 - замкнут (функция С33)	

Таблица П. 2.4

Обзор функций программируемых входов

Вход, параметр	Функция	Описание
Р\У 00	Прямое вращение	Пуск/Останов. Прямое вращение (функция А02)
КУ 01	Обратное вращение	Пуск/Останов. Обратное вращение (функция А02)
СР1 02	Фиксированные частоты	Существует два способа программирования фиксированных частот: 1) задание с помощью функций А21-А35; 2) выбор соответствующих дискретных входов СР1...СР4 и введение желаемой частоты с помощью функции Р01. Введенное значение перезаписывается клавишей 8ТК
СР2 03		
СР4 05		
2СН 09	Вторая ступень разгона/торможения	Время разгона/торможения - функция А92/А93, А292/А293
РК8 11	Блокировка регулирования	При активизации входа РК8, мгновенно происходит отключение выходного каскада преобразователя частоты
БХ1Т 12	Внешнее сообщение о сбое	При настройке этого входа высвечивается сообщение о сбое

Окончание табл. П. 2.4

Вход, параметр	Функция	Описание
13	Блокировка повторного пуска	Блокировка повторного пуска препятствует повторному включению в том случае, когда после отключения сети напряжение питания восстановлено и одновременно присутствует команда пуска.
8РТ 15	Защита математического обеспечения	Защищает введенные параметры от потери и перезаписи
АТ 16	Установка входа 01 активизирована (4-0 мА)	Происходит активизация входа
К8 18	Сброс (Кезех)	Сброс сообщений о сбое, восстановление реле сигнализации
06	Толчковый режим	Служит, например, для подстройки оборудования в ручном режиме
РТС 19	Клемма терморезистора Только в сочетании с входом 5 Опорным потенциалом является клемма Ь	Вход 5 может быть запрограммирован с помощью функции С05 в качестве клеммы терморезистора
цр/оо\\пч 27/28	Функция дистанционного управления	Вверх/вниз
8БТ 08	Задание параметров 2-го двигателя	Функция активизируется после полной остановки привода
БВ 07	Функция внешнего торможения постоянным током	При подключении клеммы БВ. Можно управлять торможением постоянным током

Таблица П. 2.5

Описание некоторых функций		
Код	Название функции	Примечание
<i>Базовые функции</i>		
P01	Установка частоты	Диапазон 0,5-360 Гц
P02	Время разгона	Диапазон 0,1-3000 с
P202	Время разгона для второго двигателя	Диапазон 0,1-3000 с
P03	Время торможения	Диапазон 0,1-3000 с
P04	Направление вращения	00 - прямое; 01 - обратное
<i>Индикация и диагностика</i>		
(101	Выходная частота, Гц	
clO2	Ток двигателя, А	
clO3	Направление вращения	
clO5	Состояние дискретных входов	
clO6	Сигнал о состоянии дискретных выходов 11, 12 и реле сигнализации АБ0-АБ2	
	Просмотр преобразованного значения выходной частоты	
<i>Основные функции</i>		
A01	Способы задания частоты	00 - встроенный потенциометр; 01 - терминал; 02 - функции P01/A20
A02	Команда пуска	01 - клеммы РШ/КУ
A03	Базовая частота	50-360 Гц
A203	Базовая частота для второго двигателя	50-360 Гц
A04	Максимальная частота	50-360 Гц
<i>Регулирование частоты внешним управляющим сигналом</i>		
A11	Частота при минимальном уровне управляющего сигнала	0-360 Гц

Продолжение табл. П. 2.5

Код	Название функции	Примечание
A12	Частота при максимальном уровне управляющего сигнала	0-360 Гц
A15	Условия запуска	00 - пуск с минимальной частоты; 01 - пуск с 0 Гц
A16	Дискретизация аналоговых входов 0/01	1-8
<i>Фиксированные частоты</i>		
A20	Установка частоты, если в функции A01 установлен код 02	0-360 Гц
A21...A35	Фиксированная частота	0-360 Гц
A38	Толчковая частота	0,5-9,9 Гц
A39	Толчковый режим. Метод остановки	00 - свободный ход; 01 - наклонная; 02 - БС-торможение
<i>ПИД-регулятор</i>		
A71	ПИД-регулятор активирован / неактивирован	00 - неактивирован; 01 - активирован
A72	П-составляющая	0,2-5,0
A73	И-составляющая	0-150 с
A74	Д-составляющая	0-100
A75	Коэффициент масштабирования	0,01-99,99
A76	Вход для сигнала обратной связи	00 - клемма 01; 01 - клемма 0
<i>Защита параметров</i>		
B31	Защита параметров	
<i>Дискретные входы 1-5</i>		
C01	Дискретный вход 1 (00)	00 - РШ; 01 - КУ; 02 - СР1; 03 - СР2; 04 - СР3; 05 - СР4; 06 - Ю;
C02	Дискретный вход 2 (01)	07 - БВ; 08 - 8БТ; 09 - 2СН; 11 - РК8; 12 - БХТ; 13 - И8Р; 15 - 8РТ; 16 - АТ; 18 - К8;
C03	Дискретный вход 3 (02)	19 - РТС; 27 - ИР; 28 - Б0\УБ
C04	Дискретный вход 4 (03)	
C05	Дискретный вход 5 (18)	
C06	Дискретный вход 6 (09)	

