

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра автоматизированных систем управления производством

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по образованию в области сельского хозяйства
в качестве учебно-методического пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по специальности
1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение
сельского хозяйства (по направлениям)»*

Минск
БГАТУ
2012

УДК 631.171(07)
ББК 40.7я7
А49

Составители:
старший преподаватель *Е. С. Якубовская*;
старший преподаватель *Е. С. Волкова*

Рецензенты:
кандидат технических наук,
доцент кафедры автоматизации производственных процессов
и электротехники БГАТУ *О. Г. Барашко*;
главный специалист ОАО «Институт
БЕЛГИПРОАГРОПИЩЕПРОМ» *С. С. Войтович*

Автоматизация технологических процессов : учебно-
A49 методическое пособие / сост.: *Е. С. Якубовская*,
Е. С. Волкова. – Минск : БГАТУ, 2012. – 132 с.
ISBN 978-985-519-473-7.

Учебно-методическое пособие содержит указания по подготовке к тестированию, краткий теоретический материал, примеры тестовых заданий и список необходимой литературы.

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

УДК 631.171(07)
ББК 40.7я7

ISBN 978-985-519-473-7

© БГАТУ, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5	3.4.3. Идентификация характеристик объекта управления.....	54
1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ».....	7	3.4.4. Выбор принципа автоматического регулирования.....	59
2. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ.....	11	3.4.5. Выбор закона регулирования.....	63
3. КРАТКИЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ ПО ВОПРОСАМ ТЕСТИРОВАНИЯ.....	13	3.5. Настройка регуляторов.....	69
3.1. Системы автоматизации ТП. Технологические основы автоматизации.....	13	3.5.1. Настройка регуляторов непрерывного действия.....	69
3.1.1. Понятие об автоматизации технологических процессов.....	13	3.5.2. Настройка позиционных регуляторов.....	76
3.1.2. Особенности автоматизации сельскохозяйственного производства.....	15	4. УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ТЕСТИРОВАНИЮ.....	82
3.2. Характеристика технологических процессов сельскохозяйственного производства. Классификация систем автоматического регулирования.....	18	4.1. Теоретический блок.....	82
3.2.1. Понятие системы. Классификация автоматизированных систем управления.....	18	4.2. Примеры тестовых заданий по теоретическому блоку.....	84
3.2.2. Классификация типовых технологических процессов как объектов автоматизации.....	20	4.3. Указания по выполнению заданий практического блока.....	90
3.2.3. Структура САУ поточных технологических линий (ПТЛ).....	25	ГЛОССАРИЙ.....	101
3.3. Документация проекта автоматизации ТП.....	28	ЛИТЕРАТУРА.....	106
3.4. Инженерные методы синтеза систем автоматического регулирования.....	30	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	107
3.4.1. Технологическая установка как объект автоматизации.....	30		
3.4.2. Динамические свойства объекта автоматизации.....	35		

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.

Задачи дисциплины:

- ознакомление с состоянием, основными понятиями, определениями автоматизации технологических процессов;
- изучение технологической структуры сельскохозяйственного производства и классификации технологических процессов;
- выработка навыков составления алгоритма функционирования технологических процессов и выбора автоматических устройств;
- освоение методов схемной реализации устройств управления, контроля и сигнализации технологического процесса, а также решения вопросов размещения приборов и аппаратуры на щитах, пультах, непосредственно у агрегатов и их соединений.

Подготовка специалиста в рамках дисциплины «Автоматизация технологических процессов» должна обеспечить формирование следующих групп компетенций:

- *академических*, включающих владение базовыми научно-теоретическими знаниями и умение применять их для решения теоретических и практических задач в области проектирования, монтажа, наладки, ремонта, технического обслуживания систем автоматического и автоматизированного управления технологическими процессами и производствами сельскохозяйственного назначения; владение методами научного познания, современными методами поиска, обработки и использования информации;

- *социально-личностных*, включающих культурно-ценностные ориентации, знание идеологических, нравственных ценностей общества и государства и умение следовать им;

- *профессиональных*, включающих умение решать задачи автоматизации действующих и создания автоматизированных технологий, их внедрения в производство; способность разрабатывать мероприятия по энергосбережению и организации их выполнения.

В результате изучения дисциплины *студент должен знать:*

- состояние, уровень и перспективы автоматизации технологических процессов сельскохозяйственного производства;
- технологическую структуру и классификацию сельскохозяйственного производства;
- устройство и принцип действия автоматизированных технологических установок.

Студент должен уметь:

- устанавливать законы функционирования автоматизированных технологических линий;
- синтезировать системы автоматического управления технологическими процессами экономически целесообразного уровня;
- реализовать техническое решение в проекте автоматизации.

Студенты заочной формы обучения изучают дисциплину на протяжении 9-го, 10-го и 11-го семестров.

В девятом семестре студенты знакомятся с дисциплиной в ходе обзорной лекции на тему «Системы автоматизации технологических процессов».

В 10-м семестре два лекционных занятия на тему «Характеристика современного сельскохозяйственного производства как объекта автоматизации», два практических занятия: «Разработка алгоритма управления систем автоматического управления технологическими процессами» и «Разработка структуры управления системы автоматического управления технологическими процессами». Кроме того, в данном семестре необходимо пройти тестирование по материалу разделов 1–3 (см. содержание дисциплины) и материалу практических заданий. Для прохождения тестирования требуется тщательная подготовка. Поэтому в данной методической разработке содержатся указания по подготовке к тестированию, краткий теоретический материал и примеры тестовых заданий. При успешном прохождении тестирования студент допускается к сдаче зачета, которым завершается обучение в данном семестре.

В 11-м семестре переходят к изучению типовых решений автоматизации технологических процессов, примеры которых рассматривают на лекционных занятиях (4 часа) и изучают в ходе лабораторных работ (8 часов). Завершается изучение дисциплины экзаменом.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»

Материал дисциплины включает 4 раздела [1], содержание которых раскрыто ниже.

Раздел 1. Системы автоматизации технологических процессов

1.1. Понятие системы. Классификация систем автоматизации

Основные понятия и классификация систем автоматизации. Краткая характеристика автоматизированных систем управления производством, автоматизированных систем управления технологическими процессами и систем автоматизированного управления технологическими процессами. Структура и особенности систем автоматизированного управления технологическими процессами сельскохозяйственного производства. Виды автоматизации (автоматический контроль, защита и управление).

1.2. Классификация процессов и объектов автоматизации

Общие сведения о сельскохозяйственных технологических процессах. Производственный процесс. Технологический процесс, технологическая операция.

Особенности автоматизации сельскохозяйственного производства.

Значение и признаки классификации объектов автоматизации. Классификация по типу технологических процессов, по технологическому и транспортному движениям, по динамическим характеристикам, по технологическому циклу, по агрегатному состоянию обрабатываемого материала.

1.3. Технологические требования к системам автоматического управления технологическими процессами. Источники технико-экономической эффективности автоматизации технологических процессов

Раздел 2. Документация проекта автоматизации технологических процессов

2.1. Содержание проекта автоматизации. Схемы автоматизации

Назначение проекта автоматизации и задачи проектирования. Стадии проектирования и состав проектной документации систем автоматизации. Требования к основной документации проекта автоматизации.

Назначение, порядок разработки, основные требования, методы разработки схем автоматизации.

2.2. Принципиальные электрические схемы систем автоматизации

Назначение, способы разработки, основные требования, примеры.

2.3. Щиты управления. Схемы соединений внешних электрических и трубных проводок

Назначение и классификация щитов автоматики. Состав документации и основные требования к ней. Схемы соединений внешних электрических и трубных проводок. Чертежи расположения оборудования и проводок.

Раздел 3. Разработка систем автоматического управления технологическими процессами. Инженерные методы синтеза систем автоматического регулирования

3.1. Характеристика технологических процессов сельскохозяйственного производства. Классификация систем автоматического регулирования

Исходная информация о технологических процессах как объектах управления. Информационные параметры.

Технологические установки (простые технологические процессы) как объекты автоматизации.

Сложные и простые технологические процессы, их характеристика.

Статические и динамические характеристики технологических установок.

3.2. Понятие синтеза. Разработка систем автоматического управления поточными технологическими линиями

Этапы синтеза систем автоматического управления технологическими процессами. Математические модели процессов.

Методика разработки алгоритма управления технологическими процессами. Проверка алгоритма.

Методика разработки структуры управления. Основные законы алгебры логики. Разработка релейно-контактных и бесконтактных логических схем систем автоматизированного управления технологическими процессами.

Принцип работы программируемых логических контроллеров и схемы их подключения. Настройка программируемых логических контроллеров и реализация структуры управления на языке функциональных блочных диаграмм и релейно-контактных схем.

3.3. Инженерные методы синтеза систем автоматического регулирования

Контур регулирования (датчик, регулирующий прибор, исполнительное устройство). Возмущающие воздействия и выбор способа

управления технологическими установками. Формирование требований к качественным показателям регулирования. Формирование структуры систем регулирования. Определение принципа регулирования. Выбор закона регулирования.

3.4. Настройка регуляторов дискретного действия

Параметры настройки. Расчет параметров настройки регуляторов в автоматизированных системах регулирования.

3.5. Настройка регуляторов непрерывного действия

Основные параметры настройки и их расчет. Формирование структуры систем непрерывного регулирования. Общая характеристика методов настройки регуляторов непрерывного действия. Методика настройки. Настройка аналоговых регуляторов непрерывного действия. Особенности настройки цифровых регуляторов непрерывного действия.

Раздел 4. Автоматизация типовых технологических процессов

4.1. Автоматика в мобильных сельхозмашинах

Особенности автоматизации мобильных агрегатов. Основные технические решения автоматизации мобильных агрегатов. Автоматизация вождения. Системы автоматического регулирования рабочими органами мобильных сельхозмашин.

4.2. Автоматизация послеуборочной обработки зерна

Объем автоматизации бункеров активного вентилирования, пунктов послеуборочной обработки зерна и зерновых культур. Параметры регулирования и управления. Математическая модель процесса сушки. Основные решения автоматизации процессов послеуборочной обработки зерновых культур.

4.3. Автоматизация хранения сельскохозяйственной продукции

Автоматизация в хранилищах сельскохозяйственной продукции. Технологические основы хранения продукции. Статические и динамические характеристики хранилища как объекта управления. Системы автоматического управления микроклиматом в хранилище. Автоматизация учета, контроля и сортирования продукции.

4.4. Автоматизация кормопроизводства

Автоматизированные агрегаты для сушки, измельчения, гранулирования и брикетирования кормов. Автоматизация приготовления и внутрихозяйственной доработки комбикормов, технологических процессов термовлажностной обработки кормов и приготовления кормосмесей в кормоцехах. Автоматический контроль и учет движения кормов.

4.5. Автоматизация раздачи корма

Способы раздачи корма животным и птице. Технологические требования к системе управления кормораздаточными устройствами.

Автоматизированные кормораздатчики для крупного рогатого скота, свиней, птицы.

4.6. Автоматизация доения

Автоматические установки для доения коров и первичной обработки молока.

4.7. Автоматизация микроклимата в помещениях

Требования к автоматизированным системам управления микроклиматом в животноводческих помещениях и птичниках. Технологические основы регулирования микроклимата в животноводстве и птицеводстве. Статические и динамические характеристики объекта автоматизации. Системы воздухообмена. Автоматизированные установки приточной и вытяжной вентиляции.

4.8. Автоматизация уборки навоза и помета из помещений

Установки уборки навоза и помета из помещений. Объем автоматизации и основные технические решения.

4.9. Автоматизация энерго- и теплоснабжения

Автоматизация установок подогрева воды и производства пара. Автоматизация теплогенераторов. Автоматизация котлоагрегатов, котлов на тепличных комбинатах. Автоматизированные холодильные установки.

4.10. Автоматизация инкубации птицы

Автоматизированные инкубаторы. Объем автоматизации и основные технические решения.

4.11. Автоматизация процессов в сооружениях защищенного грунта

Особенности парников и теплиц как объектов управления параметрами микроклимата. Возмущающие факторы (изменение солнечной радиации, температуры и влажности наружного воздуха, жизнедеятельность растений). Автоматизированные установки обеспечения микроклимата в теплицах.

Почва как объект управления с распределенными параметрами регулирования температуры, влажности и солесодержания. Автоматизация полива, приготовления и внесения растворов минеральных удобрений, подкормки растений углекислым газом, досвечивания.

Комплектное электрооборудование для автоматизации в ангарных и блочных грунтовых теплицах.

4.12. Автоматизация переработки продукции

Автоматические поточные линии для консервации овощей и фруктов.

Автоматизация на молочных заводах.

Варианты заданий практического блока

Начальная буква фамилии	Последняя цифра шифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
А, Б, В, Г	а, 1	б, 2	в, 3	г, 4	д, 5	е, 6	ж, 7	з, 8	и, 9	к, 10
Д, Е, Ж, З	л, 11	м, 12	н, 13	о, 14	п, 15	р, 16	с, 17	т, 18	у, 19	ф, 20
И, К, Л, М	х, 21	ц, 22	ч, 23	ш, 24	щ, 25	э, 25	ю, 24	я, 23	а, 22	б, 21
Н, О, П, Р	в, 20	г, 19	д, 18	е, 17	ж, 16	з, 15	и, 14	к, 13	л, 12	м, 11
С, Т, У, Ф	н, 10	о, 9	п, 8	р, 7	с, 6	т, 5	у, 4	ф, 3	х, 2	ц, 1
Х, Ц, Ч, Ш	ч, 1	ш, 2	щ, 3	э, 4	ю, 5	я, 6	а, 7	б, 8	в, 9	г, 10
Щ, Э, Ю, Я	д, 11	е, 12	ж, 13	з, 14	и, 15	к, 16	л, 17	м, 18	н, 19	о, 20

2. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ

Тестирование проводится в два этапа: контроль теоретического и практического блока. Теоретический блок охватывает материал трех первых разделов дисциплины. Контроль теоретического блока проводится в среде Moodle. Практический блок включает два задания: разработка контура управления на схеме автоматизации (варианты а–я задания – прил. 1) и перевод структуры управления в принципиальную электрическую схему управления (варианты 1–25 задания – прил. 2). Оценка в целом по тестированию определяется как среднеарифметическое результатов контроля двух блоков. Тестирование считается пройденным, если оценка выше 4-х. Зачет в 10-м семестре может быть получен автоматически, если результат тестирования – 7 и выше, иначе студент сдает зачет по зачетной карточке-заданию.

На контроль теоретического блока отводится 20 минут. Для прохождения контроля студент заходит в среду тестирования Moodle по адресу: moodle.batu.edu.by. Здесь необходимо зарегистрироваться, выбрав категорию пользователя и введя пароль (номер зачетной книжки). Далее необходимо выбрать название дисциплины и пройти тест. Будьте внимательны, некоторые вопросы содержат несколько вариантов ответов! По окончании работы с тестовым заданием автоматически выставляется оценка. В случае неудовлетворительной оценки повторное тестирование можно пройти только через 2 дня.

Задания практического блока студент получает на установочной сессии (9-й семестр) и должен предоставить выполненное задание преподавателю к моменту контроля в 10-м семестре (группа делится на две подгруппы: одна проходит тестирование по теоретическому блоку, вторая в это время представляет преподавателю для контроля вторую часть задания; затем подгруппы меняются местами). Варианты заданий практического блока определяются в соответствии с табл. 1. Оформляют выполненное задание на листах формата А4. Титульный лист приведен в прил. 3. Схемы выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ. Основную надпись при этом допускается не выполнять. Элементы чертежей выполняют по размерам и требованиям соответствующих ГОСТ.

3. КРАТКИЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ ПО ВОПРОСАМ ТЕСТИРОВАНИЯ

3.1. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТП. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

3.1.1. Понятие об автоматизации технологических процессов

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

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

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

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

Автоматическая сигнализация предназначена для оповещения обслуживающего персонала о предельных или аварийных значениях каких-либо физических параметров, о месте и характере нарушений технологического процесса (ТП). По характеру сигнала она может быть световая, звуковая, смешанная. Световая сигнализация может осуществляться ровным или мигающим светом, горением сигнальных ламп неполным накалом, световыми указателями различных цветов. Звуковая сигнализация может отличаться по тембру звукового сигнала (звонок, гудок, сирена и т. д.).

В случаях появления ненормальных, но пока еще допустимых значений контролируемых или регулируемых величин, нарушениях нормального режима работы отдельных агрегатов или всей установки в целом используется предупредительная сигнализация

(рис. 1), которая указывает обслуживающему персоналу на необходимость принятия определенных мер для устранения возникающих неисправностей.

Предупредительная сигнализация обычно выполняется индивидуально в виде табло или транспаранта, загорающегося при подаче сигнала, определяющего характер и место возникновения ненормального режима, а также в виде общего для щита управления звукового сигнала, предназначенного для привлечения внимания эксплуатационного персонала.

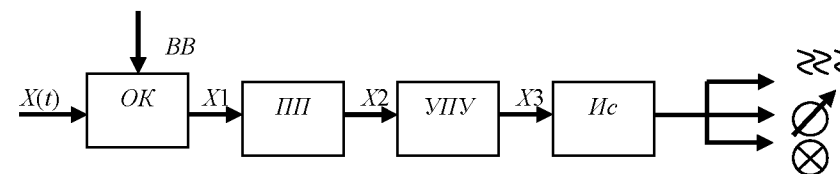


Рис. 1. Унифицированная схема предупредительной сигнализации:
ОК – объект контроля; ПП – первичный преобразователь; УПУ – усилительно-преобразовательное устройство; ИС – индикатор (сигнализатор)

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

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

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

Автоматическая защита представляет собой совокупность технических средств, которые при возникновении ненормальных и аварийных режимов прекращают контролируемый производственный процесс (рис. 2). Первичный преобразователь преобразует контролируемый параметр X_1 в сигнал X_2 , который усиливается в усилительно-преобразовательном устройстве до величины X_3 и подается на исполнительное устройство (ИУ). Сигнал X_4 ИУ

используется для отключения кинематического или энергетического привода объекта защиты. Автоматическая защита тесно связана с автоматическим управлением и сигнализацией. Она воздействует на органы управления и оповещает обслуживающий персонал об осуществленной операции.

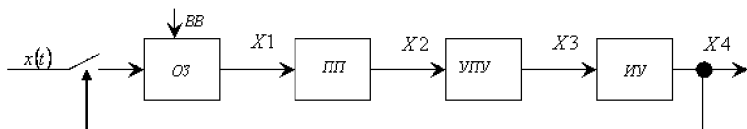


Рис. 2. Унифицированная схема автоматической защиты:

ОЗ – объект защиты; ПП – первичный преобразователь; УПУ – усилительно-преобразовательное устройство; ИУ – исполнительное устройство; ВВ – возмущающее воздействие

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

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

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

Объем автоматизации – совокупность технических средств автоматического управления, контроля, сигнализации и защиты, обеспечивающих нормальное функционирование объекта автоматизации.

Уровень автоматизации – оптимальное распределение функций между человеком и автоматическими устройствами; определяется на стадии разработки технического проекта автоматизации ТП.

3.1.2. Особенности автоматизации сельскохозяйственного производства

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

продукции, увеличить сроки службы сельскохозяйственной техники и повысить эффективность общественного производства.

Опыт автоматизации промышленности показывает, что степень автоматизации можно определить по капитальным вложениям на средства автоматизации. Так, при *частичной автоматизации*, которая распространяется на отдельные производственные операции и установки и не освобождает человека от участия в производственном процессе, а только облегчает его труд, затраты на средства автоматизации составляют от 1 до 10 % капитальных вложений на установку в целом; при *комплексной автоматизации*, когда функции человека сводятся к наблюдению за ходом процесса, его анализа и изменению режима работы автоматических устройств с целью достижения наилучших технико-экономических показателей, – от 10 до 25 % и при *полной автоматизации*, когда за обслуживающим персоналом остаются функции периодического осмотра, профилактического ремонта и перестройки всей системы на новые режимы работы, – выше 25 %.

Автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства в своем становлении опирается на большой опыт, накопленный в отраслях промышленности. Вместе с тем характерные особенности сельскохозяйственного производства обуславливают целый ряд специфических проблем, с решением которых сталкиваются специалисты при выборе методов и средств сельской автоматизации, что и объясняет, в определенной мере, низкий уровень его автоматизации.

При разработке систем автоматизации учитываются основные особенности сельскохозяйственного производства.

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

Во-вторых, поскольку основные технологические процессы сельскохозяйственного производства тесно связаны с биологическими процессами, прервать (остановить) которые даже временно нельзя,

то сбой с естественного (биологического) ритма приводят не только к невыполнению программы (как на промышленном предприятии), но и к порче живых объектов (животных, птиц, растений), к снижению их продуктивности, а иногда и к их гибели.