Окончание табл. П. 2.5

Код	Название функции	Примечание
I1	Дискретный вход 1 З/Р	00 - замыкающий; 01 - размыкающий
C12	Дискретный вход 2 З/Р	
C13	Дискретный вход 3 З/Р	
C14	Дискретный вход 4 З/Р	
C15	Дискретный вход 5 З/Р	
C16	Дискретный вход 6 З/Р	
<i>Выходы I1, I2, Ш, АБ0-АБ1</i>		
C21	Дискретный выход I1 (01)	00 - К1ЛЧ; 01 - РА1;
C22	Дискретный выход I2 (00)	02 - РА2; 03 - ОБ; 04 - ОБ; 05 - АБ
C23	Выход РМ (00)	00 - А-Р; 01 - А; 02 - Б-Р
C24	Установка функции АБ	
C32	Дискретный выход I1 З/Р (01)	00 - замыкающий; 01 - размыкающий
C33	Дискретный выход АБ0-АБ1 (01)	00 - замыкающий; 01 - размыкающий
C41	Предел перегрузки (I00)	0-200 %
C42	Частота, достигнутая при разгоне	0-360 Гц
C43	Частота, достигнутая при торможении	0-360 Гц
C44	Отклонение при ПИД-регулировании	0-100 %
C81	Настройка аналогового измерителя	Заданное значение 0
C91	Выбор режима отладки	Заводская установка
C92	Адрес ЗУ	Заводская установка
C93	Данные ЗУ	Заводская установка
C94	Установка адреса ЗУ	Заводская установка
C95	Установка данных ЗУ	Заводская установка

а)

**РОЛУЕК-1\_ЕО:** Индикация питания. Примите во внимание, что после выключения питания, на силовых клеммах сохраняется опасное высокое напряжение пока заряжены конденсаторы в звене постоянного тока.

4-разрядный жидкокристаллический дисплей XI я отображения параметров и технических данных

Кнопка КТОР/КЕЗЕТ; Используется для остановки двигателя или перезагрузки после отключения

Кнопка КДП> Используется для запуска двигателя. Не активизируется в том случае, когда управление производится с клемм управления.

КЛ/Х-БЕВ Индикация работы инвертора при наличии команды пуска

Р.Г.: А У зп

БЕО Ит. пай А Индикация Гц и А. Включается при индикации выходной частоты или выходного тока.

Встроенный потенциометр Устанавливает выходную частоту

Кнопка Для заведения в память выбранных данных

Кнопки (1) и (2) Используется для изменения данных и параметров

Кнопка ЕГ>-С Используется для ввода данных и параметров

**Е Ю !**

б)

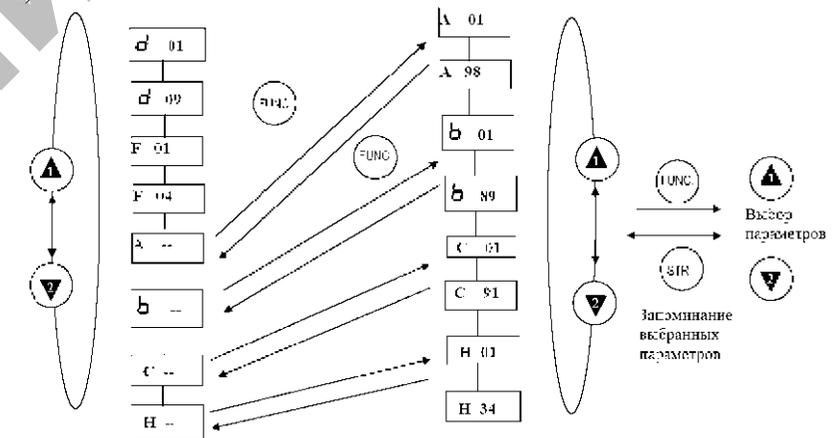


Рис. П. 2.4. Принципы программирования преобразователя частоты: а) - пульт оператора; б) - последовательность действий

**Функциональные возможности а-контроллера**

Контроллеры а-серии или а-контроллеры (табл. П. 3.1 и П. 3.2) являются простыми многофункциональными контроллерами, хорошо приспособленными для решения задач управления технологическими процессами. Контроллер а-серии, разработанный как компактное, универсальное изделие (рис. П. 3.1) для решения несложных задач, может вести управление в режиме реального времени. Однако следует исключить использования контроллеров данной серии, когда требуется обеспечить повышенную надежность управления (атомные станции и процессы, несущие повышенную опасность для обслуживающего персонала).