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

В связи с указанными особенностями по-особому должна оцениваться ожидаемая эффективность автоматизации сельскохозяйственных процессов. Если в промышленном производстве эффективность автоматизации оценивается прежде всего повышением производительности труда, улучшением качества продукции и (иногда) повышением безопасности работы обслуживающего персонала, то, например, в животноводстве и птицеводстве наряду с этим при оценке автоматизации немаловажным критерием является улучшение зоотехнических условий содержания животных (птиц), что также способствует повышению их продуктивности.

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

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

влажности, жирности, содержания протеина и солей, маслянистости и сахаристости, спелости и зрелости, состава и т. д., зоотехнических и физиологических параметров сельскохозяйственных животных и птицы, биологических и посевных показателей семян, степени зараженности болезнями и др.

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

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

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

3.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

3.2.1. Понятие системы. Классификация автоматизированных систем управления

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

Под системой (рис. 3) мы будем понимать некоторую сущность, состоящую из многих компонентов, которая реагирует на воздействия внешней среды. Система способна воспринимать информацию из внешней среды, перерабатывать ее по некоторым ей свойственным алгоритмам и, в свою очередь, оказывать воздействие

на внешнюю среду. Для связи с внешним миром у системы имеются входы и выходы.

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

Примером естественной системы может служить человек или животное. Система «человек» получает информацию через органы чувств, т. е. через органы зрения, обоняния, осязания, вкуса, слуха. Способность системы разговаривать, писать, двигаться обеспечивает выход информации.

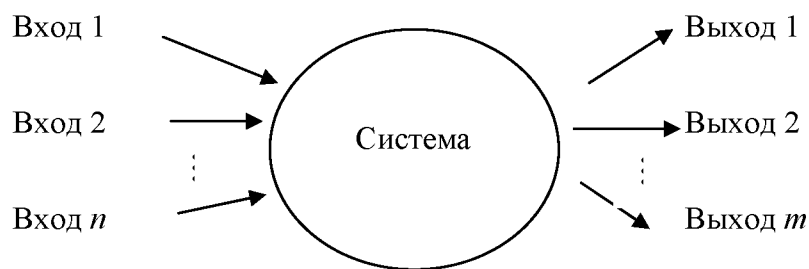


Рис. 3. Обобщенная схема системы

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

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

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

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

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

САУ ТП представляет собой совокупность автоматических управляющих устройств и управляемого объекта, взаимодействующих друг с другом без непосредственного участия человека. САУ ТП – технические устройства, непосредственно выполняющие заданный алгоритм функционирования установок действующих независимо друг от друга. Они находятся на самой низкой ступени иерархической лестницы системы управления, на средней ступени находятся АСУ ТП и на более высокой АСУП.

АСУ подразделяют на автоматизированные и автоматические.

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

Система автоматическая – совокупность управляемого объекта, измерительной и управляющей аппаратуры, в которой (в отличие от системы автоматизированной) получение, преобразование и передача информации, формирование управляющих команд и их использование для воздействия на управляемый процесс осуществляется автоматически, без участия человека.

3.2.2. Классификация типовых технологических процессов как объектов автоматизации

Сельскохозяйственное производство включает в себя ряд крупных отраслей: полеводство, животноводство и т. д. Такое деление условно, но все-таки в определенной степени характеризует содержание отрасли и охватывает его структуру. Под структурой отрасли следует понимать те производственные процессы и операции, которые ее составляют. В полеводстве – это возделывание и уборка зерна, свеклы и т. д.; в животноводстве – уход за животными, кормление и т. д.

Производственный процесс, то есть совокупность технологических процессов, направленных на создание конечного продукта,

берут за основу при разработке систем автоматики. Технологический процесс представляет собой совокупность организованных воздействий на предмет производства с целью придания ему новых, обусловленных потребительскими требованиями, свойств и качеств. Структура технологического объекта управления может быть представлена в виде совокупности производственных звеньев, связанных между собой материальными потоками. Как правило, звенья обработки чередуются со звеньями хранения, связанными звеньями транспортировки. Производственное звено (технологическая операция) представляет собой любое механическое или физико-химическое воздействие на продукт или преобразование одних продуктов в другие.

При разработке автоматизированных систем управления технологическим процессом наиболее ответственным этапом является разработка эффективного варианта технологического процесса с одновременной проработкой варианта автоматизации. В связи с этим актуальным является типизация, универсализация и даже стандартизация технологических процессов и техники.

Облегчить определение объема автоматизации, а также разработку типового варианта автоматизации позволяет классификация сельскохозяйственных объектов. Исходя из задач проектирования систем автоматизации, сельскохозяйственные объекты принято классифицировать по пяти существенным признакам: по типу технологического процесса, взаимосвязи технологического и транспортного движений, технологическому циклу, по динамическим свойствам и агрегатному состоянию обрабатываемого материала.

Классификация по типу технологического процесса приведена в табл. 2.

Таблица 2

Классификация по типу технологических процессов

Способ воздействия	Наименование технологической операции	Наименование технологической установки
Механический	Транспортирование	Транспортеры, элеваторы, водо- и газопроводы, вытяжные трубы
	Сортирование, очистка	Триеры, калибровочные и зерноочистительные машины
	Смешивание	Смесители, питатели, дозаторы, весы

Продолжение таблицы 2

Способ воздействия	Наименование технологической операции	Наименование технологической установки
	Измельчение	Дробилки, мельницы
	Резание	Плуги, культиваторы, соломо- и силосорезки, стригальные машины
	Сжатие, разряжение	Компрессоры, вакуумные установки
	Раздача корма	Кормораздатчики
	Дозирование	Весы, питатели
	Гранулирование, брикетирование	Грануляторы, прессы
Тепловой	Нагревание	Теплогенераторы, электрокалориферы, водонагреватели, электропечи, котлы, сушилки, запарники
	Охлаждение	Холодильники и вентиляционные установки, конденсаторы
Электрический	Освещение	Лампы накаливания, люминисцентные лампы, прожекторы
	Облучение	Ультрафиолетовые, инфракрасные и бактерицидные установки
	Электротехнологические	Электроочистительные машины, стимуляторы роста, пастеризаторы, дезинсекторы, электролиз
	Электроснабжение	Генераторы, преобразователи, электродвигатели
Гидравлический	Мойка	Корнеклубнемойки, моечные установки
	Разделение	Молочные сепараторы, маслоизготовители
	Перемещение	Насосные и дождевальные установки, водокачки, гидротараны
Биологический	Дрожжевание	Опарные котлы, смесители, чаны
	Фотосинтезирование	Установки дополнительного освещения
	Агрообслуживание	Приборы агроконтроля семян и растений

Способ воздействия	Наименование технологической операции	Наименование технологической установки
Химический	Окисление	Установки горения и обжига
	Силосование	Силосование кормов, засолка, маринование, квашение
	Химобработка	Обработка грубых кормов, очистка деталей и материалов

Приведенное в табл. 2 деление технологических процессов отражает основное определяющее явление в объекте, в котором могут одновременно протекать и другие процессы. Данная классификация дает возможность разработать общий подход к решению задачи автоматизации всего класса объектов.

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

По взаимосвязи технологического и транспортного движений различают объекты с несовмещенным движением (когда одни установки предназначены только для транспортировки материала без его обработки, а другие осуществляют его обработку; например, транспортеры, нории, вентиляторы; характеризуются низкой степенью экономической эффективности автоматизации); с совмещенным движением (когда обработка или переработка материалов происходит во время их транспортирования, например, дробилки, пастеризаторы; автоматизация позволяет существенно повысить производительность и обеспечить оптимальные режимы работы); с независимым движением (когда транспортное движение может быть сделано во время обработки, а технологическое – совершено во время транспортировки; например, физиологические процессы у животных и растений).

По технологическому циклу различают непрерывные, дискретные и дискретно-непрерывные технологические процессы, объекты подразделяют на прямоточные с промежуточными емкостями, с самовыравниванием и без него.

К непрерывным относятся процессы, в которых материальные потоки на входе и выходе производственных звеньев непрерывны во времени. Параметры, характеризующие непрерывные процессы, как правило, являются непрерывными физическими величинами: температура, давление, расход вещества или энергии и т. п. Для непрерывных технологических процессов используют специализированное оборудование в виде агрегатов, предназначенных для выпуска однородной продукции. По классификации непрерывные технологические процессы относятся к классу простых процессов.

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

В дискретно-непрерывных технологических процессах материальные потоки изменяются во времени дискретно-непрерывно. Обработка входных продуктов осуществляется последовательно-параллельно на специализированном технологическом оборудовании. На каждой технологической установке выполняется один вид операций. Производительности установок согласованы в едином технологическом потоке. Модели и алгоритмы управления дискретно-непрерывными технологическими процессами базируются на методах алгебры релейных цепей.

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

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

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

Функционирование технологического объекта состоит в изменении состояния звеньев обработки и транспортировки (переход с одной операции на другую) и изменении состояния звеньев хранения (изменение количества продуктов, хранящихся в них). Изменение состояния звеньев производится с помощью рабочих органов, управляющие сигналы на которые поступают с устройства управления.

Для автоматического управления объектом важно знать его динамические свойства, которые существенно влияют на устойчивость и качество регулирования. По динамическим свойствам объекты разделяют на 6 основных типов: безынерционные; аperiodические (1-го и 2-го порядка); колебательные; дифференцирующие; интегральные; с запаздыванием.

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

3.2.3. Структура САУ поточных технологических линий (ПТЛ)

Структурная (конструктивная) схема САУ ТП представлена на рис. 4.

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

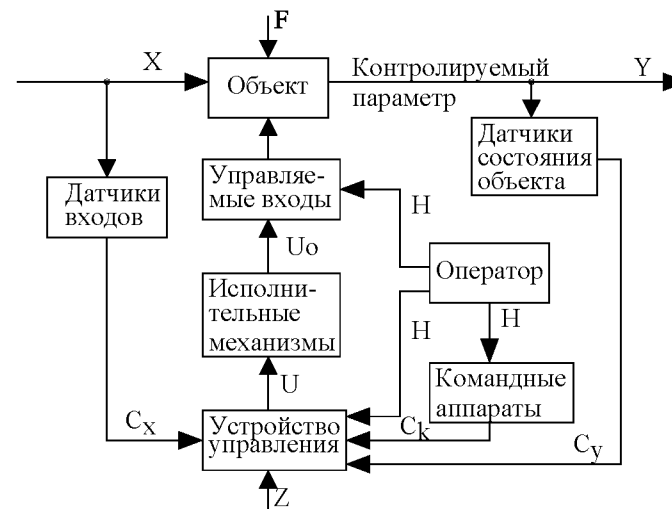


Рис. 4. Обобщенная схема системы автоматического управления:
 X – входы объекта; Y – состояние объекта; U_0 – управляющие воздействия;
 U – информация об управляющих воздействиях; H – ручное воздействие;
 C_x, C_y – множество сигналов от датчиков, измеряющих входы объекта и его состояние; C_k – сигналы, формируемые командными аппаратами;
 Z – цель управления

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

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

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

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

Устройство управления – обеспечивает координацию действий всех устройств системы автоматического управления (САУ) в соответствии с алгоритмом. Устройство управления может быть разработано на релейно-контактных схемах (РКС), на бесконтактных логических элементах, а также в качестве устройства управления может быть использован логический контроллер.

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

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

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

К функциональным обязанностям оператора при обслуживании САУ ТП относятся: проведение технического обслуживания приборов и средств автоматизации; изменение уставок регулирующих приборов и программных устройств в соответствии с корректировкой хода производственного процесса; настройка режимов работы регулирующих органов на регулируемых входах объекта; выполнение роли звена системы регулирования (при отсутствии регулятора);

осуществление пуска и остановки системы (в соответствии с требованиями к САУ ТП).

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

3.3. ДОКУМЕНТАЦИЯ ПРОЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ ТП

Задачи, которые решаются при автоматизации процессов современного сельскохозяйственного производства требуют от специалистов как знаний принципов построения и функционирования приборов автоматизации, методов построения систем автоматического управления, так и овладения общим техническим языком, посредством которого можно четко и однозначно обмениваться разработками в области автоматизации технологических процессов. Это значит, что логически продуманная и технически обоснованная система автоматизации определенного технологического процесса должна быть представлена на языке, одинаково понятном для специалистов, занимающихся вопросами монтажа, наладки и эксплуатации систем автоматизации. При этом у всех специалистов должно быть единым понимание создаваемой системы автоматизации в части ее приборного оснащения, реализации алгоритмов управления и заданных законов регулирования, способов монтажа приборов и средств автоматизации, прокладки импульсных и командных линий и линий питания.

Каким же образом достичь этого однозначного взаимопонимания без непосредственного участия, например, разработчиков системы в монтажных работах или монтажников в процессе эксплуатации? Такое взаимопонимание обеспечивается посредством специально разрабатываемой технической документации, которая называется проектом автоматизации технологического процесса.

В зависимости от сложности и новизны технологического процесса и оборудования, принципов организации производства системы автоматизации могут проектироваться в одну или две стадии. При разработке систем автоматизации технологических процессов несложных объектов или по существующим прототипам проектирование выполняется в одну стадию – так называемый архитектурно-строительный проект. Для остальных, более сложных объектов, проектирование систем автоматизации технологических процессов выполняется в две стадии: архитектурный и строительный проект.

Проекты систем автоматизации технологических процессов выполняются в соответствии с заданием на проектирование.

Исходными данными для выполнения проектов систем автоматизации являются технологические схемы с характеристиками оборудования и трубопроводами, перечни контролируемых и регулируемых параметров с необходимыми требованиями, характеристиками и величинами и чертежи производственных помещений с расположением технологического оборудования.

Состав проектных материалов систем автоматизации технологических процессов на различных стадиях проектирования различен.

На стадии архитектурного проекта, предусматривающего разработку документации с целью выявления технической возможности и экономической целесообразности автоматизации данного технологического участка, определяются уровень и объем автоматизации, принципы ее осуществления и структура, экономическая эффективность. Все основные технические и экономические вопросы решаются укрупнено, без особой детализации с общими принципиальными выводами о возможности и целесообразности автоматизации.

В состав проектных материалов этой стадии входят: структурная схема управления и контроля, которая разрабатывается для сложных систем управления; схема автоматизации технологического процесса; планы расположения щитов и пультов; ведомости приборов и средств автоматизации; электроаппаратуры, щитов и пультов, трубопроводной арматуры, основных монтажных материалов и изделий; сметы на приобретение и монтаж технических средств автоматизации; пояснительная записка.

На стадии строительного проекта предусматривается разработка рабочей документации, целью которой является обеспечение проведения монтажно-наладочных работ. Уровень и объем автоматизации, предусмотренные в рабочих чертежах, должны полностью соответствовать уровню и объему автоматизации, принятым в утвержденном архитектурном проекте.

В состав строительного проекта систем автоматизации согласно ГОСТ 21.408–93 включают:

- рабочие чертежи, предназначенные для производства работ по монтажу технических средств автоматизации;
- эскизные чертежи общих видов нетиповых средств автоматизации;
- спецификацию оборудования, изделий и материалов;
- пояснительную записку.

Основной комплект рабочих чертежей систем автоматизации в общем случае содержит:

- общие данные по рабочим чертежам;
- схемы автоматизации;
- схемы принципиальные (электрические, гидравлические, пневматические схемы контроля, автоматического регулирования, управления, сигнализации и питания);
- схемы (таблицы) соединений и подключений внешних проводок;
- чертежи расположения оборудования и внешних проводок;
- чертежи установок средств автоматизации.

На стадии архитектурно-строительного проекта, разрабатываемого для несложных объектов или по существующим прототипам, проектные материалы объединяют цели и задачи, стоящие на стадиях архитектурного и строительного проекта.

Все графические материалы, входящие в состав проектной документации систем автоматизации технологических процессов, выполняются согласно действующим ГОСТам, обеспечивающим единообразие проектной документации и облегчающим ее чтение и использование при проведении монтажных работ и в процессе эксплуатации системы.

3.4. ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

3.4.1. Технологическая установка как объект автоматизации

Система автоматизированного регулирования – это САУ с замкнутой цепью воздействия, в которой управляющее воздействие x , вырабатывается в результате сравнения истинного значения управляемой переменной $y(t)$ с ее предписанным (заданным – $y_{зд}$) значением.

Регуляторы применяются для регулирования одного или соотношения двух параметров технологического процесса.

Технологическая установка как объект автоматизации (ОА) – это реальная технологическая установка, функционирование которой характеризуется некоторыми показателями качества – технологическими параметрами, являющимися выходными координатами Y , а также искусственно создаваемыми входными воздействиями X прямо или косвенно влияющими на состояние параметра.

Простейшие объекты автоматизации имеют одну выходную величину Y и, соответственно, одно входное воздействие X . Например, у водонагревателя-термоса (рис. 5, а) выходной величиной (параметром) является

температура воды $\theta_{в}$, а управляющим воздействием – электрическое напряжение U_c , подаваемое на электронагреватели.

К простым можно отнести также технологические установки с несколькими входными и выходными координатами, если между этими координатами не существует функциональных взаимозависимостей. Такой объект можно рассматривать как несколько простейших по соответствующим параметрам и каналам входных воздействий. Например, в свинарнике при смешивании комбикорма с водой и другими добавками вполне допустимо процессы заполнения смесителя водой, комбикормом и т. д. рассматривать отдельно (рис. 5, б). Простые объекты могут иметь также несколько входных и одну выходную координату (рис. 5, в), например, у мобильного кормораздатчика (рис. 5) параметром является количество корма q , загружаемого в кормушку, а входными воздействиями являются скорость передвижения кормораздатчика вдоль кормушек V и производительность выгрузного устройства Q .

И, наконец, сложные объекты с несколькими взаимосвязанными структурами входных и выходных координат требуют учета взаимного влияния смежных воздействий и параметров. Например, при регулировании микроклимата вентиляция влияет не только на концентрацию газов CO_2 , NH_3 , H_2S в помещении, но и на температуру и влажность (рис. 5, з).

Обобщенные координаты ОА связаны между собой функциональной зависимостью. Объект регулирования может находиться в состоянии равновесия при условии равенства поступления в объект и выхода из него вещества или энергии.

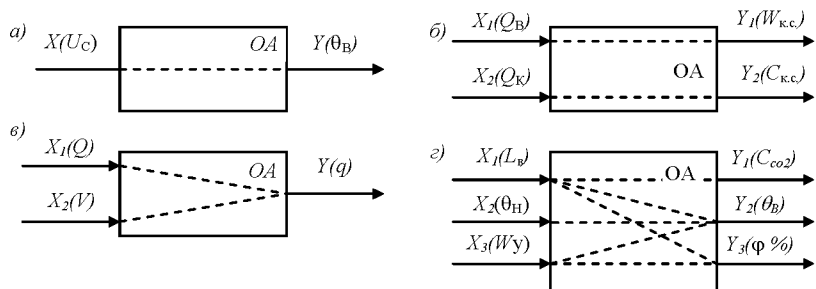


Рис. 5. Структура объекта автоматизации:

а) – водонагревателя-термоса; б) – кормосмесителя ($Q_{в}$ – подача воды; $Q_{к}$ – подача комбикорма; $W_{к.с.}$ – влагосодержание корма; $C_{к.с.}$ – концентрация кормосмеси); в) – мобильного кормораздатчика; з) – микроклимата птичника ($L_{в}$ – вентиляция; $\theta_{н}$ – обогрев; $W_{у}$ – увлажнение; C_{co2} – концентрация углекислого газа; $\theta_{в}$ – температура воздуха; $\varphi \%$ – влажность воздуха)

Статической характеристикой объекта автоматизации называется зависимость выходной переменной от входной в статическом состоянии $Y = f(X)$. Статическую характеристику можно представить в виде алгебраических уравнений, таблиц или графиков. Она может быть линейной и нелинейной. Статическая характеристика является линейной, если она описывается линейным уравнением, а ее график – прямая линия (рис. 6, а). Если график нелинейной характеристики изображается кривой или ломаной линией (рис. 6, б), то описывается она нелинейным уравнением.

Статическая линейная характеристика, приведенная на рис. 6, а, описывается уравнением:

$$Y = a + kX, \quad (1)$$

где a и k – постоянные величины.

Линейная статическая характеристика (см. рис. 6, а) оценивается углом ее наклона, тангенс которого равен коэффициенту усиления k элемента (см. уравнение (1)). Коэффициент усиления показывает, во сколько раз изменение выходной величины больше или меньше изменения входной величины, и, следовательно, может быть как больше, так и меньше единицы. Размерность k зависит от размерности переменных. Только если они имеют одинаковую размерность, k является безразмерной величиной.

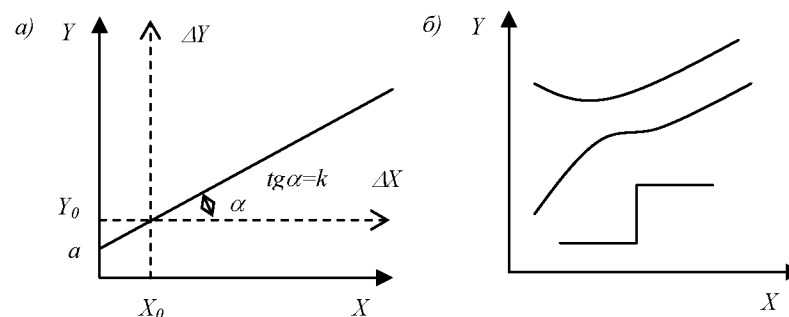


Рис. 6. Статические характеристики:

а) – линейная, б) – нелинейная

Расчеты систем автоматического регулирования производятся для сравнительно небольших отклонений переменных от их начальных (базовых) значений (X_0 и Y_0). Поэтому чаще используется запись уравнения не в абсолютных значениях переменных, а в их приращениях (Δx и Δy):

$$\Delta y = k\Delta x; \Delta y = Y_{\text{вых}} - Y_0; \Delta x = X_{\text{вх}} - X_0. \quad (2)$$

Большинство реальных элементов систем автоматического регулирования в большей или меньшей степени нелинейны. Однако, учитывая сложность расчета систем, содержащих нелинейные элементы, проводят линейризацию их нелинейных характеристик, т. е. заменяют реальные нелинейные уравнения близкими к ним линейными уравнениями. Допустимость линейризации обосновывается сравнительно небольшими отклонениями переменных от их установившихся значений при автоматическом регулировании. Определяют допустимость линейризации по погрешности, получаемой в этом случае:

$$\gamma = \frac{f(X) - f_n(X)}{f(X)} \leq 0,1 \div 0,2, \quad (3)$$

где $f_n(X)$ – уравнение линейризованной характеристики.

Линейризацию характеристик проводят либо графическим способом, либо аналитически. В первом случае уравнение кривой заменяют уравнением касательной к этой кривой (метод малых приращений, рис. 7, а) либо уравнением секущей (метод осреднения, рис. 7, б).

Если нелинейная функция задана аналитически, то для ее линейризации используют разложение в ряд Тейлора (при условии, что нелинейная функция может быть разложена в этот ряд):

$$Y = Y_0 + \frac{dY}{dX} \Delta x + \frac{d^2Y}{2!dX^2} \Delta x^2 + \dots \quad (4)$$

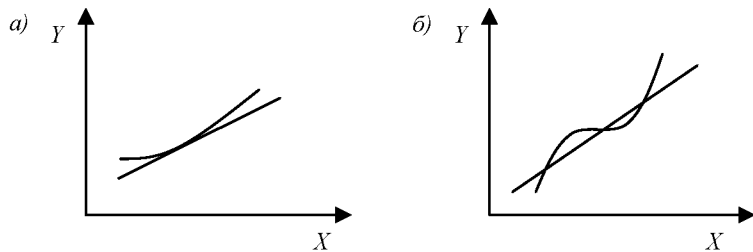


Рис. 7. Линейризация нелинейных статических характеристик:
а) – методом касательной; б) – методом секущей

Для малых отклонений ΔX можно отбросить члены ряда, содержащие производные второго и высшего порядков:

$$Y = Y_0 + \frac{dY}{dX} \Delta x, \text{ или } \Delta y = \frac{dY}{dX} \Delta x. \quad (5)$$

Если выходная переменная является функцией нескольких независимых входных воздействий, то при линейризации статической характеристики следует определить частные производные выходной переменной по каждому входному воздействию, а приращение выходной переменной находить, как сумму частных приращений:

$$\Delta y = \frac{dY}{dX_1} \Delta x_1 + \frac{dY}{dX_2} \Delta x_2 + \dots \quad (6)$$

Статическую характеристику для отдельных простых объектов можно получить эмпирическим путем.

Так, температура воды θ_v в установившемся режиме водонагревателя выражается уравнением:

$$\theta_v = \theta_n + \frac{U_c^2}{RA}, \quad (7)$$

где θ_n – температура окружающей среды;

$R = f(R, U)$ – электрическое сопротивление нагревателя;

A – теплоотдача корпуса нагревателя.

Желая получить то или иное значение температуры θ_v , следует подводить к зажимам нагревателя соответствующее питающее напряжение U_n .

Таким образом, для обеспечения управляемости объекта в структуре объекта автоматизации необходимо наличие регулирующего органа (РО) – устройства, обеспечивающего целенаправленное воздействие на объект управления (рис. 8), в результате чего он переходит в требуемое состояние.

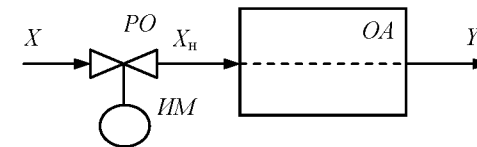


Рис. 8. Схема управляемости объектом

Воздействие на регулирующий орган осуществляется исполнительным механизмом (ИМ).

Статические характеристики необходимы для правильного выбора параметров установок

и машин при проектировании технологического процесса, для определения нормальных режимов работы оборудования, оптимизации технологических процессов и конструирования объектов с заранее заданными свойствами.

Функционирование реальных технологических установок характеризуется наличием различных возмущений. Этими возмущениями могут быть: изменение скоростей подачи материала, колебания температур, изменение физико-механических свойств материала, влияние износа и старения оборудования, наводки и шумы по каналу управления и ряд других факторов, а также различных их комбинаций.

Таким образом, объект управления характеризуется совокупностью трех координат, определяющих его текущее состояние:

1) выходной параметр Y , характеризующий обобщенный технико-экономический показатель, которым оценивают качество и экономическую эффективность работы объекта. Этот показатель является определяющим при выборе технологического режима управления;

2) управляющие воздействия X ($X_1, X_2, X_3 \dots X_n$), при помощи которых поддерживается заданный технологический режим процесса (значения входных параметров ограничены технологическими условиями процесса).

$$X_{j \min} \leq X_j \leq X_{j \max} \quad (j = 1, 2 \dots m)$$

3) возмущающие воздействия F_n ($F_1, F_2 \dots F_m$), характеризующие часовые, суточные и сезонные изменения параметров объекта управления, которые могут принимать значения, выходящие за допустимые пределы.

3.4.2. Динамические свойства объекта автоматизации

Для автоматического управления объектом важно знать его статическую характеристику и динамические свойства, которые влияют на устойчивость и качество регулирования. Динамическая характеристика определяет продолжительность и характер процесса изменения выходной переменной объекта во времени при переходе объекта из одного установившегося состояния в другое и описывается уравнением вида $Y = f(X, t)$, где t – время. Изменение регулируемой величины зависит от свойств объекта и от характера возмущения.

Параметры объекта принято определять по динамической характеристике, представляющей собой изменение регулируемой величины во времени при скачкообразном изменении положения регулирующего органа. Графики ступенчатых воздействий показаны на рис. 9, а.

Для представления динамических характеристик объектов могут использоваться переходная характеристика и передаточная функция.

Переходной характеристикой объекта $Y(t)$ (рис. 9, б) называется динамическая характеристика, определяющая изменение выходной величины объекта во времени при входном ступенчатом воздействии:

$$X(t) = A \cdot 1(t),$$

где $1(t)$ – единичное ступенчатое воздействие;

A – постоянная.

При этом $1(t) = 0$ при $t < 0$.

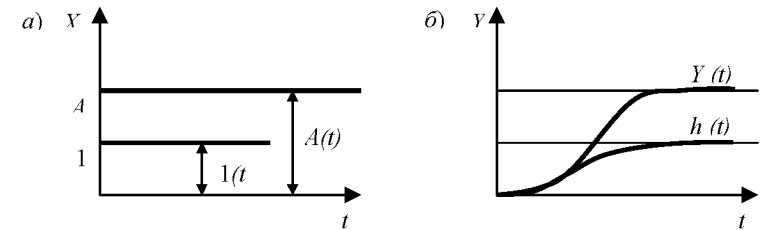


Рис. 9. График ступенчатого воздействия (а) и переходная характеристика (б)

Переходная характеристика, получаемая при $x(t) = 1(t)$, называется переходной функцией и обозначается $h(t)$ (рис. 9, б).

Удобство переходной характеристики основано на применимости к линейным системам принципа суперпозиции. В соответствии с этим принципом при подаче на линейную систему совокупности различных воздействий ее реакция равна сумме реакций на каждое из этих воздействий в отдельности. Следовательно, зная переходную функцию объекта как реакцию на единичное входное ступенчатое воздействие, можно определить его реакцию на любое другое входное воздействие, предварительно представив его с определенным приближением в виде совокупности единичных входных ступенчатых воздействий.

При необходимости математического описания объекта автоматизации принято использовать передаточную функцию, получаемую из дифференциального уравнения динамики объекта. Передаточной функцией $W(P)$ называется отношение изображения Лапласа выходной величины к изображению Лапласа входного воздействия при нулевых начальных условиях.

Каждый технологический процесс как объект управления имеет обобщенные входную (воздействие) и выходную (параметр)

координаты, между которыми во времени существует функциональная связь. В свою очередь, каждая из координат может быть заменена другой, связанной с ней непрерывной взаимно однозначной функциональной зависимостью.

Функциональная зависимость между указанными координатами объектов управления во времени для идеализированных физических процессов выражается однотипными дифференциальными уравнениями, приведенными в табл. 3.

Таблица 3

Уравнения динамики идеализированных физических процессов	
Физический процесс	Уравнение
1. Поступательное движение	$m \frac{dv}{dt} = F,$ <p>где m – масса движущегося тела; v – линейная скорость; F – результирующая действующая сила</p>
2. Вращательное движение	$J \frac{d\omega}{dt} = M,$ <p>где J – момент инерции вращающегося тела; ω – угловая скорость вращения; M – результирующий приложенный момент</p>
3. Для жидкостей в сосудах	$S \frac{dh}{dt} = Q,$ <p>где S – площадь основания сосуда; h – уровень жидкости в сосуде; Q – объемный поток жидкости;</p>
4. Для нагревателя (охлаждителя) тел	$mc \frac{d\theta}{dt} = Q,$ <p>где m – масса нагреваемого тела; c – удельная теплоемкость; θ – температура тела; Q – тепловой поток</p>

Физический процесс	Уравнение
5. Для увлажнения (сушки) тел	$m_c \frac{d\omega}{dt} = W,$ <p>где m_c – масса сухого вещества в теле; ω – относительная влажность вещества; W – поток влаги</p>
6. Для выпаривания	$m_c \frac{d\varepsilon}{dt} = W_{\text{ж}} = Qa$ <p>где m_c – масса абсолютно сухого вещества; ε – жидкостный коэффициент вещества; $W_{\text{ж}}$ – количество испаряемой жидкости в единицу времени; Q – подводимая теплота; a – коэффициент пропорциональности.</p>

Практически все встречающиеся в технологических объектах процессы можно описать однотипными математическими уравнениями динамики, обобщенный аналог которых может быть представлен в виде:

$$L \frac{dY}{dt} = X, \quad (8)$$

где L – емкостный коэффициент объекта;
 Y – выходная координата (параметр) объекта;
 X – обобщенная входная координата (результатирующее входное воздействие).

Выходная координата Y представляет собой абстрактный аналог ряда физических величин: линейной скорости V , окружной скорости ω , температуры θ , влажности φ , концентрации вещества η и т. п. Практически, это есть либо потенциал энергии, либо показатель запаса вещества в объекте.

В технологических объектах этими величинами характеризуется показатель качества процесса, его параметр.

Из приведенных выше уравнений динамики и физических моделей процессов четко прослеживается сущность емкостного коэффициента L . Это есть величина, численно равная емкости объекта, приходящейся на единицу его выходной координаты.

Если представить уравнение (8) в виде

$$dY = \left(\frac{1}{L}\right)Xdt \quad (9)$$

и проинтегрировать его

$$Y = \left(\frac{1}{L}\right) \int Xdt, \quad (10)$$

то можно увидеть, что величина $\frac{1}{L}$, обратная емкостному коэффициенту, есть коэффициент пропорциональности между элементарными изменениями выходной координаты Y и импульсом входного воздействия Xdt . Таким воздействием может быть импульс силы Fdt , импульс момента Mdt , импульс подачи какого-либо вещества или тепловой энергии Qdt и т. п.

В итоге можно заключить, что емкостный коэффициент есть мера инерции, а его обратная величина $\frac{1}{L}$ – мера чувствительности объекта.

Изменение во времени выходной координаты одноемкостного процесса характеризуется обобщенным уравнением (8). Очевидно, условием постоянства выходной координаты объекта ($Y = \text{const}$) является равенство результирующего входного воздействия X нулю:

$$\frac{dY}{dt} = \frac{1}{L}X = 0.$$

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

В общем случае результирующий мгновенный поток вещества или энергии – входное воздействие объектов – состоит из разницы между суммарным притоком $\left[x_n = \sum_{i=1}^n x_{ni} \right]$ и суммарным расходом

$\left[x_p = \sum_{i=1}^m x_{pi} \right]$, то есть:

$$X = x_n - x_p = \sum_{i=1}^n x_{ni} - \sum_{i=1}^m x_{pi}.$$

Следовательно, при установившемся режиме объекта, то есть, при $Y = Y_0 = \text{const}$:

$$x_{n(0)} - x_{p(0)} = 0$$

или

$$x_{n(0)} = x_{p(0)} = x_0. \quad (11)$$

Предположим, что к моменту начала исследования приток численно равен расходу и объект находится в установившемся режиме при значении выходной координаты Y_0 . В этот момент как на стороне притока, так и на стороне расхода может быть приложено дополнительное воздействие (регулирующее или возмущающее) Δx , которое должно вывести объект из установившегося состояния. Если воздействие приложено на стороне притока, то параметр должен возрасти и наоборот. При этом необходимо иметь в виду, что как возмущение, так и регулирующее воздействие может выполнять функции притока или расхода.

Допустим, что дополнительное воздействие на объект внесено на стороне притока (рис. 10). Тогда приток соответственно увеличится на какую-то величину Δx , то есть

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

а расход останется прежним:

$$x_p = x_{p(0)}.$$

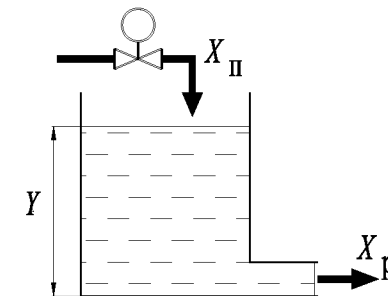


Рис. 10. Гидравлический аналог одноемкостного объекта управления

С течением времени под воздействием дополнительного притока выходная координата будет возрастать, что может вызвать изменение значений входных воздействий (возмущений и регулирующих), если они находятся в функциональной зависимости от выходной координаты:

$$x_n = f_1(Y)$$

и (или)

$$x_p = f_2(Y).$$

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

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

$$x_n \approx x_{n(0)} + \left(\frac{dx_n}{dY}\right)_0 \Delta y + \Delta x_n, \quad (12)$$

$$x_p \approx x_{p(0)} + \left(\frac{dx_p}{dY}\right)_0 \Delta y, \quad (13)$$

где Δy – нулевое отклонение выходной координаты от исходного установившегося значения.

Величина Δy – переменная во времени. Индекс «нуль» при производных указывает на то, что их определяют для исходного режима, и, следовательно, они постоянные величины. Очевидно, наиболее точным выражением производных будет их значение в пределах оптимального значения параметра, то есть индекс «нуль» необходимо выбирать при $Y \approx Y_n$.

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

Подставив значения текущих координат x_n и x_p из формул (12) и (13) в обобщенное уравнение динамики (8) с учетом выражения (11) получим:

$$L \frac{dY}{dt} = x_{n(0)} + \left(\frac{dx_n}{dY}\right)_0 \Delta y + \Delta x_n - x_{p(0)} - \left(\frac{dx_p}{dY}\right)_0 \Delta y. \quad (14)$$

С учетом (12) и (13) получим:

$$L \frac{dY}{dt} = \left[\left(\frac{dx_n}{dY}\right)_0 - \left(\frac{dx_p}{dY}\right)_0\right] \Delta y + \Delta x_n. \quad (15)$$

Введем безразмерное выражение:

$$\frac{\Delta y}{Y_0} = \varphi, \quad (16)$$

откуда:

$$\Delta y = \varphi Y_0; \quad dy = Y_0 d\varphi; \quad \mu = \frac{\Delta x_n}{x_0} = \nu. \quad (17)$$

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

где ν – относительное дополнительное воздействие в начальный момент времени $t = 0$.

Подставив относительные значения координат в (15), получим:

$$Y_0 L \frac{d\varphi}{dt} = \left[\left(\frac{dx_n}{dY}\right)_0 - \left(\frac{dx_p}{dY}\right)_0\right] Y_0 \varphi + \mu x_0 \quad (18)$$

или

$$\left(\frac{LY_0}{x_0}\right) \left(\frac{d\varphi}{dt}\right) + \frac{Y_0}{x_0} \left[\left(\frac{dx_n}{dY}\right)_0 - \left(\frac{dx_p}{dY}\right)_0\right] \varphi = \mu. \quad (19)$$

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

$$T_a = L \frac{Y_0}{x_0}. \quad (20)$$

Величина, обратная времени T_a ,

$$\xi = \frac{1}{T_a} = \frac{x_0}{LY_0} \quad (21)$$

характеризует скорость относительного изменения выходной координаты Y процесса при $x_{п} = x_{п(0)} = x_0$ и называется скоростью разгона при полной нагрузке.

Если нагрузка меньше полной, то, соответственно, скорость разгона будет меньше, а время разгона будет больше.

Коэффициент при втором члене φ левой части уравнения (19) безразмерный, так как сомножители имеют противоположные размерности. Его называют коэффициентом астатизма, или самовыравнивания, объекта (процесса):

$$\left(\frac{Y_0}{x_0}\right) \left[\left(\frac{dx_p}{dY}\right)_0 - \left(\frac{dx_{п}}{dY}\right)_0 \right] = \delta. \quad (22)$$

Как видно, этот коэффициент характеризует зависимость входных воздействий объекта от выходной координаты и определяет свойство регулируемого объекта после возникновения возмущения вновь перейти в состояние равновесия без внешнего вмешательства. Например, в кондиционируемом помещении за счет выключения электроосвещения уменьшился приток тепла, через некоторое время температура воздуха в этом помещении понизится и достигнет нового постоянного значения, при котором опять наступит тепловое равновесие между притоком и отводом тепла этого помещения. Это свойство объекта и называется самовыравниванием.

Самовыравнивание способствует устойчивости регулируемого объекта и облегчает работу регулятора. Таким образом, чем больше степень самовыравнивания δ , тем с большей легкостью объект самостоятельно восстановит заданное значение величины при кратковременном возмущении и тем быстрее восстановится равновесие и более устойчивым будет процесс регулирования. Чем больше степень самовыравнивания, тем меньше отклонение регулируемой величины при возмущении и тем меньше время переходного периода в процессе регулирования, т. е. выше качество регулирования.

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

$$T_a \frac{d\varphi}{dt} + \delta\varphi = \mu. \quad (23)$$

Форма уравнения, в которой коэффициентом при входной координате является единица, впервые была предложена известным словацким инженером А. Стодолой и получила название «уравнение А. Стодолы».

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

$$\left(\frac{T_a}{|\delta|}\right) \left(\frac{d\varphi}{dt}\right) \pm \varphi = \frac{1}{|\delta|} \mu, \quad (24)$$

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

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

$$T = \frac{L}{\left[\left(\frac{dx_p}{dY}\right)_0 - \left(\frac{dx_{п}}{dY}\right)_0\right]}. \quad (25)$$

В отличие от времени разгона постоянная времени не зависит непосредственно от начальных условий x_0 и Y_0 . Очевидно, что с уменьшением самовыравнивания до нуля постоянная времени должна возрастать до бесконечности при конечном емкостном коэффициенте L .

Безразмерную положительную величину, обратную по значению коэффициенту самовыравнивания $\frac{1}{|\delta|}$, называют коэффициентом передачи или усиления объекта и обозначают через k , то есть $k = \frac{1}{|\delta|}$, или

$$k = \frac{1}{\frac{Y_0}{x_0} \left[\left(\frac{dx_p}{dY} \right)_0 - \left(\frac{dx_n}{dY} \right)_0 \right]} \quad (26)$$

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

$$T \frac{d\varphi}{dt} \pm \varphi = k \mu \quad (27)$$

Перейдя от (27) к изображению функции по Лапласу и выполнив элементарные преобразования, получим передаточную функцию в операторной форме для одноемкостного статистического объекта:

$$W(P)_{oy} = \frac{k}{(TP + 1)}, \quad (28)$$

где P – оператор Лапласа.