Характерные особенности а-контроллеров:

- возможность отображения информации о состоянии параметров на ЖКИ-экране;
- легкость программирования;
- множество перезаписи программ;
- возможность поддержания аналогового входа и аналогового выхода;
- возможность пересылки данных по Ст8М-модему;
- высокоскоростной счетчик.

Таблица П. 3.1

Модификация контроллеров						
Модель	Источник питания	Входная цепь		Выходная цепь		Размеры, мм
		Тип	Кол-во	Тип	Кол-во	
АБ2-14МК-А	100-240 В	100-240 В	8	Реле	6	24,6х90х52
АБ2-14МК-Б	= 24 В	= 24 В Сток/Источник	8	Реле	6	
АБ2-24МК-А	100-240 В	100-240 В	15	Реле	9	
АБ2-24МК-Б	= 24 В	= 24 В Сток/Источник	15	Реле	9	

Схемы подключения входов и выходов контроллера даны на рис. П. 3.2-П. 3.4, модулей расширения на рис. П. 3.5-П. 3.10.

Модификация модулей расширения

Модель	Входная цепь		Выходная цепь	
	Тип	Кол-во	Тип	Кол-во
АБ2-4БХ-А2	220-240 В	4	-	
АБ2-4БХ	= 24 В Сток/Источник	4	-	
АБ2-4БУК	-			4
АБ2-4БУТ	-			4
АБ2-А81-ВВ	Вход А8-интерфейс	4	Выход А8-интерфейс	4
АБ2-2БА	-		Аналоговый сигнал (от 0 до 10 В или от 4 до 20 мА)	2
АБ2-2РТ-АБР	Датчик температуры РТ-100	2	Аналоговый сигнал (от 0 до 10 В)	2
АБ2-2ТС	Датчик температуры термпарный (тип «К»)	2	Аналоговый сигнал (от 0 до 10 В)	2

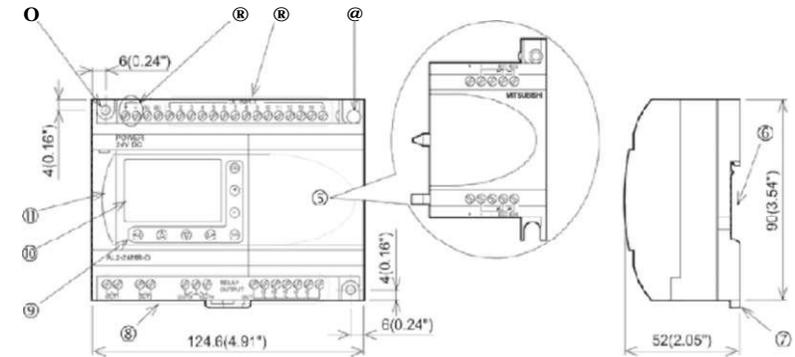


Рис. П. 3.1. Составные части контроллера:

- 1 - монтажное отверстие; 2 - контактные клеммы подключения питания; 3 - контактные клеммы подключения входных цепей; 4 - монтажный винт для присоединения корпуса расширителя или расширительного модуля; 5 - корпус расширителя или расширительный модуль; 6 - канавка для установки рельса в стандарте БМ; 7 - монтажные зажимы для установки рельса в стандарте БШ; 8 - выходные контактные клеммы; 9 - операционные клавиши; 10 - жидкокристаллический дисплей; 11 - крышка порта связи для программирования



1 - фаза, N - нейтраль

Рис. П. 3.2. Схема электрических соединений с источником питания переменного тока и входными цепями:

1 - источник питания переменного тока (= 24 В); 2 - устройство отсоединения цепи; 3 - устройство защиты схемы (ограничение до 1 А); 4 - контактные клеммы подключения источника питания переменного тока; 5 - неиспользуемые контактные клеммы; 6 - входные контактные клеммы; 7 - цифровые входные выключатели

Ф  
И

Г Т Т Т Т Т 7

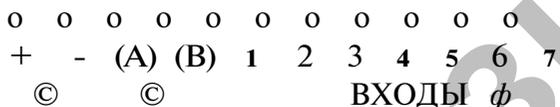


Рис. П. 3.3. Схема электрических соединений с источником постоянного тока и с входными цепями (при подключении источника с общим «+»):