Динамические свойства управляемого объекта определяют как выбор автоматического регулятора, так и характер переходного процесса после нарушения равновесия системы. По динамическим свойствам объекты автоматизации подразделяют на статические, астатические, неустойчивые, безинерционные, с запаздыванием и без него, многоемкостные.

Статистический объект управления. Такие объекты описываются дифференциальным уравнением первого порядка:

$$T_a \frac{d\varphi}{dt} + \delta \varphi = 0, \quad (29)$$

где T_a – время астатического разгона объекта;

δ – коэффициент астатизма или самовыравнивания объекта;

φ – безразмерная величина, равная отношению приращения параметра объекта к его значению при установившихся условиях работы.

Передаточная функция такого объекта:

$$W(P) = \frac{k}{TP + 1}, \quad (30)$$

где k – коэффициент передачи;

T – постоянная времени объекта;

P – коэффициент Лапласа.

При приложении ко входу объекта единичного ступенчатого внешнего воздействия μ (рис. 11) решение уравнения (27) можно представить в виде:

$$\varphi = \left(\frac{\mu_0}{\delta} \right) \left(1 - e^{-\left(\frac{\delta}{T_a} \right) t} \right) \quad (31)$$

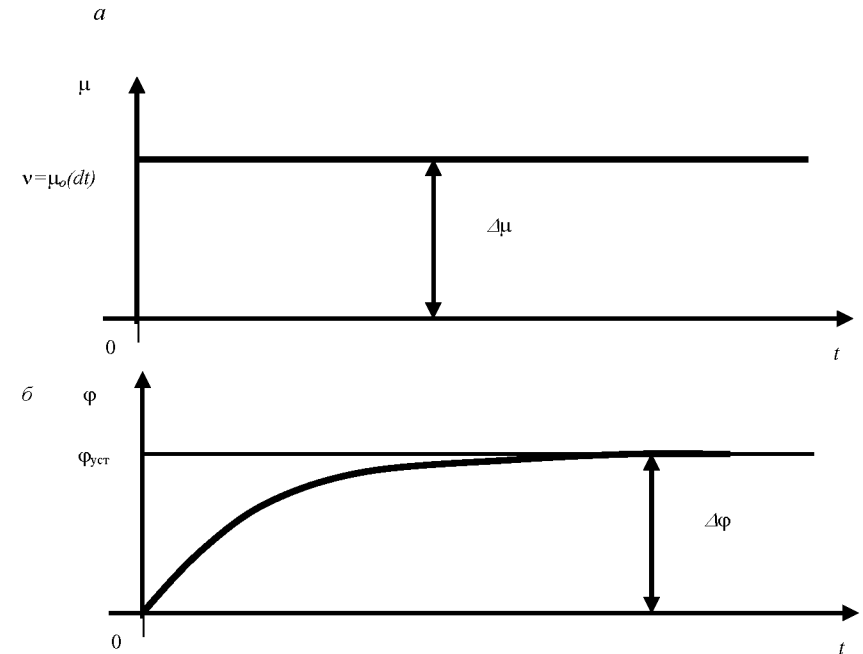


Рис. 11. Переходный процесс статического объекта:
а – входное воздействие; б – переходная характеристика

Исследуя уравнение (31), характеризующее относительное отклонение выходной координаты процесса во времени в зависимости от собственных свойств объекта, определяющихся δ и T_a , и от внешних воздействий μ , находим, что при положительном самовыравнивании ($\delta > 0$) переходный процесс идет по экспоненте и стремится к пределу:

$$\Phi_{(\infty)\delta>0} = \frac{\mu_0}{\delta} = k\mu_0. \quad (32)$$

Значение этого предела, как видно, не зависит от постоянной времени объекта, которая влияет лишь на режим и длительность переходного процесса.

Таким образом, при $\delta > 0$ выходная величина φ не возрастает безгранично, а уже через промежуток времени $t = \frac{T_a}{\delta} = T$ (T – постоянная времени) достигает 0,632 от будущего предельного отклонения, а при $t = 3T$ достигает 95 % нового установившегося значения (рис. 12):

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

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

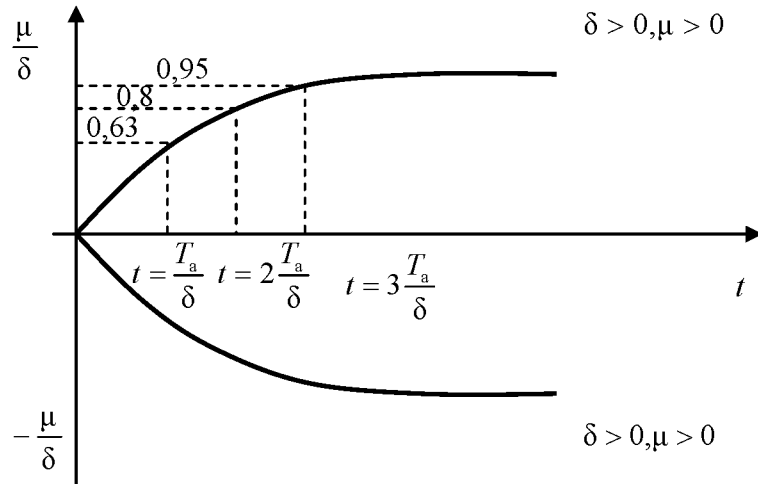


Рис. 12. Графический анализ динамических характеристик статического объекта

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

Объекты без самовыравнивания характеризуются тем, что при нарушении равновесия за счет отклонения регулируемой величины равновесие не восстанавливается. Примером объекта без самовыравнивания может служить бак, из которого жидкость откачивается насосом в постоянном количестве, а приток жидкости меняется (рис. 13). В этом случае ранее установившееся равновесие будет нарушено, и бак через некоторое время или переполнится, или опорожнится, и новое равновесие не наступит. Объекты без самовыравнивания трудно поддаются регулированию, а в отдельных случаях автоматизировать объекты просто невозможно.

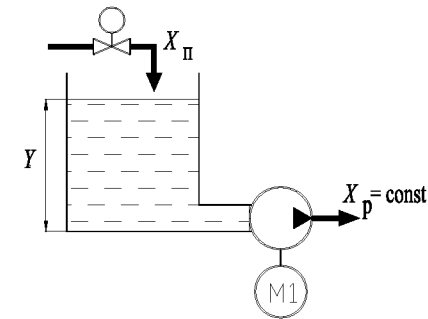


Рис. 13. Гидравлический аналог астатического объекта управления

Различие между объектами без самовыравнивания и с самовыравниванием состоит в том, что для первых изменение параметра не влияет на приток (расход), а для вторых изменение его, вызванные изменениями притока (или расхода), воздействует на них.

При отсутствии самовыравнивания объект называют нейтральным, или астатическим.

При нулевом самовыравнивании уравнение динамики принимает вид:

$$T_a \frac{d\varphi}{dt} = \mu \quad (33)$$

или

$$\frac{d\varphi}{dt} = k_a \mu, \quad (34)$$

где $k_a = \frac{1}{T_a}$ – коэффициент передачи или усиления астатического объекта, c^{-1} .

Передаточная функция в операторной форме для астатического объекта может быть записана:

$$W(P)_{oy} = \frac{1}{T_a P} = \frac{k_a}{P}. \quad (35)$$

Если объект нейтрален, то с внесением возмущения на его вход выходная координата будет изменяться (возрастать или убывать) по линейному закону (рис. 14).

Скорость этого изменения зависит как от свойств объекта, характеризуемых величиной T_a , так и от величины входного воздействия $v = \mu$. Если воздействие на входе прекращается, то выходная величина устанавливается на новом уровне.

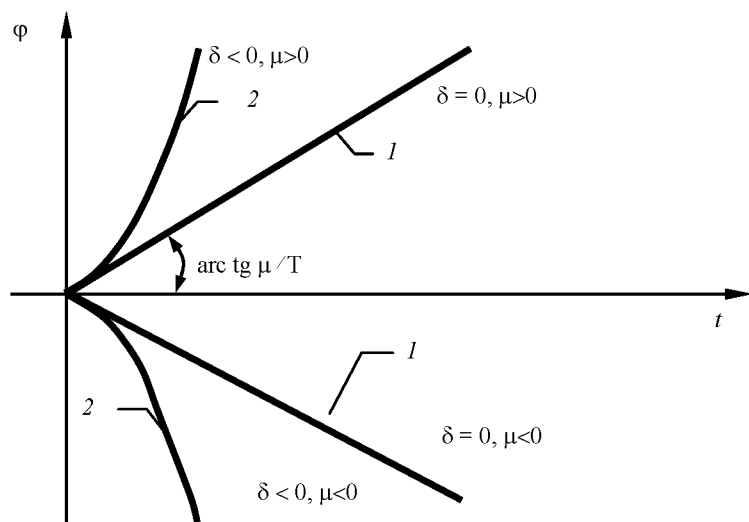


Рис. 14. Графическое выражение характеристик нейтрального (1) и неустойчивого (2) объектов

Неустойчивые объекты управления. В неустойчивых объектах (при $\delta < 0$) изменение выходной координаты приводит не к ослаблению, а к усилению некоторых входных воздействий объекта,

в результате чего отклонение параметра φ (кривая 2, рис. 14) начнет неограниченно возрастать даже при устранении породившего его возмущения (по принципу цепной реакции). Такие объекты получили название неустойчивых. В сельскохозяйственном производстве такими свойствами обладают некоторые биологические процессы, как, например, развитие патогенной микрофлоры или вегетация клубней картофеля.

При отрицательном коэффициенте самовыравнивания уравнение динамики имеет вид:

$$\left(\frac{T_a}{|\delta|}\right)\left(\frac{d\varphi}{dt}\right) - \varphi = \left(\frac{1}{|\delta|}\right)\mu, \quad (36)$$

а передаточная функция в операторной форме соответственно принимает вид:

$$W(P)_{oy} = \frac{k}{(TP - 1)}. \quad (37)$$

Безынерционные объекты управления. Время разгона объектов T_a является характеристикой его инерционности. Чем больше T_a , тем медленнее при том же входном воздействии изменяется выходная координата. При $T_a \rightarrow 0$ объект приближается к безынерционному, а дифференциальное уравнение динамики вырождается в алгебраическое: $\delta \varphi = \mu$ или

$$\varphi = \left(\frac{1}{|\delta|}\right)\mu = k \mu.$$

При этом выходная координата пропорциональна входной как в переходном, так и в установившемся режимах. Передаточная функция такого объекта управления аппроксимируется уравнением:

$$W(P)_{oy} = k = \frac{\varphi}{\mu} = \frac{1}{|\delta|}. \quad (38)$$

Передаточная функция двухъёмкостного объекта управления. Гидравлический аналог двухъёмкостного объекта представлен на рис. 15.

Поступление происходит в первую емкость, а расход – со второй. В установившемся состоянии ($x_{пI} - x_{пII} = 0$) оба параметра y_I и y_{II} постоянны, но не равны ($y_I - y_{II} = \Delta y$), причем Δy представляет собой значение потерь напора на сопротивлении перетока. Здесь Δy зависит от нагрузки. При возникновении разницы потоков ($x_{пI} - x_{пII} \neq 0$) параметр y_I первого сосуда будет изменяться, что вызовет изменение параметра y_{II} второго сосуда. Но последний будет изменяться с некоторым запаздыванием, что связано с наличием сопротивления перетоку.

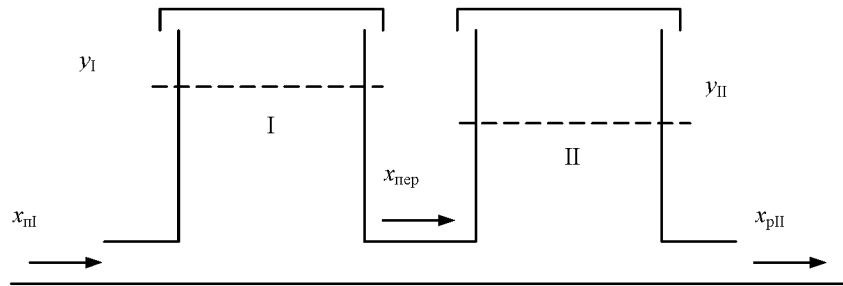


Рис. 15. Схема объекта с двумя гидравлическими емкостями

Порядок уравнения динамики двухемкостного объекта соответствует числу емкостей объекта. Самовыравнивание двухемкостного объекта численно равно сумме коэффициентов самовыравнивания на стороне поступления в первую емкость и на стороне расхода из второй емкости, то есть:

$$\delta = \delta_{пI} + \delta_{пII} . \quad (39)$$

Передаточная функция двухемкостного объекта управления будет иметь вид:

$$W(P)_{oy} = \frac{k}{(T_{01}^2 P^2 + T_{02} P + 1)}, \quad (40)$$

Самовыравнивание многоемкостного объекта численно равно алгебраической сумме коэффициентов самовыравнивания на стороне поступления в первую емкость и на стороне расхода в последней (индекс «n») то есть:

$$\delta = \delta_{пI} + \delta_{пnI} . \quad (41)$$

Если число участков, где аккумулируется в объекте вещество или энергия, увеличивать неограниченно, то можно получить объект с распределенными параметрами, аналитическое описание которых требует учета геометрических координат и выполняется уравнениями в частных производных.

Передаточная функция такого объекта будет иметь вид:

$$W(P)_{oy} = \frac{k \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n}{(T_{n-1} P + 1)(T_{n-2} P + 1) \cdot \dots \cdot (T_1 P + 1)} . \quad (42)$$

Транспортное запаздывание в объектах управления. Отдельные емкости объектов управления могут находиться на значительных расстояниях одна от другой или от устройств, осуществляющих входное воздействие. В этом случае имеется значительное транспортное запаздывание сигнала, существенно искажающее динамические свойства объектов. Транспортное запаздывание, обозначаемое τ , определяют в единицах времени (с):

$$\tau = l/v, \quad (43)$$

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

На графике (рис. 16) показано влияние транспортного запаздывания на характеристику одноемкостного статического объекта (кривая 1) или отдельной емкости многоемкостного объекта.

Аналитически передаточная функция звена транспортного запаздывания в операторной форме

$$W(P)_{\tau} = e^{-\tau P}, \quad (44)$$

Передаточная функция одноемкостного объекта с запаздыванием (кривая 2, рис. 16):

$$W(p)_{oy} = \frac{k e^{-\tau p}}{(TP + 1)}, \quad (45)$$

а двухемкостного объекта (кривая 3, рис. 17):

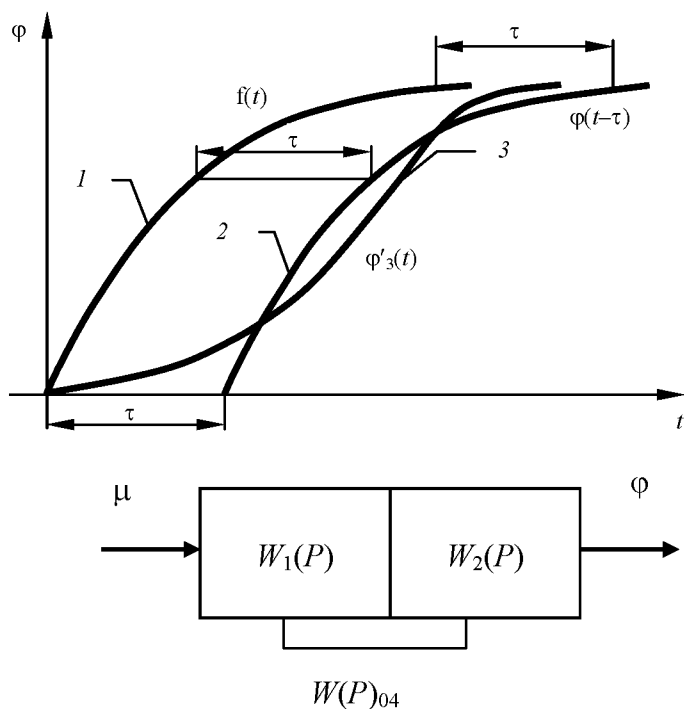
$$W(P)_{oy} = \frac{k}{(T_{01}^2 P^2 + T_{02} P + 1)} e^{-\tau P} \quad (46)$$

или

$$W(P)_{\text{oy}} = [(k_1 / (T_1 P + 1)) (k_2 / (T_2 P + 1))] e^{-\tau P}, \quad (47)$$

если сигнал проходит емкости последовательно.

а



б

Рис. 16. Влияние чистого запаздывания на характеристику статического объекта:

а – графическая характеристика; б – структурная схема;

1 – объект без запаздывания; 2 – объект с транспортным запаздыванием;

3 – объект с емкостным и транспортным запаздыванием

В структуре сложных объектов управления транспортное запаздывание может быть представлено отдельным звеном со своей передаточной функцией (44).

3.4.3. Идентификация характеристик объекта управления

Для анализа и расчета АСР необходимо иметь математическое описание (математическую модель) объекта управления. Получение математического описания объекта управления, в определенном смысле математической модели по реализации его входных и выходных сигналов, называется его идентификацией. В качестве математических моделей ОУ используют следующие основные характеристики ОУ: статическую характеристику, импульсную переходную функцию, переходную функцию, передаточную функцию, частотные характеристики, описывающие функции, дифференциальные, разностные, интегральные и интегро-дифференциальные уравнения, связывающие входные и выходные сигналы ОУ.

Теоретически уравнение объекта можно получить на основе физических законов, которыми определяется его работа. В большинстве случаев точное теоретическое описание ОУ весьма затруднительно из-за сложности протекания в них технологических процессов. Поэтому на практике математическое описание объекта обычно получают экспериментальными методами.

Эти методы дают возможность более быстро и удобно получить результат. Математические модели объектов, полученные по этим методам, значительно проще, с ними удобнее проводить исследования на последующих этапах разработки систем автоматизации. Вместе с тем такие модели имеют ряд недостатков, во-первых, в них совершенно не отражаются физические и химические закономерности процессов, во-вторых, в этих моделях строго ограничены допустимые диапазоны изменений входных воздействий. Эти модели применимы лишь для тех областей изменений переменных, в которых они разрабатывались. Однако, как правило, многие классы автоматических систем разрабатываются именно для обеспечения условий функционирования технологических процессов в заданных рабочих областях изменений переменных. В связи с этим экспериментальные методы получения математических моделей широко применяются при автоматизации технологических процессов.

Во многих случаях разработки математических моделей хороший результат получается при сочетании аналитического и экспериментального методов построения моделей, т. е. при использовании комбинированного метода. При этом на основании

аналитических методов создается качественное описание модели объекта, а с помощью экспериментальных методов определяются параметры этих моделей.

Экспериментальные исследования можно проводить на реальных технологических установках активным способом (создавая необходимые для опыта воздействия на объект) или пассивно (фиксируя изменения входных и выходных величин во времени непосредственно в процессе эксплуатации).

Пассивный эксперимент применяют в тех случаях, когда входные воздействия не поддаются целенаправленному изменению или когда технологический процесс не позволяет их изменить. Этот эксперимент, как правило, дает маловыразительные данные изменений как входных, так и выходных переменных, что затрудняет обработку материала и определение необходимых зависимостей. При проведении пассивного эксперимента особое внимание уделяют обеспечению синхронности фиксации показаний приборов в установившихся и переходных режимах, а также точности проводимых измерений.

При экспериментальном исследовании характеристик объектов управления на реальных технологических установках стремятся (по возможности) пользоваться методом активного эксперимента, сущность которого заключается в приложении ко входу предпочитаемой формы сигнала, например, единичное ступенчатое воздействие, гармоническое или импульс. Получаемые при этом результаты легче обработать и получить данные высокой достоверности. Если ко входу прилагают ступенчатое воздействие (рис. 18, *a*), то на выходе получают функцию $y(t)$, которую в графическом изображении называют кривой разгона.

Наиболее простой и широко распространенной является методика нахождения математической модели объекта в виде передаточной функции по экспериментальной переходной функции при воздействии на вход объекта единичным ступенчатым сигналом $x = x_0 \cdot 1_0(t)$.

Если не удастся осуществить скачек сигнала входного воздействия прямоугольным по форме, то его прилагают возрастающим во времени t_n , но момент приложения t_0 получают усреднением времени начала и конца увеличения входного сигнала (рис. 17, *б*).