1 - источник питания постоянного тока (= 24 В); 2 - устройство отсоединения цепи; 3 - устройство защиты схемы (ограничение до 1 А); 4 - контактные клеммы подключения источника питания постоянного тока; 5 - входные контактные клеммы для соединения со стоком/источником; 6 - входные датчики-выключатели; 7 - входные контактные клеммы; 8 - аналоговый вход

П



Рис. П. 3.4. Схема электрических соединений с источником постоянного тока и с входными цепями со стоком (при подключении источника с общим «-»):  
1 - источник питания постоянного тока (= 24 В); 2 - устройство отсоединения цепи; 3 - устройство защиты схемы (ограничение до 1 А); 4 - контактные клеммы подключения источника питания постоянного тока; 5 - входные контактные клеммы для соединения со стоком/источником; 6 - входные датчики-выключатели; 7 - входные контактные клеммы

Φ  
Т!

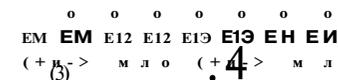


Рис. П. 3.5. Схема электрических соединений с входными цепями, для АБ2-4БХ (при подключении источника с общим «+»):

1 - источник питания постоянного тока (= 24 В); 2 - устройство отсоединения цепи; 3 - входные контактные клеммы; 4 - входные датчики-выключатели

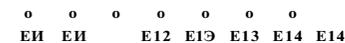


Рис. П. 3.6. Схема электрических соединений с входными цепями, для АБ2-4БХ, со стоком (при подключении источника с общим «-»):  
1 - источник питания постоянного тока (= 24 В); 2 - устройство отсоединения цепи; 3 - входные контактные клеммы; 4 - входные датчики-выключатели

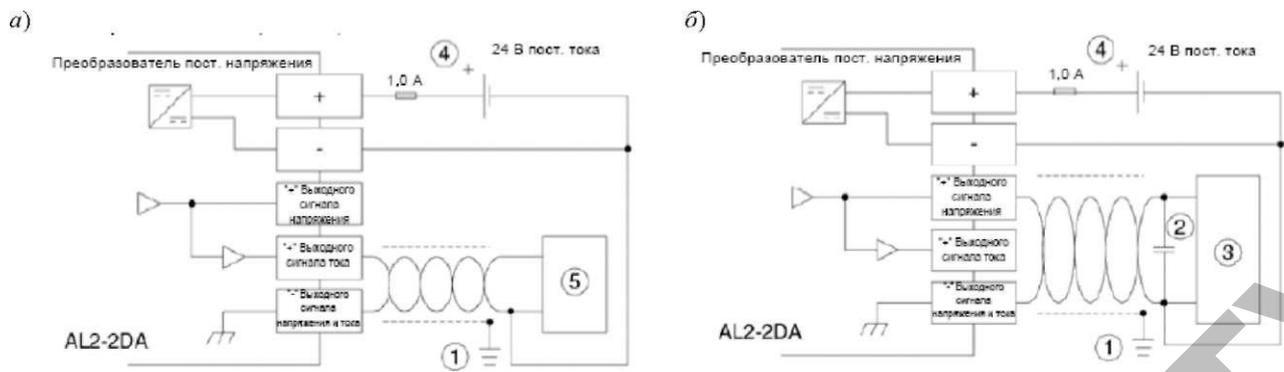


Рис. П. 3.7. Схема электрических соединений для АБ2-2БА:

- а) - в режиме выходного сигнала напряжения; б) - в режиме выходного сигнала тока; 1 - заземляющее сопротивление 100 Ом или менее; 2 - конденсатор, подключаемый в случае шума; 3 - внешнее оборудование такое как инвертор; 4 - внешний источник питания постоянного тока (= 24 В); 5 - внешнее оборудование такое, как записывающий измерительный прибор

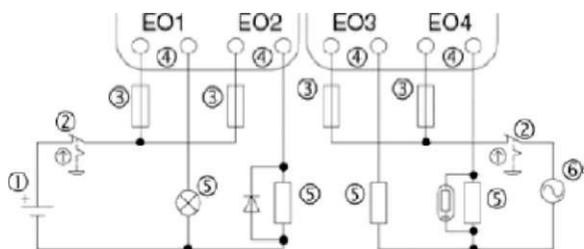


Рис. П. 3.8. Схема электрических соединений выходных цепей АБ2^ЕУШ (переменный ток и/или постоянный ток):

1 - источник питания постоянного тока (= 24 В); 2 - аварийный выключатель; 3 - устройство защиты схемы (предохранитель < 3А; 4 - взаимно-исключающие выходы; 5 - выходные устройства; 6 - источник питания переменного тока



Рис. П. 3.9. Схема электрических соединений выходных реле главного блока (переменный ток и/или постоянный ток):