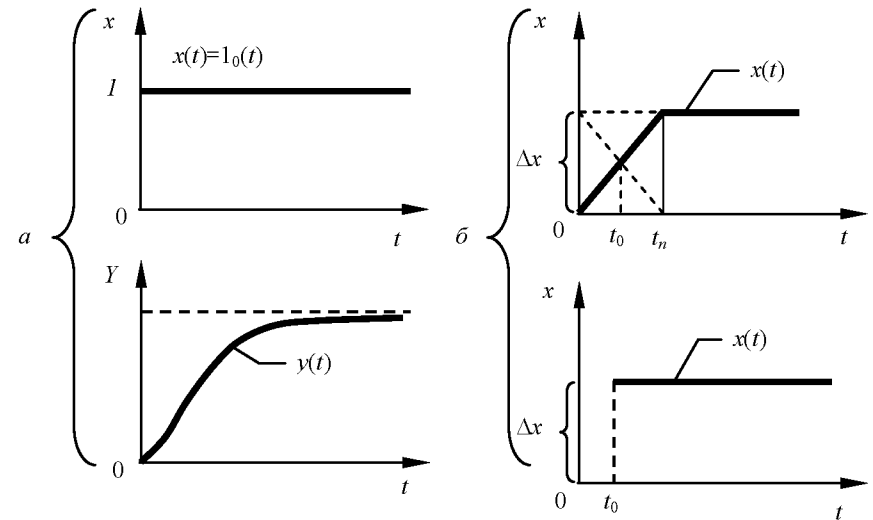


Рис. 17. Графическое изображение динамики переходных процессов при ступенчатом (*a*), воздействии и усреднение времени приложения реального сигнала (*б*)

При проведении активного эксперимента определяют статические и динамические характеристики объектов автоматизации.

Работа по снятию статических характеристик объекта автоматизации проводится в два этапа: организация эксперимента по определению характеристик; снятие и обработка статических характеристик.

На первом этапе проводится подробное изучение объекта, в результате чего выясняются условия функционирования, структура, входные и выходные переменные; устанавливаются каналы, по которым предполагается снятие статических характеристик; определяются предельные диапазоны изменения переменных и их значения в номинальном рабочем режиме; устанавливаются возможные способы стабилизации всех входных переменных, за исключением той, по которой будет проводиться снятие характеристики; выбираются приборы для измерения входных и выходных переменных; устанавливаются конкретные значения и способы изменения входной переменной для определения характеристики; составляется таблица для записи результатов эксперимента.

Для записи результатов эксперимента может использоваться табл. 4, в которую предварительно записываются устанавливаемые значения входной переменной X_i ($i = 0 \dots N - 1$).

Таблица 4

Статическая характеристика объекта				
№ опыта	1	2	...	N
Значение входной переменной X_i	X_0	$X_0 + \Delta X$		$X_0 + (N - 1)\Delta X$
Значение выходной переменной Y_i				

На втором этапе определяется время установления выходной переменной в соответствии с устанавливаемым значением входной переменной, или время переходного процесса $t_{п.п.}$ и временной промежуток между последовательными изменениями входной переменной; последовательно устанавливаются значения выходной переменной Y_i : $Y_0, Y_1 \dots Y_{n-1}$; строится статическая характеристика по данным табл. 4; проводится математическая обработка статической характеристики. Время установления переменной Y_i при изменении значения входной переменной X_i ($i = 0 \dots n - 1$) определяется экспериментально и принимается равным времени переходного процесса $t_{п.п.}$, за которое выходная переменная достигает 98 %-го уровня установившегося значения. Временные промежутки Δt , через которые изменяются значения входной переменной, обычно принимаются в области $\Delta t \in (1,5; 2,0) t_{п.п.}$

При математической обработке статической характеристики для ее графика подбирается соответствующее алгебраическое уравнение.

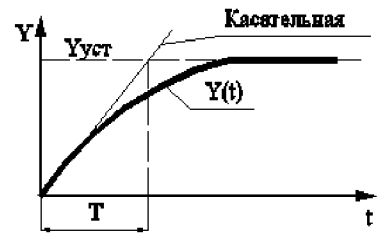
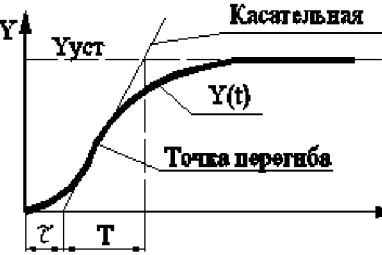
Для определения динамических характеристик объектов автоматизации широко используются переходные характеристики. Снятие переходных характеристик, как и статических, осуществляется в два этапа: организация эксперимента по определению характеристик, снятие и обработка динамических характеристик.

На первом этапе проводятся те же операции, что и при определении статических характеристик. При постановке эксперимента по снятию переходной характеристики принимается входное ступенчатое воздействие, величина скачка определяется из условий ограничений на входные переменные и нелинейные статической характеристики объекта, а также уровня помех, действующих на объект, и класса точности измерительной аппаратуры. Для объектов величина скачка A выбирается обычно из области $A \in (0,1; 0,2) X_{\max}$, где X_{\max} – максимальное значение входной переменной.

На втором этапе осуществляется автоматическая запись переходной характеристики. При проведении эксперимента запись переходной характеристики по исследуемому каналу производится до тех пор, пока не установится постоянное значение выходной переменной либо постоянная скорость ее изменения. С целью повышения надежности получаемых результатов эксперимент повторяют несколько раз и получают семейство переходных характеристик.

Математическая обработка результатов по снятию переходной характеристики состоит в усреднении совокупности полученных характеристик и в математическом описании усредненной характеристики, для инженерных целей вполне приемлема достаточно простая и удобная методика аппроксимации по методу касательной. Типовые переходные характеристики объектов, полученные наиболее простым и широко распространенным методом при воздействии на вход единичным ступенчатым сигналом $X = X_0 1_0(t)$ приведены в табл. 5.

Таблица 5

Типовые переходные характеристики объектов управления	
Переходная функция объекта управления	Математическое описание объекта управления
<p>1.</p> 	$Y(t) = k(1 - e^{-\frac{t}{T}})$ $W(P) = \frac{k}{TP + 1}$ $k = \frac{Y_{уст}}{\Delta X}$
<p>2.</p> 	$Y(t) = k(1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}})$ $W(P) = \frac{ke^{-\tau P}}{TP + 1}$ $k = \frac{Y_{уст}}{\Delta X}$

Переходная функция объекта управления	Математическое описание объекта управления
3	$Y(t) = k \left(1 - \frac{T_1 e^{-\frac{t}{T_1}}}{T_1 - T_2} + \frac{T_2 e^{-\frac{t}{T_2}}}{T_1 - T_2} \right)$ $W(P) = \frac{k}{(T_1 P + 1)(T_2 P + 1)}$ $k = \frac{Y_{уст}}{\Delta X}$

3.4.4. Выбор принципа автоматического регулирования

В каждом конкретном объекте автоматизации возмущающих потоков может быть множество. Возмущения, которые порождены функционированием технологического процесса, называются нагрузкой, остальные представляют помехи или просто потери. Так, тепловыделения животных в свинарнике как объекте регулирования температуры являются нагрузкой, теплотокки через ограждения – помехами, а потоки теплоты с инфильтруемым воздухом – потерями.

Возмущения могут быть направлены в объект, из него или иметь переменное направление. Например, в начале периода инкубации тепловые потоки направлены в сторону яиц, а в конце – от яиц в окружающую среду.

Обычно возмущающие потоки в реальных объектах существенно отличаются по своему значению. Считается допустимым, что теми из них, которые в общем балансе составляют менее 5 %, можно пренебречь. Однако в расчетах это допущение обязательно оговаривается.

Каждый из потоков (а все они, как правило, физической природы) имеет индивидуальные, только ему присущие характеристики. Так, многие потоки можно описать известными закономерностями или эмпирическими зависимостями, как, например, расход теплоты на испарение влаги:

$$Q_{исп.} = (597 + 0,45 \theta_{ж}) M_{ж}, \quad (48)$$

где $\theta_{ж}$ – температура испаряемой жидкости, °С;

$M_{ж}$ – поток жидкости на испарение, кг/ч.

В данном случае возмущение расхода теплоты на испарение влаги определяется изменением потока жидкости на испарение:

$$\Delta M_{ж} = M_{ж.маx1} - M_{ж.маx2}.$$

Расход тепла на подогрев поступающего в животноводческое помещение воздуха определяется из выражения:

$$Q_{в} = L_{в} C_{в} \rho_{в} (\theta_{в} - \theta_{н}), \quad (49)$$

где $L_{в}$ – обмен воздуха, м³/ч;

$C_{в}$ и $\rho_{в}$ – удельные теплоемкость и плотность воздуха;

$\theta_{в}$, $\theta_{н}$ – температура внутри и вне помещения, °С.

Максимальный расход тепла на подогрев воздуха определяется из выражения $Q_{в.маx} = L_{в} C_{в} \rho_{в} (\theta_{в} - \theta_{н.мин})$, и является максимальным возмущением по расходу тепла.

Если все энергетические и материальные потоки объекта описываются математическими уравнениями, то, составив общее уравнение баланса, всегда можно определить аналитически (с определенной точностью) пределы изменения параметра от заданного (номинального) значения. Номинальное значение параметра обычно задается в определенных пределах $Y_{мин} \leq Y_{н} \leq Y_{маx}$.

Если в процессе функционирования установки $Y_{н}$ не выходит за допустимые значения (рис. 18, а), применяется ручное управление, при котором установку положения регулирующего органа в соответствующее положение производят вручную в процессе настройки системы.

Если удастся достаточно точно установить функциональную зависимость $F = f(t)$, то при отсутствии особых требований к параметру может быть реализован закон программного управления регулирующим органом и уже на этой стадии окончательно сформулирован алгоритм функционирования технологического объекта в виде аналитических зависимостей регулирующего воздействия X_p во времени для обеспечения заданного алгоритма функционирования (рис. 18, б, в).

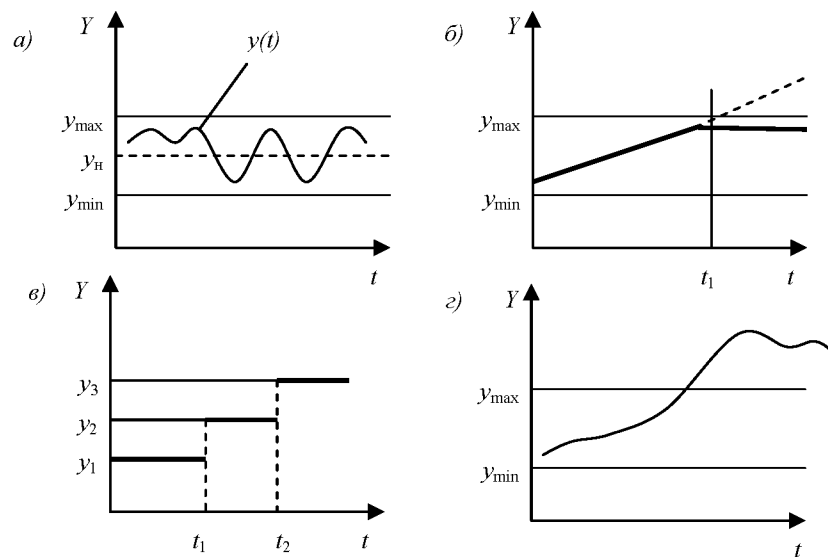


Рис. 18. Графики процессов:

а) – при ручном управлении; б), в) – при программном управлении;
з) – при использовании регулятора

Многие из возмущающих потоков в технологических процессах сельскохозяйственного производства вообще не являются закономерными и не поддаются описанию математическими уравнениями; они представляют собой случайные (стохастические) функции времени. Примером такого потока является, например, температура наружного воздуха.

Если в процессе функционирования системы значение параметра выходит за допустимые значения (рис. 18, з) для установки регулирующего органа в соответствующее положение, обеспечивающее номинальное значение параметра, используют регулирующие приборы.

Задача управления такими объектами формулируется так: в данной технологической ситуации, определяемой значениями параметров Y_r возмущениями $F(t)$, найти такие значения управляющих воздействий $X_y(t)$ с учетом соответствующих ограничений, при которых выходной параметр Y принимает экстремальное значение и не выходит за заданные пределы.

Данную задачу позволяет реализовать система автоматического регулирования (САУ) – это САУ с замкнутой цепью воздействия, в которой управляющее воздействие X_y вырабатываются в результате сравнения истинного значения управляемой переменной $Y(t)$ с ее предписанным (заданным – $Y_{зд}$) значением (рис. 19, а).

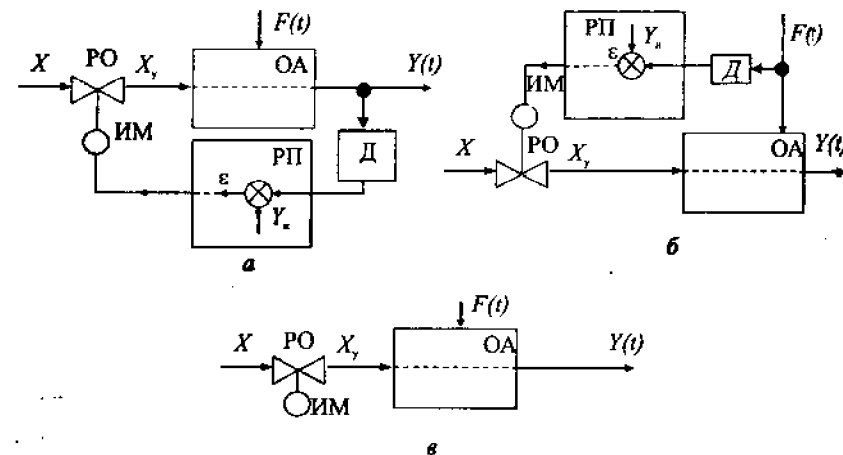


Рис. 19. Схемы управления:

а – регулирование по отклонению; б – управление по возмущению;
в – схема разомкнутой САУ; ⊗ – сравнивающее устройство;
Д – датчик; РО – регулирующий орган; ОА – объект автоматизации;
ИМ – исполнительный механизм; РП – регулирующий прибор

Таким образом, в САУ результат измерения воздействует на процесс выработки управляющих воздействий, т. е. в процессе управления все время осуществляется обратная связь. Большинство биологических и экономических систем также содержит явно выраженные замкнутые цепи.

Отклонение регулируемой величины от заданного значения в системе управления может быть вызвано различными возмущающими воздействиями $F(t)$ – изменениями внешних факторов и параметров самой системы, или может появиться при изменении задающего воздействия. Поскольку в САУ регулирующее воздействие получается в результате преобразования отклонения, которое может быть вызвано любым из перечисленных выше факторов, то такие системы стремятся уменьшить отклонение независимо от того, какими из этих факторов оно вызвано.

При построении САР по отклонению необходимо иметь средства автоматического измерения регулируемой величины. В отсутствие таких средств используется другой принцип управления – по возмущению, при этом предполагается наличие средств измерения возмущаемого параметра.

На рис. 19, б приведена схема системы управления по возмущению. Такие системы по сравнению с системами по отклонению обладают меньшей точностью, так как могут компенсировать только те возмущения, по которым ведется управление. Автоматические системы, использующие принцип регулирования по отклонению, реагируют на любые возмущения, так как все они вызывают изменение регулируемой переменной. В то же время быстрое действие последних ниже, так как в первом случае регулятор непосредственно реагирует на изменение возмущения, а во втором – только на реакцию объекта на эти возмущения, которая сама по себе может быть довольно инерционной.

Существует и третий вид автоматических систем при их классификации по принципу управления – системы комбинированного управления, использующие как принцип регулирования по отклонению, так и принцип управления по возмущению.

При отсутствии средств измерения как параметра, так и возмущений система управления «вырождается» в разомкнутую систему управления (рис. 19, в), где управляющее воздействие X_y устанавливается оператором вручную, настройкой положения регулирующего органа (РО).

3.4.5. Выбор закона регулирования

Любая САР должна содержать регулятор, который формирует закон регулирования. Под законом регулирования подразумевается функциональная связь между выходным сигналом (координатой) $X_{\text{вых}}$ регулятора и его входной координатой $X_{\text{вх}}$ как в установившемся, так и в переходном режиме.

Законы регулирования разделяют на две большие группы: непрерывные и позиционные.

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

Позиционным называют закон регулирования, когда управляющее воздействие на объект принимает ряд постоянных дискретных значений (изменяется ступенчато) в зависимости от ошибки системы. Наиболее распространены двухпозиционный (управляющее воздействие имеет два значения) и трехпозиционный (управляющее воздействие имеет три значения) законы.

Закон регулирования П-регулятора выражается уравнением:

$$X_{\text{вых}} = kX_{\text{вх}}. \quad (50)$$

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

Характерными величинами П-регулятора являются зона пропорционального X_p или коэффициент пропорциональности k_p и рабочая точка Y_0 .

Как видно из формулы (50), изменение входной величины, например, под влиянием возмущающего воздействия, вызывает изменение выходной величины в k_p раз. В статическом состоянии, при изменении входной величины, регулятор управляет объектом по иному значению задающего воздействия, чем до возмущающего воздействия. Это свойство имеют все пропорциональные регуляторы. Такое рассогласование называется статической ошибкой или статическим отклонением. Максимальная величина статической ошибки δ равна зоне пропорциональности X_p .

Закон регулирования И-регулятора выражается зависимостью:

$$X_{\text{вых}} = \frac{k_p}{T_i} \int X_{\text{вх}} dt, \quad (51)$$

а его передаточная функция – уравнением:

$$W(P) = \frac{k_p}{T_i P}. \quad (52)$$

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

$$X_{\text{вых}} = k_p X_{\text{вх}} + \frac{k_p}{T_i} \int X_{\text{вх}} dt, \quad (53)$$

где T_i – постоянная времени интегрирующего звена, или время изодрома.

Передаточная функция ПИ-регулятора

$$W(P) = k_p + \frac{k_p}{T_{\text{и}}P} . \quad (54)$$

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

Закон регулирования ПИД-регулятора описывается уравнением:

$$X_{\text{вых}} = k_p X_{\text{вх}} + \frac{k_p}{T_{\text{и}}} \int X_{\text{вх}} dt + k_p T_{\text{д}} \frac{dx_{\text{вх}}}{dt} , \quad (55)$$

где $T_{\text{д}}$ – постоянная времени дифференцирующего звена, которую иногда называют временем предварения.

Передаточная функция ПИД-регулятора:

$$W(P) = k_p + \frac{k_p}{T_{\text{и}}P} + k_p T_{\text{д}} P . \quad (56)$$

И-регулирующие звенья имеют в качестве выходной величины интеграл входных величин, то есть регулятор суммирует отклонение от заданного значения во времени. Это означает, что регулятор производит подрегулировку до тех пор, пока не будет устранено отклонение от заданного значения. На практике идеальным решением является комбинация различных звеньев выдержки времени, подбираемая в соответствии с требуемой регулируемой характеристикой. Временная характеристика индивидуальных звеньев может быть выражена через параметры регулятора, а именно: зону пропорционального регулирования X_p , время изодрома $T_{\text{и}}$ (И-составляющая) и время предварения $T_{\text{д}}$ (Д-составляющая).

Большинство задач регулирования, типичных для технологии производственных процессов, могут решаться посредством регулятора с ПИ-характеристикой.

В случае инерционных объектов регулирования с продолжительным временем запаздывания, например, при регулировании температуры, результат регулирования можно улучшить за счет использования регулятора с ПИД-характеристикой.

Регуляторы с ПИ- и ПИД-характеристикой имеют то преимущество, что после установления колебаний регулируемая величина не имеет отклонения от заданного значения. Их недостаток заключен в том, что в пусковой период колебания регулируемой величины выходят за пределы заданного значения.

Д-регуляторы сами по себе не годятся для регулирования, т. к. они перестают выдавать команду исполнения, когда входная величина снова становится на статическое значение. В сочетании с П-регулирующими звеньями используют Д-составляющие с целью формирования исполнительного импульса в соответствии со скоростью изменения регулируемой величины. При воздействии возмущающего воздействия на объект регулирования ПД-регулятор устанавливается на другую величину отклонения ввиду изменения коэффициента уставки. Возмущения компенсируются, но не полностью. Как преимущество, можно отметить хорошую динамическую характеристику. Достигается демпфированный, свободный от колебаний переход в пусковом режиме и при изменении управляющего воздействия.

Тем не менее, регулятор с Д-составляющей не подходит для объектов регулирования с пульсирующими измеряемыми параметрами, например для регулирования давления и расхода.

Комбинации ПД- и ПИД-структур обеспечивают при оптимальной настройке параметров регулятора хорошую характеристику системы относительно изменений входного задающего сигнала или возмущающих воздействий, подавление выбросов в пусковом режиме, а также регулирование без отклонений в установившемся режиме.

Используя данные об объекте автоматизации – статические и динамические характеристики, сведения о возмущениях, технологические требования к качеству регулирования, можно в каждом конкретном случае на основе выработанных практикой критериев определить и выбрать закон регулирования. Выбор этот является предварительным, а окончательное заключение об устойчивости системы объект–регулятор и точности регулирования делают на основе последующих расчетов.

При выборе и обосновании принципа регулирования прежде всего выбирают непрерывное или позиционное регулирование. При этом учитывают, что позиционные регуляторы, как правило, проще по устройству и в эксплуатации и дешевле регуляторов плавного действия. Кроме того, имеют в виду, что непрерывное регулирование может

быть реализовано только на объектах, регулирующий орган которых обеспечивает плавное изменение своего положения.

Основное условие выбора группы закона регулирования определяется соотношением запаздывания регулирующего воздействия и постоянной времени объекта управления τ/T . Считается, что, если $\tau/T < 0,2$, то может быть использовано позиционное регулирование, а при $\tau/T > 1,0$ требуются особо чувствительные регуляторы, например, импульсные. В промежутке между указанными пределами τ/T (от 0,2 до 1,0) применяется плавное регулирование.

Время запаздывания регулирующего сигнала τ в этом случае выражается суммой:

$$\tau = \tau_{p.o} + T_{p.o} + \tau_{o.y},$$

где $\tau_{p.o}$, $\tau_{o.y}$ – запаздывание в регулирующем органе и объекте управления;

$T_{p.o}$ – постоянная времени емкостного регулирующего органа.

Величина T есть постоянная времени объекта управления. Для многоемкостных объектов – это сумма постоянных времени всех емкостей T_i :

$$T = \sum_{i=1}^n T_i.$$

При выборе закона непрерывного регулирования руководствуются выработанными практикой положениями. Астатические объекты и статические с малым коэффициентом статизма из условий устойчивости не следует блокировать с И-регулятором. Объекты с большим статизмом могут быть заблокированы со всеми типами регуляторов. При отсутствии значительных запаздываний, плавных возмущениях и отсутствии особых требований ко времени переходного процесса рекомендуется И-закон, в противном случае (если допускается статическая ошибка) – П-закон. Когда емкость объекта небольшая, а возмущения резко меняются, вводится предварение – ПД- или ПИД-закон. ПИ-регуляторы применяются для объектов со значительным запаздыванием при плавно меняющихся возмущениях. Если надо увеличить быстродействие, пользуются ПИД-законом, иногда с прерывистым воздействием.

Закон регулирования можно определить по диаграмме А. Я. Лернера (рис. 20). Координатами диаграммы являются:

$$\Psi_{II} = T / \tau \text{ и } \Psi_c = t_{\text{рег}} / \tau, \quad (57)$$

где T – постоянная времени объекта;

τ – его запаздывание;

$t_{\text{рег}}$ – время регулирования.

Те стороны, которые лежат внутри области применения регуляторов, на диаграмме отмечены штриховкой. Безразмерный коэффициент γ определяется соотношением:

$$\gamma = \sigma / \xi,$$

где σ – допустимое относительное отклонение параметра (статическая ошибка);

ξ – величина относительного отклонения параметра, равная отношению двух его изменений под действием расчетного возмущения и максимального регулирующего воздействия.

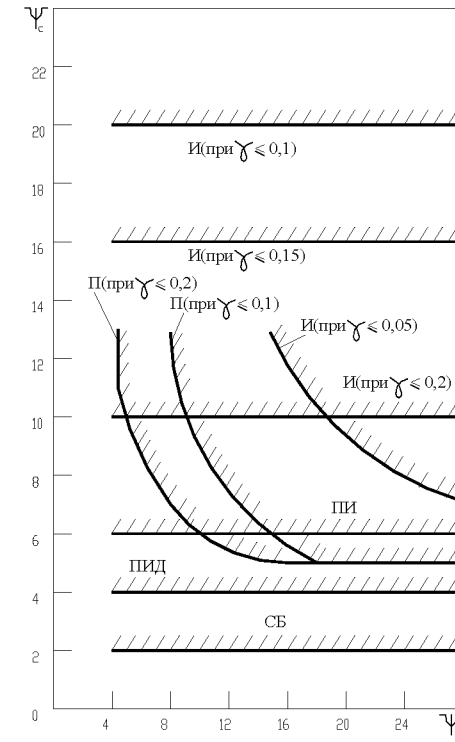


Рис. 20. Диаграмма А. Я. Лернера для выбора регуляторов непрерывного действия

Из диаграммы видно, что ни один тип регуляторов не в состоянии обеспечить время регулирования меньше удвоенного времени запаздывания (при $\psi_c < 2$). При $2 < \psi_c < 4$ могут быть приняты только специальные быстродействующие регуляторы; при $4 < \psi_c < 6$ рекомендуются ПИД-регуляторы. При ψ_c от 0 до 10 можно выбирать все регуляторы, кроме астатических, которые рекомендуются при $\psi_c > 10$.

Например, при постоянной времени объекта $T = 600$ с, времени запаздывания $\tau = 30$ с и времени регулирования $t_{\text{рег}} = 240$ с

$$\psi_{\text{п}} = T/\tau = 600/30 = 20,$$

$$\psi_c = t_{\text{рег}}/\tau = 240/30 = 8.$$

Пересечение этих координат на диаграмме дает точку, соответствующую регуляторам: изотропному с предварением и без такого и статическому при $\gamma > 0,06$, при этом коэффициент усиления $k \leq 1/0,06 - 1 = 15,7$.

3.5. НАСТРОЙКА РЕГУЛЯТОРОВ

3.5.1. Настройка регуляторов непрерывного действия

Как известно из теории автоматического регулирования, качество работы системы регулирования определяется характером переходного периода (функций). Быстрота затухания переходного периода и устойчивость регулирования зависят не только от статических и динамических свойств регулируемого объекта, но и от свойств регулятора, а поэтому каждая система (регулятор и объект регулирования) образуют взаимосвязанный контур регулирования.

Динамическая настройка автоматических регуляторов сводится к определению и установке настройки (коэффициента передачи регулятора, времени издрома, времени предварения и т. д.), обеспечивающее требуемое качество работы системы автоматического регулирования в процессе ее эксплуатации.

Требования к качеству работы САР должно быть сформулировано на первом этапе расчета настройки регулятора в виде критерия оптимальности, представляющего собой дополнительное требование

к качеству автоматического регулирования. Основным требованием является получение устойчивой работы САР.

В устойчивых системах различают аperiodический и колебательный переходные процессы (рис. 21).

Переходный процесс характеризуется критериями (показателями) качества, основными из которых являются: динамическая ошибка регулирования Δy_1 ; время регулирования t_p (промежуток времени от начала переходного процесса до момента, когда величина рассогласования или амплитуда колебаний становится меньше допустимой по технологическим соображениям величины); степень затухания колебательного процесса: $\psi = \frac{\Delta Y_1 - \Delta Y_2}{\Delta Y_1}$; колебательность

регулирования m , которая определяется числом колебаний регулируемой величины относительно заданного значения за время регулирования t_p ; статическая ошибка $\Delta_{\text{ост}}$ (δ).

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.

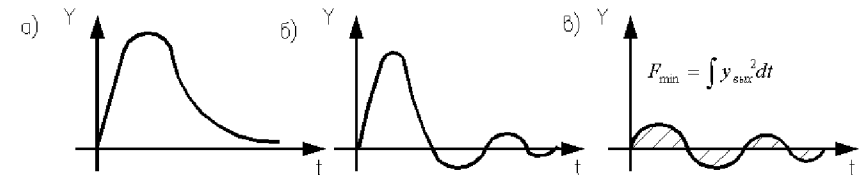


Рис. 21. Характеристики типовых переходных процессов: а) – аperiodический; б) – с 20 %-ным перерегулированием; в) – с минимальной площадью под кривой переходного процесса

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

Процесс с минимальной площадью отклонения регулируемой величины характеризуется малым значением динамического отклонения, обеспечивает минимум интегральной квадратичной оценки, равной $\int_0^{\infty} \Delta y^2 dt$; однако перерегулирование здесь большое, увеличивается время регулирования и требуется значительное управляющее воздействие на объект. Этот процесс применяют для тех объектов, в которых по техническим требованиям не допускается большое отклонение регулируемой величины.

Для большинства систем автоматической стабилизации при непрерывном регулирующем воздействии таким оптимальным процессом регулирования мог бы быть процесс с интенсивным затуханием, минимальными временем регулирования и отклонением регулируемой переменной. Однако в реальных условиях одновременная оптимизация всех показателей качества процесса регулирования невозможна. Поэтому динамическая настройка автоматических регуляторов выполняется из условий оптимизации только одного, заранее выбранного в качестве критерия оптимальности, показателя качества процесса регулирования.

Выбор критерия оптимальности процесса регулирования производится, прежде всего, на основании требований технологического регламента. При этом необходимо также учитывать достоверность информации об объекте и регуляторе и другие, в том числе экономические факторы.

С экономической точки зрения наиболее целесообразно применение в качестве критерия оптимальности интегральной квадратичной оценки, так как минимизация такого критерия почти всегда

приводит к минимизации потерь, возникающих в процессе регулирования. Но если информация о свойствах объекта и регулятора недостаточно надежна, то к выбору указанного критерия следует подходить осторожно, так как переходные процессы в системах, настроенных на минимум такого критерия, слабо затухают, и всегда существует опасность перехода таких систем под влиянием неучтенных воздействий из области параметров настройки, близких к границе устойчивости, на границу устойчивости или даже в область неустойчивой работы системы. В этом случае преимуществом обладают процессы с минимальным временем регулирования или без перерегулирования, так как системы, настроенные на такие процессы, обладают наибольшим запасом устойчивости.

Чаще всего в налаженной практике настраивают регуляторы на колебательный переходный процесс со степенью затухания $\Psi = 0,85 - 0,95$ (близкий к процессу с 20 %-ным перерегулированием). При этом динамическая ошибка и время регулирования оказываются сравнительно небольшими и качество регулирования приемлемым.

На втором этапе работ по расчету параметров настройки производят определение динамических характеристик объекта или системы. Использование в дальнейшем для расчета параметров настройки динамических характеристик объекта хотя несколько и упрощает эксперимент на этом этапе работ, однако дает менее точные результаты, чем в случае экспериментального определения динамических характеристик системы. Это связано с тем, что в результате расчетов, проводимых по динамическим характеристикам объекта, как правило, не учитываются возможные отклонения реальных характеристик регулятора от идеализированных. Поэтому в практике инженера-наладчика следует отдавать предпочтение методам расчета параметров настройки, основанным на экспериментальном определении динамических характеристик системы, при прочих равных условиях.

Непосредственный расчет оптимальных значений параметров настройки регулятора проводится на третьем этапе работ с использованием данных о динамических свойствах объекта или системы, полученных в результате определения их динамических характеристик. В табл. 6 приводятся в основном упрощенные характеристики.

Таблица 6

Параметры настройки регуляторов непрерывного действия						
Регулятор	Типовой процесс регулирования					
	апериодический		20 %-ное перерегулирование		$\min \int x^2 dt$	
	статический объект	астатический объект	статический объект	астатический объект	статический объект	астатический объект
И	$k_p=0,22 A$	–	$k_p=0,59, A$	–	$k_p=0,59A$	–
П	$k_p=0,3 B$	$k_p=0,4 C$	$k_p=0,7 B$	$k_p=0,7 C$	$k_p=0,9B$	–
ПИ	$k_p=0,6 B$ $T_{\text{и}}=0,6 T_{\text{оу}}$	$k_p=0,4 C$ $T_{\text{и}}=6\tau_3$	$k_p=0,7 B$ $T_{\text{и}}=0,7 T_{\text{оу}}$	$k_p=0,7 C$ $T_{\text{и}}=3\tau_3$	$k_p=B$ $T_{\text{и}}=T_{\text{оу}}$	$k_p=C$ $T_{\text{и}}=4\tau_3$
ПИД	$k_p=0,95 B$ $T_{\text{и}}=2,4 \tau_3$ $T_{\text{д}}=0,4 \tau_3$	$k_p=0,6 C$ $T_{\text{и}}=5\tau_3$ $T_{\text{д}}=0,2 \tau_3$	$k_p=1,2 B$ $T_{\text{и}}=2 \tau_3$ $T_{\text{д}}=0,4 \tau_3$	$k_p=1,1 C$ $T_{\text{и}}=2\tau_3$ $T_{\text{д}}=0,4 \tau_3$	$k_p=1,4B$ $T_{\text{и}}=1,3\tau_3$ $T_{\text{д}}=0,5\tau_3$	$k_p=1,4 C$ $T_{\text{и}}=1,6 \tau_3$ $T_{\text{д}}=0,5 \tau_3$
$A = \frac{1}{k_{\text{оу}} T_{\text{оу}}}$; $B = \frac{T_{\text{оу}}}{k_{\text{оу}} \tau_3}$; $C = \frac{T}{\tau_3}$; T – условная постоянная времени астатического объекта $\tau_3 = \tau_{\text{р.о}} + T_{\text{р.о}} + \tau_{\text{оу}}$						

Четвертый этап работ по расчету настройки регуляторов сводится к реализации рассчитанных настроек на реальной аппаратуре, т. е. к установке органов настройки аналогового регулятора на отметки, соответствующие их оптимальным значениям. Если в процессе лабораторной проверки регуляторов была проведена градуировка приспособлений для настройки, то реализация рассчитанных настроек значительно упрощается. В противном случае может быть использован метод последовательных приближений.

Ввод параметров настройки в цифровых регуляторах можно произвести непосредственно со встроенных индикатора и клавиатуры в одноуровневых системах управления или автоматически – при многоуровневых.

Завершающим этапом этого цикла работ является уточнение настройки регулятора в процессе пробной эксплуатации системы автоматического регулирования. Необходимость проведения этого этапа работ диктуется тем, что любой из упрощенных методов расчета настроек основан на ряде допущений, которые в конечном итоге приводят к некоторому отклонению качественных показателей получаемого переходного процесса системы от выбранного критерия оптимальности. Для устранения этих расхождений уточнение настроек производят в процессе пробной эксплуатации замкнутой системы регулирования по ее временной характеристике.

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

Методика настройки аналоговых регулирующих приборов приводится в справочной литературе [4], цифровых – путем параметрирования.

Принцип работы регулятора непрерывного действия. Регулятор непрерывного действия состоит из управляемого объекта, датчика, регулирующего прибора, исполнительного механизма и регулирующего органа. В нашем примере (рис. 22) изображена схема регулятора вещества.

Измеренное датчиком текущее значение параметра управляемой переменной поступает на вход регулирующего прибора. В регулирующем приборе измеренное значение параметра сравнивается с заданным значением параметра. Сигнал рассогласования $\pm \varepsilon$ поступает на элемент, определяющий зону нечувствительности регулятора. Зона нечувствительности регулятора Δ (рис. 22, б) определяет величину входного сигнала, при которой подается команда на исполнительный механизм.

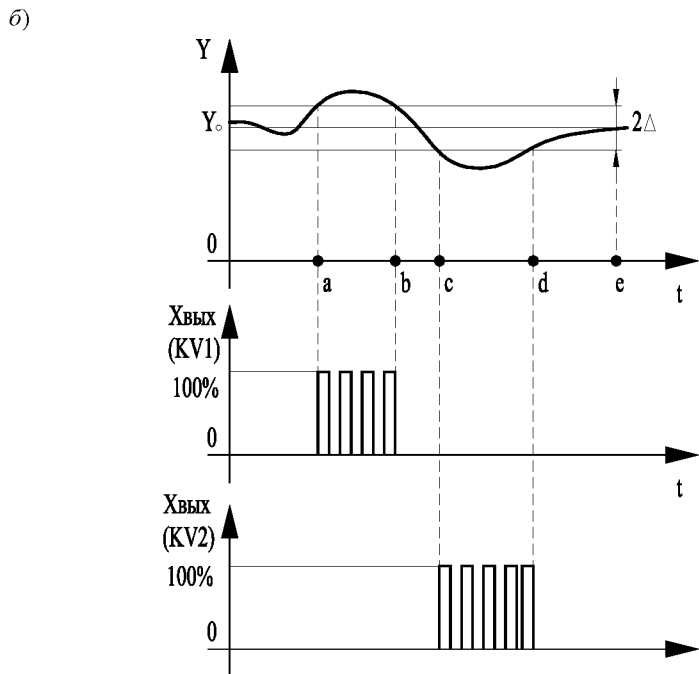
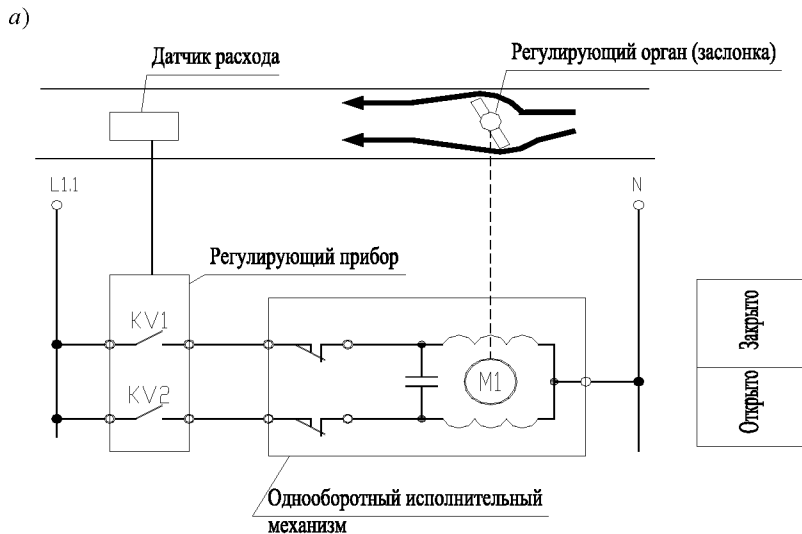


Рис. 22. Схема работы электрического регулятора непрерывного действия: а) – структурно-функциональная схема; б) – диаграмма работы регулятора

При малых величинах нечувствительности наблюдаются очень частые включения исполнительного механизма, которые могут привести к его быстрому выходу из строя. Определить величину нечувствительности можно по формуле:

$$\Delta = 0,5\sigma_{\text{доп}} K_{\text{п.п.}}$$

где $\sigma_{\text{доп}}$ – допустимое отклонение регулируемого параметра;

$K_{\text{п.п.}}$ – крутизна характеристики первичного преобразователя.

Величина зоны нечувствительности регулирующих приборов перестраиваемая. При $\epsilon > \Delta$ сигнал поступает в блок формирования закона регулирования, в котором предварительно должны быть установлены значения параметров настройки регуляторов k_p , T_i и T_d , формирующих закон регулирования. В зависимости от знака рассогласования ϵ срабатывает одно из двух реле KV1 и KV2, установленных на выходе регулирующих приборов.

Контакты реле KV1 и KV2 приводят в действие однооборотный исполнительный механизм, который системой элементов сочленения механически связан с регулирующим органом и обеспечивает закрытие или открытие заслонки. Реле работает в импульсном режиме. Длительность каждого импульса и скважность устанавливаются в зависимости от выбранного закона регулирования и значений параметров настройки k_p , T_i и T_d .

3.5.2. Настройка позиционных регуляторов

Двухпозиционные регуляторы – это такие регуляторы, выходная величина которых может принимать только два установившихся значения.

Так, если в качестве выходного элемента двухпозиционного регулирующего прибора используется реле, то одно установившееся значение выходной величины соответствует отключенному состоянию реле, а второе – включенному. В связи с этим двухпозиционные регуляторы иногда называют регуляторами, работающими по принципу «да-нет».

Исходя из двоичной системы счета, одно установившееся состояние выходной величины регулятора иногда обозначают 0, а противоположное состояние – 1. В этом случае двухпозиционные регуляторы также называют с законом регулирования 0–1.

На рис. 23 приведена статическая характеристика двухпозиционного регулирующего прибора.

При включении регулятора в суммирующем устройстве регулирующего прибора происходит сравнение заданного значения контролируемого параметра ($Y_{зд}$) с его начальным значением (Y_n). Если сигнал рассогласования

$$\varepsilon = (Y_n - Y_{зд}) < 0,$$

он поступает на усилитель, и включается реле KV регулирующего прибора. Замыкающий контакт регулирующего прибора используется для управления исполнительным механизмом регулятора. В качестве исполнительного механизма в позиционных регуляторах используются электромагниты, электродвигатели, электрические нагревательные элементы. В объект начинает поступать вещество или энергия. Контролируемый параметр становится переменным во времени $Y(t)$.