1 - главный блок контроллера; 2 - взаимноисключающие выходы; 3 - выходные устройства; 4 - устройства защиты схемы; 5 - аварийный выключатель; 6 - источник питания постоянного тока; 7 - источник питания переменного тока

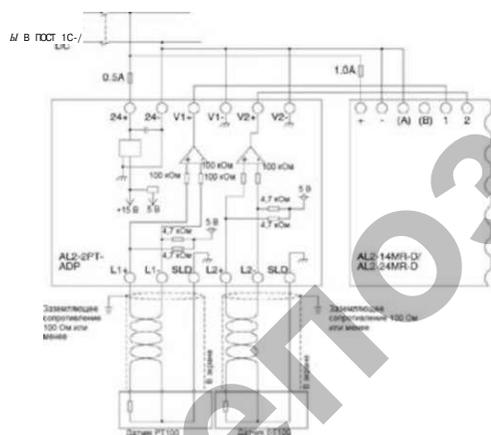


Рис. П. 3.10. Схема электрических соединений для АБ2-2РТ-АБР

### Характеристика некоторых регулирующих приборов

**Наименование:** КТ-820

**Изготовитель:** СООО «Евроавтоматика ФиФ»

**Назначение:**

температурные реле (терморегуляторы) предназначены для контроля и поддержания заданного температурного режима в помещениях, овощехранилищах, системах водяного отопления и т. п. путем включения/выключения нагревательной (охлаждающей) установки по сигналам выносного датчика температуры.

**Принцип работы:**

заданную температуру устанавливают воротком TEMP. До момента получения требуемой температуры в помещении контакты реле замкнуты (светится желтый светодиод), и нагревательная установка включена. Достижение заданной температуры вызывает размыкание контактов и выключение нагревательной установки (желтый светодиод гаснет). Воротком Н В Т устанавливают гистерезис реле в диапазоне 0,5-3,0 °С. Снижение температуры в помещении вызывает включение установки и ее работу (контакты 2-1 замкнуты) до момента достижения заданной температуры.

Питание	220 В 50 Гц
Максимальный ток активной нагрузки	16 А
Контакт	1Р
Диапазон регулировки температуры	от +4 до +30 °С

Гистерезис регулируемый	0,5-3,0 °С
Температурный зонд	провод 1,5 м
Размеры	2 модуля (35 мм)
Присоединение	винтовые зажимы до 4 мм
Степень защиты	1P20
Сигнализация питания	зеленый светодиод
Сигнализация рабочего состояния	желтый светодиод
Потребляемая мощность	1 Вт

**Монтаж:**

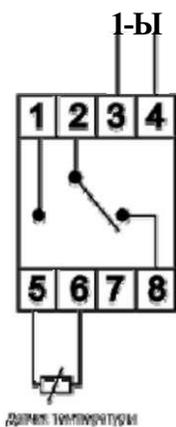


Рис. П. 4.1. Схема подключения КТ-820



Рис. П. 4.2. Внешний вид реле температуры

**Наименование:** P2-829

**Изготовитель:** СООО «Евроавтоматика ФиФ»

**Назначение:**

реле предназначены для контроля и поддержания заданного уровня токопроводящих жидкостей в резервуарах, бассейнах, водонапорных башнях и т. п. и для управления электродвигателями насосных установок.

**Принцип работы:**

монтаж P2-829: подключить питание к зажимам 1 (ноль) и 2 (фаза). Датчик СОМ подключить к зажиму 4 и установить ниже минимального уровня жидкости. Датчик МАХ подключить к зажиму 6 и установить на верхнем уровне. Датчик МЕЧ подключить к зажиму 5 и установить на нижнем уровне. При снижении уровня ниже минимального замкнуты контакты 11-12 и контакты 8-9. Если жидкость находится между нижним и верхним уровнем, замкнуты контакты 8-9 и 10-11. Если жидкость достигает верхнего уровня, замкнуты контакты 7-8 и 10-11. Примечание: Датчик уровня P2-829 (3 датчика в комплекте) - стальной электрод с защитным покрытием в пластмассовом корпусе. Диаметр электрода - 8 мм, длина - 60 мм. Датчик подключается к реле проводом диаметром 1 мм и длиной до 100 м.