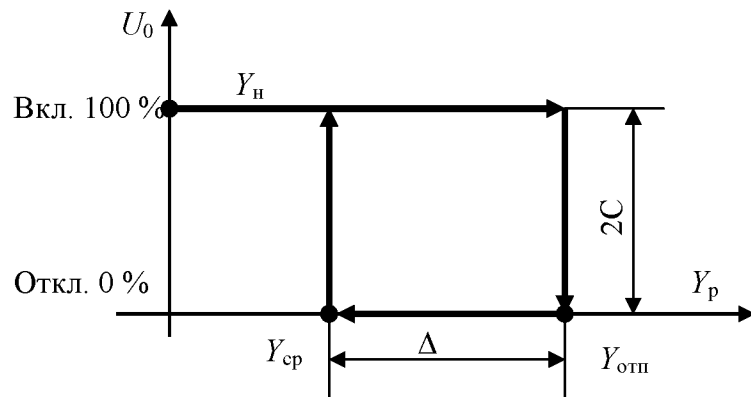


Рис. 23. Статическая характеристика двухпозиционного регулирующего прибора: Y_p — рабочая зона регулирующего прибора, в единицах параметра регулируемой величины; $Y_{сп}$ — величина параметра для срабатывания реле; $Y_{отп}$ — величина параметра для отпускания реле; Δ — устанавливаемая зона неоднозначности; U_0 — управляющее воздействие начального значения

При достижении сигнала рассогласования значения $\varepsilon = [Y(t) - Y_{зд}] > 0$, катушка реле KV обесточивается, контакт размыкается. В объект прекращает поступать вещество (энергия). Одновременно по каналу местной

обратной связи увеличивается значение $Y_{зд}$ на величину Δ . Значение параметра, в связи с прекращением поступления в объект вещества (энергии), начинает снижаться. При уменьшении $Y(t) > Y_{зд}$ или $Y(t) \approx Y_{зд}$ на величину Δ , т. е. до значения $Y_{сп}$, включается реле регулируемого прибора. Одновременно восстанавливается значение $Y_{зд}$. В объект поступает вещество (энергия). Цикл повторяется.

В аналоговых двухпозиционных регулирующих приборах заданное значение регулируемой величины и зону неоднозначности устанавливают путем перемещения движков потенциометров. В цифровых регулирующих приборах параметры настройки устанавливаются с помощью встроенной в прибор клавиатуры и дисплея.

Двухпозиционные регуляторы имеют режим переключательной функции «включить-отключить». Это соответствует 100 % и 0 % исполнительного действия (хода регулирующего органа). При таком типе регулирующего воздействия происходят незатухающие колебания регулируемой величины Y относительно заданной максимальной (Y_{max}) и заданной минимальной (Y_{min}). Характер переходного процесса нелинейных автоматических систем с релейными регуляторами определяется видом статической характеристики релейного элемента, а также видом объекта: статический, астатический с запаздыванием, без запаздывания (рис. 24).

Если имеется астатический (без самовыравнивания, рис. 24, а) объект с передаточной функцией:

$$W(P)_{об} = \frac{k_a}{T_a P},$$

где k_a , T_a — передаточный коэффициент и постоянная времени объекта, то при ступенчатой подаче на вход объекта управляющего воздействия, регулируемая величина будет изменяться по линейному закону:

– для положительного входного воздействия (приток):

$$y_1 = \frac{k_a}{T_a} X_{вх} t;$$

– для отрицательного входного воздействия (отток)

$$y_2 = -\frac{k_a}{T_a} X_{вх} t.$$

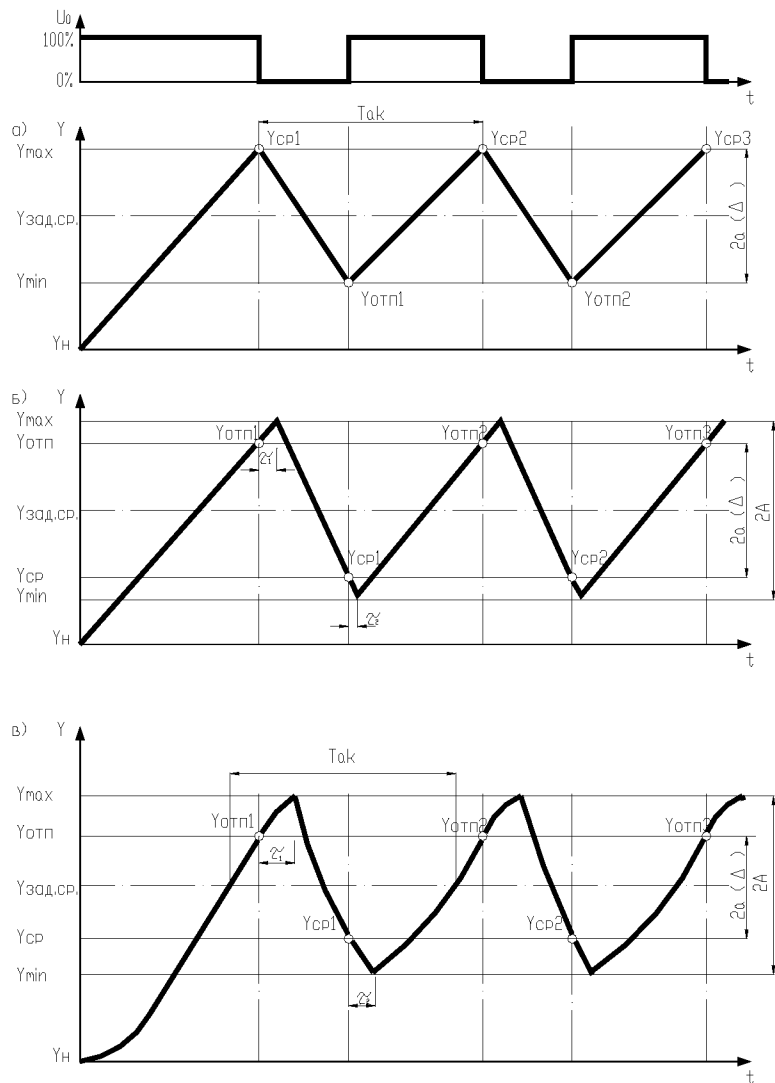


Рис. 24. Динамика двухпозиционного регулирования:

а) – астатического объекта без запаздывания; б) – астатического объекта с запаздыванием; в) – статического объекта с запаздыванием

При отсутствии в объекте запаздывания амплитуда автоколебаний (относительно среднего значения параметра ($Y_{зад.ср}$)) равна половине

ширины петли статической характеристики регулирующего прибора, так как выходная величина начинает нарастать в момент замыкания контакта регулирующего прибора и спадать сразу после размыкания.

Из простых геометрических построений следует, что период автоколебаний

$$T_{ак} = \frac{4aT_a}{k_a C} \quad (58)$$

В релейных автоматических системах с астатическим объектом при наличии запаздывания динамика процесса регулирования несколько отличается от динамики регулирования объекта без запаздывания, хотя в этом случае, как и ранее, будет существовать режим автоколебаний. Поскольку имеются запаздывания, регулируемая величина продолжает увеличиваться после прекращения притока в течение времени τ_1 (время запаздывания для условий притока). Только после истечения τ_1 регулируемая величина начинает уменьшаться из-за наличия оттока, причем и после появления притока уменьшение будет продолжаться в течение времени τ_2 (времени запаздывания для условий оттока). Следует иметь в виду, что наклоны возрастающей и убывающей прямых процесса двухпозиционного регулирования в общем случае неодинаковы за счет неравноценного влияния притока и оттока на объект и за счет различных передаточных коэффициентов объектов для режимов притока и оттока.

Значение настроечных параметров в аналоговых регуляторах устанавливаются путем изменения сопротивления соответствующих переменных резисторов.

В цифровых регуляторах настроечные параметры устанавливаются непосредственно со встроенных индикаторов и клавиатуры по инструкции завода-изготовителя. При наладке релейных регуляторов чаще всего бывает необходимо изменять частоту и амплитуду автоколебаний.

При этом используют два принципиально разных способа: изменяют зону нечувствительности (ширины петли) релейного элемента и изменяют значения притока и оттока управляющего воздействия.

Повысить точность регулирования можно путем уменьшения притока и оттока (рис. 25).

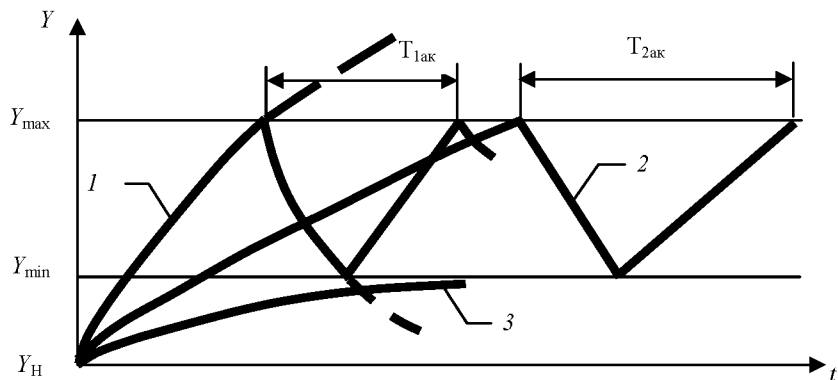


Рис. 25. Динамика двухпозиционного регулирования при различных значениях притока-оттока:

1 – значение притока-оттока велико; 2 – значение притока-оттока оптимально; 3 – значение притока мало

Уменьшение ширины петли релейной статической характеристики приводит к уменьшению амплитуды и периода автоколебаний, следовательно, повышает точность регулирования.

4. УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ТЕСТИРОВАНИЮ

4.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ БЛОК

Успешное тестирование требует тщательной к нему подготовки по литературе [2, 3] и конспекту лекций (краткий теоретический материал также дан в разделе 3). Тестовые вопросы теоретического блока сгруппированы по пяти темам. В тест входит по два вопроса из каждой темы разного уровня сложности. Максимальный балл по тесту – 10. Минимальный положительный – 4. Приведены вопросы по предлагаемым темам, которые должны быть изучены по указанной литературе.

Тема 1. Системы автоматизации ТП. Технологические основы автоматизации

1. Понятие автоматизации технологических процессов. Особенности автоматизации технологических процессов [2, с. 5, 8–10], [3, с. 3, 15, 16].
2. Виды автоматизации (автоматический контроль, защита и управление) и их характеристика [2, с. 5, 6].
3. Характеристика АСУП, АСУТП и САУТП [2, с. 25, 26].
4. Общие сведения о сельскохозяйственных производственных процессах. Основные понятия (производственный процесс, технологический процесс, технологическая операция) [2, с. 14–16].
5. Классификация технологических процессов как объектов автоматизации (по типу процесса, по динамическим свойствам, по технологическому циклу, по взаимосвязи технологического и транспортного движений, по агрегатному состоянию обрабатываемого материала) [3, с. 21–24].
6. Технологические требования при разработке САУ [2, с. 21–24], [3, с. 33–35].
7. Основные источники технико-экономической эффективности автоматизации технологических процессов [3, с. 18–22].

Тема 2. Документация проекта автоматизации ТП

1. Состав и основные требования к документации проекта автоматизации технологических процессов [2, с. 225–228].
2. Схемы автоматизации. Основные требования [2, с. 231–247].
3. Принципиальные электрические схемы. Основные требования [2, с. 248–273].

Тема 3. Характеристика технологических процессов сельскохозяйственного производства. Классификация систем автоматического регулирования

1. Технологическая установка как объект автоматизации (потoki воздействий, характеристики, методы идентификации) [2, с. 130–134].
2. Физические процессы как объекты управления [2, с. 141–148].
3. Статические объекты управления (определение, передаточная функция, переходная характеристика) [2, с. 148–150].
4. Астатические объекты управления (определение, передаточная функция, переходная характеристика) [2, с. 150–152].
5. Неустойчивые объекты управления (определение, передаточная функция, переходная характеристика) [2, с. 152, 153].
6. Безинерционные объекты управления (определение, передаточная функция, переходная характеристика) [2, с. 153].
7. Многоемкостные объекты управления (определение, передаточная функция, переходная характеристика) [2, с. 154, 155].
8. Транспортное запаздывание в объектах управления [2, с. 156, 157].
9. Экспериментальное исследование характеристик объектов автоматизации [2, с. 158–164].

Тема 4. Инженерные методы синтеза систем автоматического регулирования

1. Возмущающие воздействия на объект автоматизации. Выбор способа управления технологической установкой [2, с. 135–137], [3, с. 47–53].
2. Контур регулирования (датчик, регулятор, исполнительный механизм, регулирующий орган) [2, с. 139, 140].
3. Определение принципа регулирования (разомкнутый, по отклонению, по возмущению, комбинированный) [2, с. 137, 138].
4. Выбор закона регулирования [2, с. 170, 197–199].

5. Характеристика основных законов регулирования (П, ПИ, ПД, ПИД) [2, с. 193–196].
6. Характеристика регулирующих органов [2, с. 165–170].

Тема 5. Настройка систем автоматического регулирования

1. Параметры настройки регуляторов непрерывного действия [2, с. 194–196, 209].
2. Характеристика методов расчета параметров настройки регуляторов непрерывного действия [2, с. 202–207].
3. Настройка П, ПИ, И, ПИД- регулятора [2, с. 208–210].
4. Настройка позиционных регуляторов [2, с. 171–178].

4.2. ПРИМЕРЫ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОМУ БЛОКУ*

Вариант 1

1. Выберите верное определение понятия «Автоматизация технологических процессов»:

- предназначена для оповещения обслуживающего персонала о предельных или аварийных значениях каких-либо физических параметров, о месте и характере нарушений технологического процесса;
- представляет собой совокупность технических средств, которые при возникновении ненормальных и аварийных режимов прекращают контролируемый производственный процесс;
- применение технических средств, экономико-математических методов и систем управления, освобождающих человека от непосредственного выполнения функций управления и передающих эти функции автоматическим устройствам.

2. Продолжите фразу: «Классификация технологических процессов как объектов автоматизации позволяет»

- точнее сформулировать требования к техническим средствам автоматизации;

* При выборе варианта ответа символ • означает, что необходимо выбрать один правильный ответ; символ означает, что необходимо выбрать несколько правильных ответов; означает, что в это поле необходимо ввести «открытый» правильный ответ.

выбрать рациональные принципы построения систем автоматизации сельскохозяйственных объектов;

разработать частные показатели и методы определения технико-экономической эффективности автоматизации.





3. Выберите формулу расчета годовой экономической эффективности как показателя эффективности автоматизации:

- $K = K_c + K_m + K_z + K_o - K_p$;
- $I = I_o + I_T + I_3 + I_s + I_c$;
- $T_O = \frac{k_a - k_n}{I_n - I_a + D}$;
- $3 = C + EK$;
- $\mathcal{E} = (3_n - 3_a)A$.

4. Проектирование систем автоматизации выполняют:

- в две стадии;
- в три стадии;
- в четыре стадии;
- в пять стадий.

5. Выберите изображение регулятора температуры, которое приводят на схеме автоматизации

- 
- 
- 
- 

6. Выберите из предложенных вариантов передаточную функцию в операторной форме для одноинерционного статистического объекта:

- $W(P)_{oy} = \frac{k}{(TP + 1)}$;

- $L \frac{dY}{dt} = X$;

- $(\frac{LY_o}{x_o})(\frac{d\phi}{dt}) + \frac{Y_o}{x_o} [(\frac{dx_p}{dy})_o - (\frac{dx_n}{dy})_o] \phi = \mu$;

- $T_a \frac{d\phi}{dt} + \delta\phi = \mu$.

7. При отсутствии самовыравнивания объект называют:

- астатическим;
- статическим;
- неустойчивым.

8. Потоки теплоты с инфильтрационным воздухом в свиарнике как объекте регулирования температуры являются:

- нагрузкой;
- помехами;
- потерями.

9. Выберите уравнение, описывающее закон И-регулятора:

- $X_{\text{вых}} = kX_{\text{вх}}$;

- $X_{\text{вых}} = \frac{k_p}{T_i} \int X_{\text{вх}} dt$

- $X_{\text{вых}} = k_p X_{\text{вх}} + \frac{k_p}{T_i} \int X_{\text{вх}} dt$;

- $X_{\text{вых}} = k_p X_{\text{вх}} + \frac{k_p}{T_i} \int X_{\text{вх}} dt + k_p T_d \frac{dX_{\text{вх}}}{dt}$.

10. Задача настройки двухпозиционного регулятора заключается в расчете и установке:

- зоны неоднозначности;
- времени демфирования;
- коэффициента усиления.

Вариант 2

1. Выберите из предлагаемых вариантов основные виды автоматизации:

- автоматический сбор информации;

- автоматическое управление;
- автоматический контроль;
- автоматическая сигнализация;
- автоматическое измерение;
- автоматическая сортировка;
- автоматическая защита.

2. Выберите классификацию технологических процессов как объектов автоматизации по взаимосвязи технологического и транспортного движений:

- механические, тепловые, электрические, биологические, химические, гидравлические;
- с несовмещенным, совмещенным и независимым движением;
- непрерывные, периодические, проточные, без и с самовыравниванием;
- безинерционные, апериодические, колебательные, дифференцирующие и т. д.

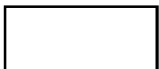
3. Экономическая эффективность автоматизации технологических процессов складывается из эффектов:

- трудового;
- энергетического;
- структурного;
- технологического;
- операционного;
- динамического;
- статического.

4. На схеме автоматизации в общем случае содержатся:

- технологическое оборудование и коммуникации;
- элементы креплений проводок;
- технические средства автоматизации;
- наборы зажимов;
- линии связи между отдельными техническими средствами автоматизации.

5. Приведите обозначение на схеме автоматизации такой среды, как вакуум (используйте справочную таблицу 3.1 (с. 233) учебника «Автоматизация технологических процессов», 2007):



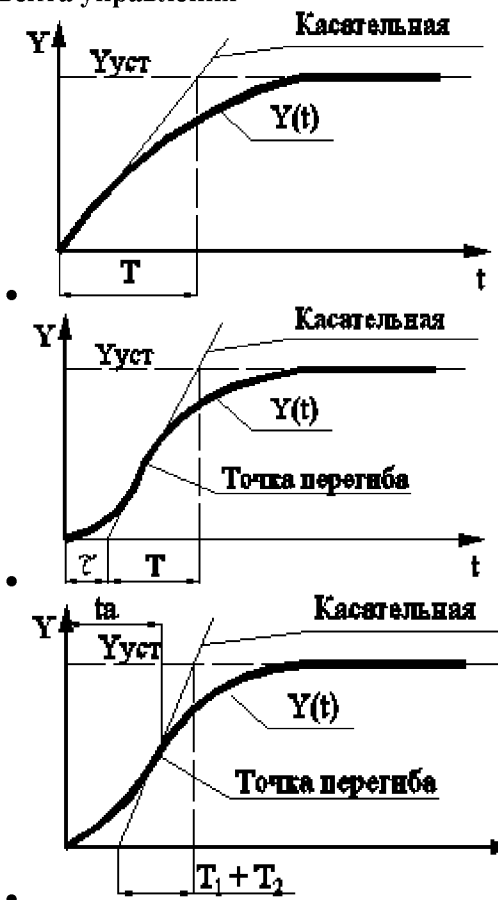
6. Статической характеристикой объекта автоматизации называется:

- зависимость выходной переменной от входной в статическом состоянии $Y = f(X)$;
- реакция объекта по выходной координате $X = f(Y)$ на изменение входного воздействия Δu .