Рис. П. 4.3. Внешний вид реле уровня

Питание	220 В 50Гц
Максимальный ток нагрузки	2x16 А
Контакт	1P
Рабочая температура	от -25 С до +50 °С
Датчик контроля уровня	провод 1,5 м
Размеры	2 модуля (35 мм)
Присоединение	винтовые зажимы 4 мм
Степень защиты	1P20
Сигнализация питания	зеленый светодиод
Сигнализация рабочего состояния	красный светодиод
Напряжение питания датчика, не более	24 В

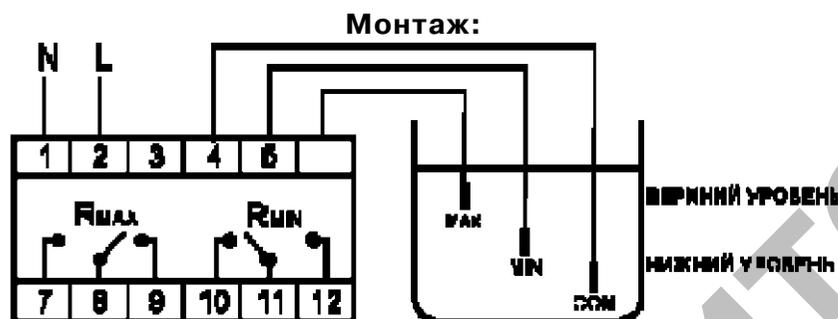


Рис. П. 4.4. Схема подключения реле уровня

**Наименование:** Универсальный программный ПИД-регулятор ТРМ151

**Изготовитель:** ОВЕН

**Назначение:**

предназначен для построения автоматических систем контроля и управления процессами в различных областях промышленности, сельского и коммунального

**Принцип работы:**

выполняет измерение двух физических величин, коррекцию, регулирование по позиционному закону в соответствии с уставками по заданной программе, обработку и передачу информации.

Питание	90-245 В, 47-63 Гц
Количество входов для подключения датчиков	2
Время опроса одного входа	0,3 с
Количество выходных элементов	2
Интерфейс связи с компьютером	K8-485
Степень защиты корпуса:	
-для корпуса Щ1	1P54
-для корпуса Н	1P44
Габариты прибора:	
-для корпуса Щ1	96x96x70 мм
-для корпуса Н	115x105x65 мм
Масса прибора	Не более 0,5 кг
Потребляемая мощность	Не более 6 ВА

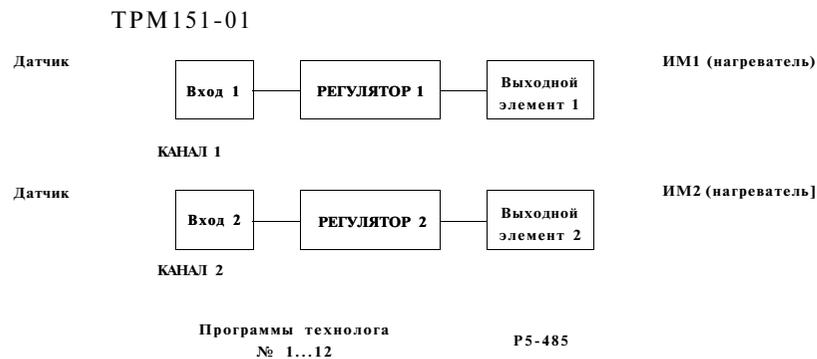


Рис. П. 4.5. Структурная схема TPM151



Рис. П. 4.6. Внешний вид регулятора

### Принципы программирования TPM151

Программирование TPM151 можно проводить двумя способами: кнопками лицевой панели прибора; с помощью программы «Конфигуратор TPM151» на компьютере. В первом случае с помощью кнопок лицевой панели следует перевести прибор в режим программирования (рис. П. 4.7). Второй случай подробно описан в помощи программы-

конфигуратора. Общие принципы программирования с помощью кнопок на лицевой панели прибора приведены на рис. П. 4.8. Последовательность задания программируемых параметров:

1. Задание конфигурации прибора (здать тип датчика; для каждого активного датчика задать верхнюю и нижнюю границы диапазона измерений; при необходимости задать время опроса датчика; задать режим работы регулятора (ПИД или двухпозиционный) и зону нечувствительности; для каждого ПИД-регулятора задать параметры автонастройки).

2. Задание программы технолога (можно задать до 12 программ): для всех программ задать масштаб времени для параметров; для каждого шага программы задать его тип, для последнего - «конец программы», условия перехода на следующий шаг, для каждого регулятора - тип уставки и значение, для шага с переходом задать номер программы и номер шага, на которые будет осуществляться переход.

3. Задание вспомогательных параметров прибора: задать поведение прибора после появления пропавшего питания; поведение прибора в состоянии «стоп» и «авария» при необходимости.



Рис. П. 4.7. Схема переключения режимов прибора

**( Рабочий режим )**

« + ВВОД

Главное меню (выбор ПАПКИ)

нажать у + (или ГИ) и  
1 « + ВВОД

Выбор номера Элемента  
(Канала, Шага и т.д.)

Общие  
параметры  
для Элементов

Параметры  
для Элемента № 1

Параметры  
ПАПКИ

Параметры  
для Элемента № N

Рис. П. 4.8. Схема задания параметров

## Приложение 5

### Характеристика системы дистанционного измерения температуры «ТЕРМО»

Система дистанционного измерения температуры «ТЕРМО» (далее по тексту - система) предназначена для измерения температуры зерна и зернопродуктов в силосах и складах силосного типа. Система состоит из модуля коммутации и индикации и модулей термоподвески. Результаты измерения отображаются на жидкокристаллическом индикаторе в градусах Цельсия (далее - ЖКИ) с ценой младшего разряда и дискретностью показаний 0,1 °С, расположенном в модуле коммутации и индикации. Диапазон измерения температуры, °С - от минус 30 до плюс 70. Систему применяют для построения многоточечного дистанционного измерения температуры. Система обеспечивает следующие функции:

- непрерывную световую сигнализацию процесса опроса модулей термоподвесок;
- непрерывную световую сигнализацию наличия напряжения питания;
- сигнализацию короткого замыкания в модулях термоподвесок.

Диапазон питающего напряжения - от 19,2 В до 28,8 В.

Потребляемый ток, не более - 0,3 А.

Время установления рабочего режима, не более - 20 с.

Время установления показаний, не менее - 20 мин.

Максимальное количество модулей термоподвесок, подключаемых к модулю коммутации и индикации - 12 шт.

Максимальное количество чувствительных элементов в модуле термоподвески - 10 шт.

Габариты должны быть не более:

модуль коммутации и индикации 220x200x110 мм;

основание модуля термоподвески 240x148x90 мм.

Масса модуля коммутации и индикации должна быть не более 2,5 кг.

Структурная схема системы приведена на рис. П5.1. В нее входят: ЖКИ; клавиатура; микроЭВМ; ОЗУ; ПЗУ настроек; блок коммутации; головка модуля термоподвески (для крепления чувствительных элементов и разъемов, для подключения к модулю комму-

тации и индикации); погружаемая часть с чувствительными элементами; блок питания.

ЖКИ предназначен для отображения информации.

Клавиатура предназначена для управления модулем при настройке.



Рис. П. 5.1. Структурная схема системы «ТЕРМО»

Блок коммутации выполняет последовательное подключение модулей термоподвесок к микроЭВМ и первичное преобразование данных.

ОЗУ предназначено для хранения промежуточных данных.

ПЗУ настроек предназначено для постоянного хранения служебных установок.

Блок питания представляет собой преобразователь постоянного напряжения +24 В в постоянное напряжение +5 В.

**Режимы работы системы.** Система может функционировать в трех режимах: измерения температуры (основной режим), ввода параметров работы системы, определения количества термочувствительных элементов модуля термоподвески и чтения их уникального кода с последующей записью в память системы.

### Режим измерения температуры.

Подать на систему питание.

После подачи питания, если монтаж системы произведен правильно, должен загореться индикатор наличия питания и на ЖКИ отобразится приглашение - «Ждите».

Если включение системы производится первый раз, то на ЖКИ отобразится сообщение - «СБОЙ ПАРАМЕТРОВ». Для дальнейшей работы необходимо одновременно нажать клавиши Т, Х, ЗБ. После нажатия клавиш будет выведено приглашение «Ждите».

После завершения стартовой процедуры, система перейдет в режим непрерывного измерения температуры. На ЖКИ будет выведено значение температуры первого чувствительного элемента модуля термоподвески № 1.

Для просмотра температур на любом из модулей термоподвесок следует использовать клавиши: 1 - перемещение на больший номер модуля термоподвески, Х - перемещение на меньший номер модуля термоподвески. Для просмотра температур на любом из чувствительных элементов выбранного модуля термоподвески следует использовать клавиши: РЕГ + Т - перемещение на больший номер чувствительного элемента, РЕГ + Х - перемещение на меньший номер чувствительного элемента.

В данном режиме есть возможность просмотреть значение всех температур на одном модуле термоподвесок. Переход к просмотру осуществляется клавишей 1 (рис. П. 5.2). Возврат к отображению одного датчика производится повторным нажатием клавиши 1.

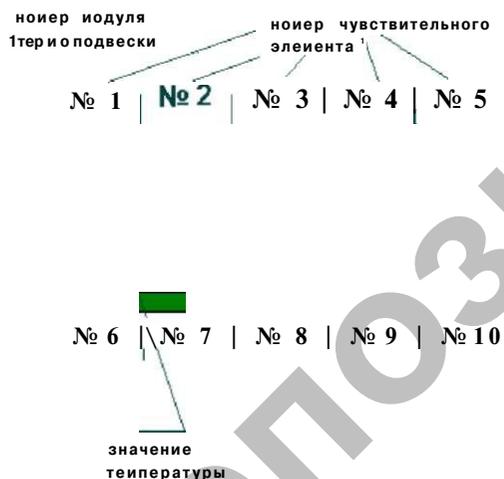


Рис. П. 5.2. Вывод всех значений температур на выбранном одном модуле термоподвески

### Режим ввода параметров работы системы.

Для перехода в режим ввода параметров работы системы необходимо нажать одновременно клавиши РЕГ + 1. После нажатия клавиш на ЖКИ появится приглашение ввести пароль доступа. Изготовителем установлен пароль - 224719. Пароль вводится при помощи кнопок клавиатуры. Нажатие кнопки ЗБ означает отказ от ввода пароля и выход в режим измерения температуры. В случае корректного ввода пароля происходит переход к экрану настроек (рис. П. 5.3).

Рис. П. 5.3. Экран настроек

Здесь возможно задать (изменить) следующие настройки:

- клавиша 1 - параметры работы системы;
- клавиша 2 - просмотр (ручная запись в память модуля коммутации и индикации) уникального кода чувствительного элемента (далее 1Б);
- клавиша 3 - чтение 1Б чувствительного элемента, подключенного к Х7 (Р2.7), с последующей записью в память модуля коммутации и индикации;
- клавиша 4 - чтение (запись) номера ряда чувствительного элемента, подключенного к Х7 (Р2.7), с последующей записью в память чувствительного элемента;
- клавиша 5 - задание пароля пользователя.

Клавиша - выход из экрана настроек в режим измерения температуры.

### Параметры работы системы.

После входа в параметры работы системы доступны следующие настройки:

У номер абонента локальной сети (если система не функционирует под управлением ПЭВМ, то параметр устанавливается равным 1). Интервал устанавливаемых значений - от 1 до 31.

Клавиша 1 - увеличение параметра на единицу.

Клавиша Х - уменьшение параметра на единицу.

Клавиша ^ - запоминание установленного параметра и переход к редактированию следующего.

Клавиша ЗБ - отказ от редактирования параметра и выход в экран настроек.

> количество подключаемых модулей термоподвесок. Интервал устанавливаемых значений - от 1 до 12 (клавиши те же).

> количество чувствительных элементов в модуле термоподвески. Интервал устанавливаемых значений - от 0 до 10. Установка производится для каждого модуля термоподвески.

^ дискретность восприятия ошибок еК.

^ дискретность восприятия ошибок еБ, еР.

> скорость обмена по интерфейсу К8485.

**Режим определения количества термочувствительных элементов** модулей термоподвесок и чтение их уникального кода с последующей записью в память системы. Каждый чувствительный элемент модуля термоподвесок имеет свой шестнадцатиричный идентификационный номер (Пример: *Hex: 106EVA460000030*). Этим номером оперирует модуль коммутации и индикации, обращаясь последовательно к каждому чувствительному элементу и получая от него измеренную температуру. Для сообщения модулю коммутации и индикации идентификационных номеров чувствительных элементов и создан этот режим.

Для перехода в режим определения количества термочувствительных элементов модулей термоподвесок и чтение их уникального кода с последующей записью в память системы необходимо нажать одновременно клавиши РЕГ + 2. После нажатия клавиш на ЖКИ появится приглашение ввести пароль доступа.

На ЖКИ непрерывно выводится номер модуля термоподвески и количество чувствительных элементов, обнаруженных модулем коммутации и индикации. Для выбора номера модуля термоподвески необходимо пользоваться клавишами Т,

Данный режим предоставляет следующие функции:

- клавиша 1 - сортировка чувствительных элементов внутри модуля термоподвески (\*\*\*\*\*);

- клавиша 2 - просмотр ГО чувствительных элементов выбранного модуля термоподвески (просматриваются подключенные в данный момент чувствительные элементы);

- клавиша 3 - чтение номеров рядов и ГО подключенных чувствительных элементов в выбранном модуле термоподвески, сортировка по номерам рядов и запись в память модуля коммутации и индикации ГО чувствительных элементов после сортировки;

- клавиша 4 - чтение номеров рядов и ГО подключенных чувствительных элементов во всех модулях термоподвесок, подключенных к модулю коммутации и индикации, сортировка по номерам рядов и запись в память модуля коммутации и индикации ГО чувствительных элементов после сортировки.

Учебное издание

**Якубовская** Елена Степановна, **Волкова** Елена Сергеевна,  
**Солдатенко** Алексей Анатольевич

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО  
ПРОИЗВОДСТВА

*Лабораторный практикум*

Ответственный за выпуск *О. Ч. Ролич*  
Редактор *Т. В. Каркоцкая*  
Компьютерная верстка *А. И. Стебуля*

Подписано в печать 06.06.2011 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Ризография. Усл. печ. л. 11,39. Уч.-изд. л. 9,01. Тираж 160 экз. Заказ 550.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.  
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.  
Пр-т Независимости, 99-2, 220023, Минск.