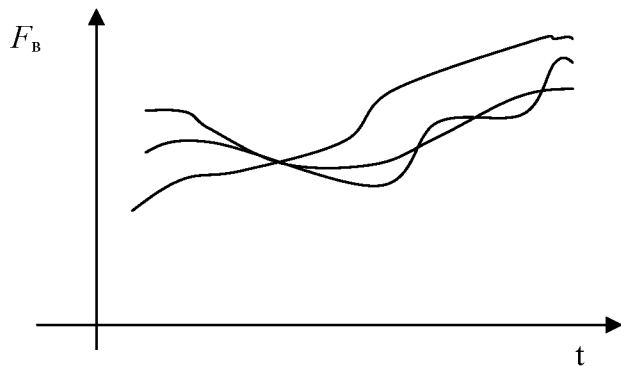
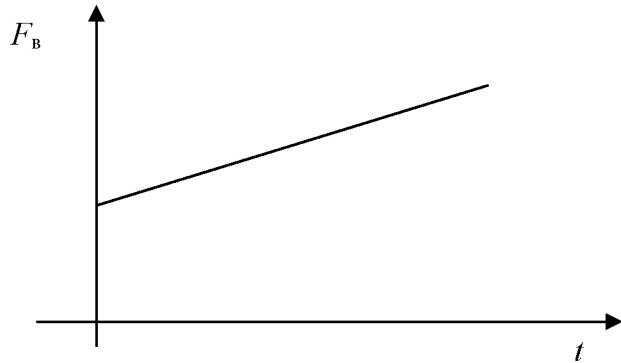
7. Математическое описание объекта управления

$$W(P) = \frac{ke^{-\tau P}}{TP+1}, \text{ где } k = \frac{Y_{уст}}{\Delta X} \text{ соответствует переходной функции}$$

объекта управления



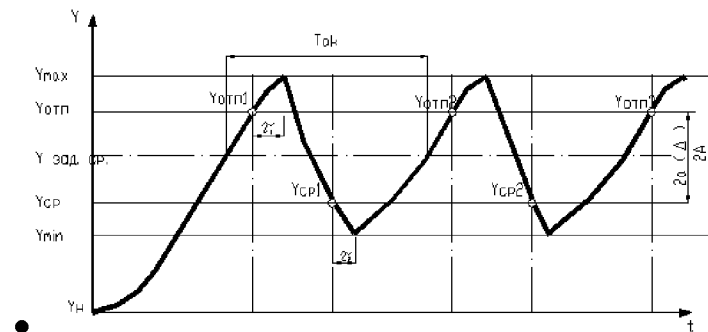
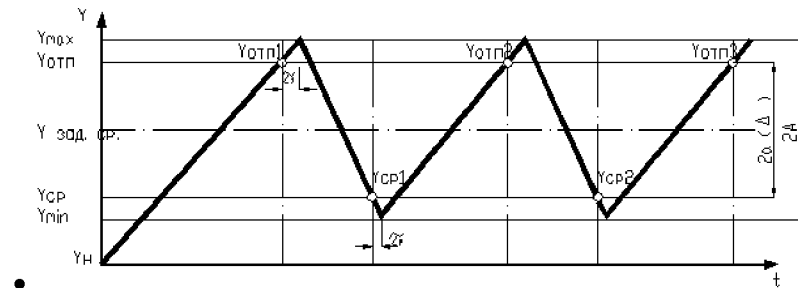
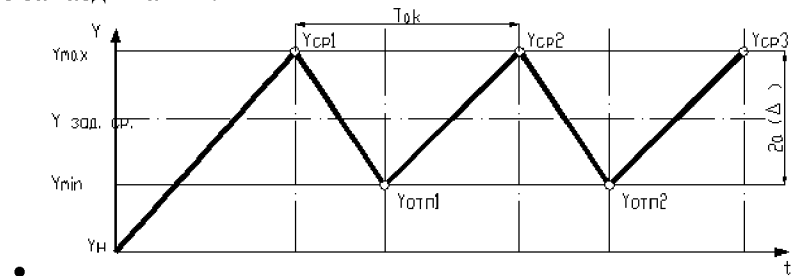
8. Выберите график, на котором представлены детерминированные потоки возмущений:



9. Какие регуляторы имеют статическую ошибку?

- П
- И
- ПИ
- ПИД

10. Выберите переходную характеристику, обеспечиваемую двухпозиционным регулятором для астатического объекта без запаздывания:



4.3. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЙ ПРАКТИЧЕСКОГО БЛОКА

Задания практического блока требуют по описанию разработать схему автоматизации (задание прил. 1) и перевести структурную

схему управления (прил. 2) в принципиальную электрическую. В результате работы с заданиями должно быть выполнено 3 листа: схема автоматизации, принципиальная электрическая схема управления, контроля и сигнализации и перечень к ней (образец выполнения практического задания, рассматриваемого ниже в примере, приведен в прил. 4).

Пример выполнения первого задания

Задание 1. Изобразить контур регулирования температуры воздуха в теплице на схеме автоматизации. Температура воздуха в теплице (рис. 26) измеряется датчиком, сигнал с которого поступает на регулятор, управляющий электродвигательным исполнительным механизмом смесительного клапана. Управление оборудованием ведется в автоматическом и ручном режимах.

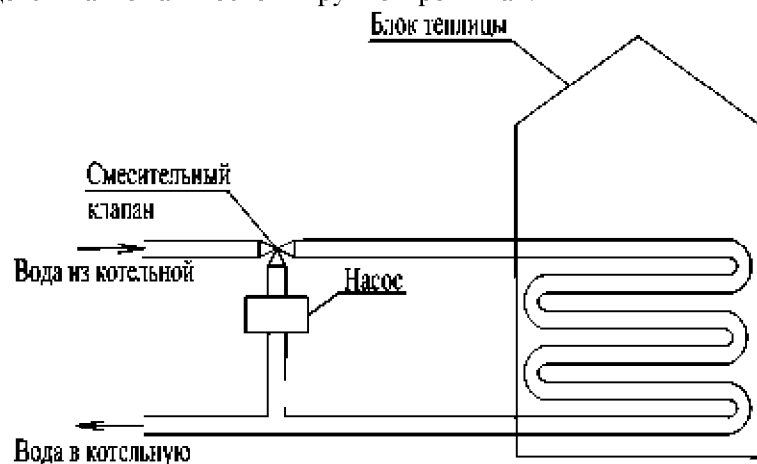


Рис. 26. Технологическая схема к варианту задания

Согласно ГОСТ 21.408–93 на схеме автоматизации изображают:

1. Технологическое и инженерное оборудование и коммуникации (трубопроводы, газоходы, воздухопроводы) автоматизируемого объекта.

2. Технические средства автоматизации или контуры контроля, регулирования и управления (контур – совокупность отдельных функционально связанных приборов, выполняющих определенную задачу по контролю, регулированию, сигнализации, управлению и т. д.).

3. Линии связи между отдельными техническими средствами автоматизации или контурами (при необходимости).

К изображению каждого из этих элементов предъявляют определенные требования [2, с. 231–247]. Технологическое оборудование на схеме автоматизации повторяет таковое, данное на технологической схеме. Но при этом требования к изображению некоторого оборудования заданы в ГОСТ 2.780–2.795, полный список которых приведен [2, с. 564]. В данном варианте на схеме рис. 1 дано упрощенное изображение насоса, который в соответствии с ГОСТ 2.782 на схеме автоматизации изображается несколько по иному – рис. 2 (то же относится к изображению вентиляторов, компрессоров, нагревателей и т. п., данных в вариантах задания прил. 1). Трубопроводная арматура изображается в соответствии с ГОСТ 2.785, выдержки из которого даны в [2, с. 232].

Условное обозначение трубопровода состоит из графического упрощенного изображения (ГОСТ 2.784–96) и обозначения транспортируемой среды согласно прил. 3 ГОСТ 14202 [2, с. 233].

Линия, изображающая трубопровод, является сплошной основной линией (толщина 0,5–1,5 мм по ГОСТ 2.303–68). То есть линия трубопровода выполняется в однолинейном исполнении на схеме автоматизации толщиной как минимум в два раза больше, чем линии изображения технологического оборудования. Обозначение среды указывают в разрыве линий трубопровода через расстояние не менее 50 мм. В соответствии с [2, с. 233] обозначение воды горячей (отопление) – 1.3. У изображения технологического оборудования и трубопроводов дают поясняющие надписи и указывают стрелками направления потоков на линиях трубопроводов.

Что касается технических средств автоматизации, то для их отображения на схеме следует тщательно проанализировать текст задания. Как в данном случае следует из задания, в состав технических средств входят: датчик температуры, регулятор, электродвигатель смесительного клапана и конечные выключатели, ограничивающие крайние положения клапана. Поскольку управления ведется не только в автоматическом режиме, но и в ручном, то на щите автоматики также необходимо предусмотреть переключатель режимов, кнопки и магнитные пускатели.

Требования к изображению приборов и средств автоматизации даны в [2, с. 235] (окружность диаметром 10 мм, внутри которой проставляют обозначение прибора). Принцип проставления обозначения прибора дан в [2, с. 240].

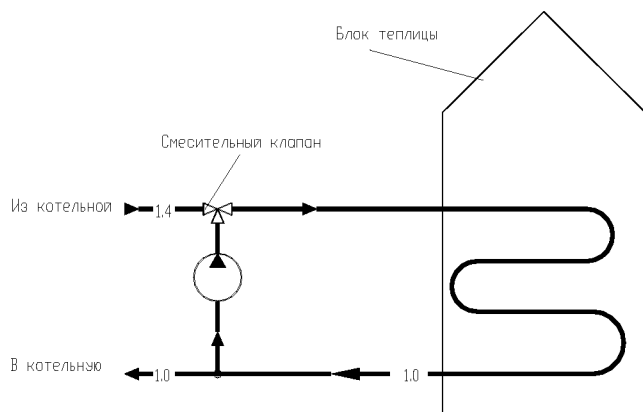


Рис. 27. Изображение технологического оборудования на схеме автоматизации теплицы

Обозначение измеряемой величины (первая буква) в соответствии с табл. 3.3 [2, с. 237–239] при измерении температуры T , положения G . Датчик на втором месте буквенного обозначения содержит символ E (чувствительный элемент); регулятор C (функция регулирования). Кнопка как аппарат ручного воздействия обозначается символом H ; переключатель – HS . Для обозначения магнитного пускателя использована резервная буква – NS . Всем приборам присваивают позицию, в соответствии с которой он заносится в спецификацию (нижняя часть окружности). Можно предложить нумеровать по порядку приборы (цифры не должны повторяться). Таким образом, разделив приборы на стоящие на технологическом оборудовании и в щите, связав их линиями связи (которые разорваны, поэтому обозначены места разрывов), получаем схему автоматизации, приведенную в прил. 4. При выполнении задания промежуточную схему (подобно рис. 27) можно не приводить. Достаточно окончательного результата (подобного рис. П4.1).

Задание 2. Перевести структуру управления линией кормораздачи в птичнике (рис. 28) в принципиальную электрическую схему управления: a – переключатель режимов; $z1$ – контакт реле времени; $Y1$ и $y1$ – катушка и контакт промежуточного реле; $X1$ и $x1$ – катушка и контакт магнитного пускателя управляющего приводом транспортера; $X2$, $X3$, $x3$ – катушки и контакт реверсивного магнитного пускателя, управляющего приводом ограничителя; $X4$ – сигнализация; $b1$ – датчик уровня корма в бункере; $b2$ – датчик

уровня корма в последнем ограничителе; $b3$, $b4$ – датчики положения ограничителей (конечные выключатели). Поясняющая технологическая схема приведена на рис. 29.

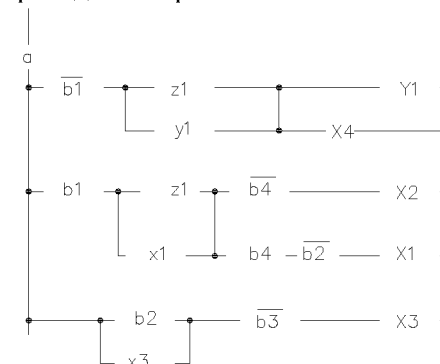


Рис. 28. Структура управления линией кормораздачи в автоматическом режиме

Подобную структурную схему будет иметь каждый и в индивидуальном задании. Ее необходимо преобразовать в принципиальную электрическую схему управления и сигнализации, требования к построению которой даны в [2, с. 248–273].

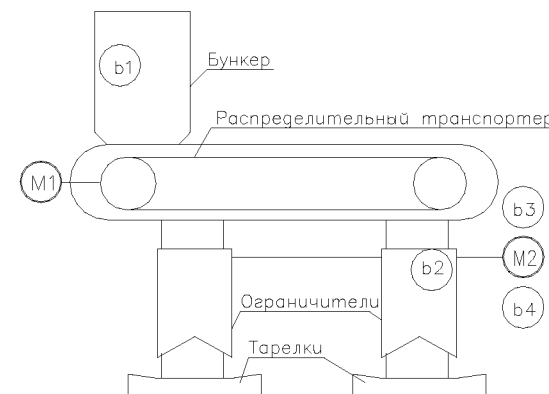


Рис. 29. Оборудование линии кормораздачи в птичнике

Рассмотрим порядок преобразования. Прежде всего, расшифруем обозначения элементов, используемых на структурной схеме. Элемент, обозначенный малой (строчной) буквой, является контактом аппарата. Элемент, обозначенный заглавной (прописной) буквой, является катушкой аппарата. Черта над элементом обозначает, что контакт нормально замкнутый, иначе – нормально разомкнутый.

После анализа обозначений можно приступить к разработке силовой части схемы. На основании обозначений можно сделать вывод, что ведется управление двумя двигателями (обычно в вариантах дана мощность каждого двигателя), один из которых является реверсивным (управление катушками X2 и X3). Поэтому, учитывая, что для двигателя должна быть предусмотрена аппаратура управления и защиты, можно сформировать фрагмент схемы, приведенный на рис. 30, в левом верхнем углу которого приведен символ ввода в шкаф управления.

Для всех аппаратов номинальное напряжение должно быть больше или равно напряжению линии.

Автоматический выключатель выбирают по номинальному току, который должен быть больше или равен длительному току линии ($I_{дл}$), и току уставки электромагнитного расцепителя, который должен быть больше или равен $1,25 I_{кр}$ (кратковременный ток линии).

Для предохранителя ток плавкой вставки должен быть больше или равен длительному току линии или должен быть больше или равен соотношения $\frac{I_{кр}}{\alpha}$, где α – коэффициент, значение которого зависит от продолжительности и частоты пусков (при обычных условиях 2,5).

Для остальных аппаратов номинальный ток должен быть больше или равен длительному току линии.

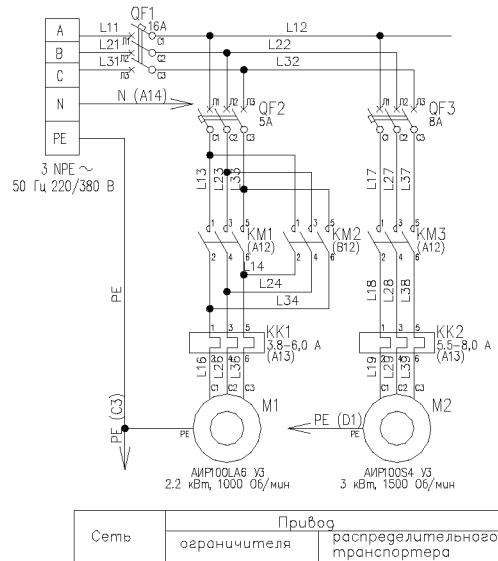


Рис. 30. Силовая часть принципиальной схемы

Длительный ток линии для ответвления к отдельному токоприемнику равен номинальному току токоприемника:

– для электродвигателя:

$$I_{дл} = I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi_n \eta_n} \approx 2P_n,$$

где P_n – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

U_n – напряжение сети, 380 В;

$\cos \varphi$ – среднее значение номинального коэффициента мощности двигателя, 0,85;

η_n – среднее значение номинального коэффициента полезного действия;

– для калорифера:

$I_{дл} = I_n \approx 1,5P_n$, при трехфазной симметричной нагрузке от нагревателей и ламп накаливания, с учетом того, что для группы токоприемников

$$\cos \varphi = \eta_n = 1$$

$$I_{дл} = \frac{S_{рас}}{\sqrt{3}U},$$

где $S_{рас}$ – расчетная полная мощность группы, кВт;

U – напряжение цепи, кВ.

Кратковременный ток для ответвления к электродвигателю равен пусковому току ($I_n = (5...7)I_n$). Для группы электродвигателей:

$$I_{кр} = \sqrt{I_{наиб}^2 + (\sum I_n)^2},$$

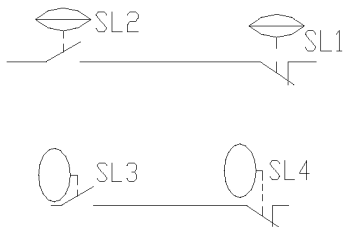

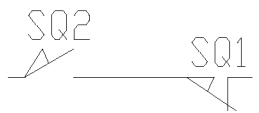


где $I_{наиб}$ – пусковой ток электродвигателя или группы одновременно включаемых электродвигателей, при пуске которого (которых) кратковременный ток линии достигает наибольшего значения;

$\sum I_n$ – сумма номинальных токов электродвигателей, определяемая без учета тока пускаемого электродвигателя.

После разработки силовой части схемы приступают к переводу структуры управления. При этом буквенные обозначения элементов

структурной схемы переводят в графические обозначения схемы принципиальной. Возможное условное графическое обозначение (УГО) элементов, приведенных в структурах, для принципиальной схемы дано в табл. 7.

Таблица 7

Примеры перевода обозначений элементов на структурной схеме в УГО принципиальной электрической схемы	
Изображение на структуре	УГО
<p>Здесь b1 и b2 являются датчиками уровня</p> <p>b1 b2</p>	<p>или</p> <p>в зависимости от типа датчика (мембранный или поплавковый)</p> 
<p>Здесь b1 и b2 являются датчиками температуры</p> <p>b1 b2</p>	
<p>Здесь b1 и b2 являются конечными выключателями</p> <p>b1 b2</p>	
<p>Здесь x1 и y2 являются контактами магнитного пускателя и промежуточного реле</p> <p>x1 y2</p>	
<p>Здесь c1 и z2 являются контактами кнопки и реле времени</p> <p>c1 z2</p>	

Окончание таблицы 7

Изображение на структуре	УГО
X1	KM1
Z1	KT1
YA2	YA2

Здесь X1, Z1 и YA2 являются катушками магнитного пускателя, реле времени и электромагнита

Учитывая, что управление ведется в двух режимах, заменяют буквенное обозначение переключателя со структурной схемы на условное графическое изображение, используемое на принципиальных схемах (рис. 31).

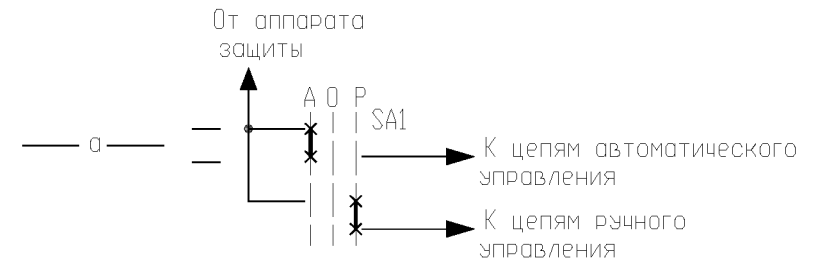
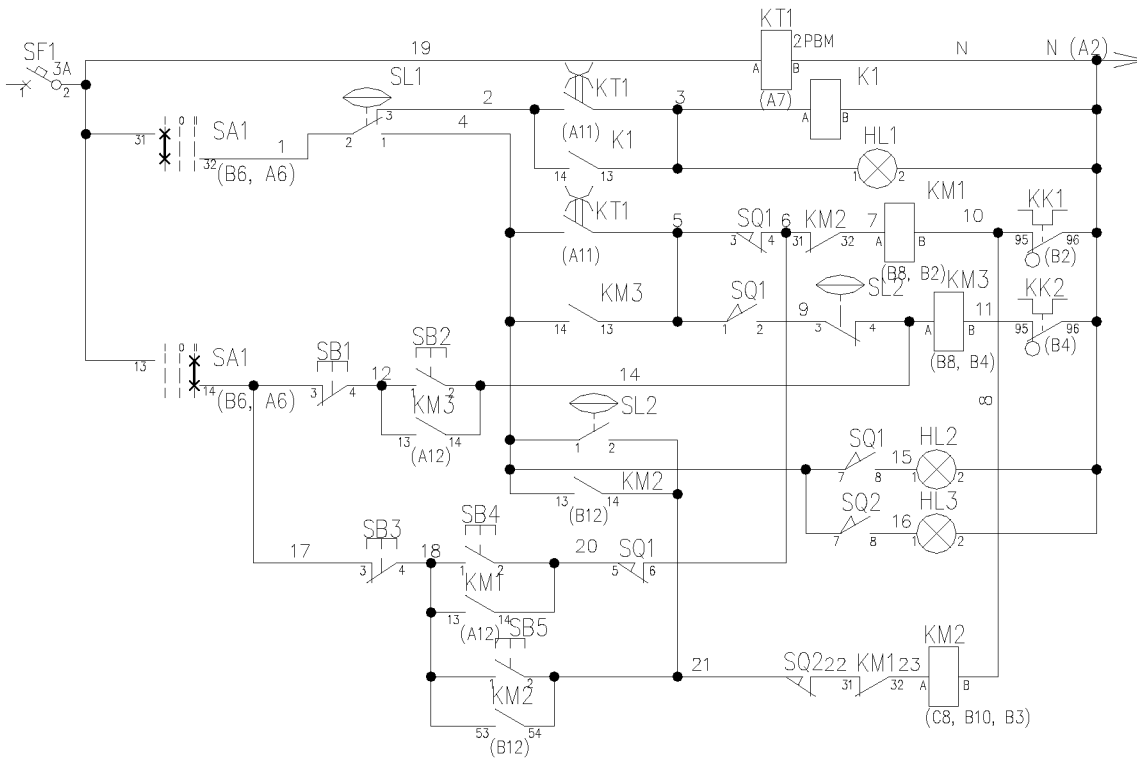


Рис. 31. Изображение переключателя на принципиальной схеме

Далее аналогично по обозначениям, данным в структуре, приводят УГО других элементов, соединяя их линиями связи. При этом необходимо учитывать, что тепловую защиту для электродвигателя (контакт теплового реле) необходимо добавлять самому. После этого остается дополнить схему цепями ручного управления и сигнализацией [2, с. 262–267]. Результат преобразования структуры в принципиальную электрическую схему управления и сигнализации приведен на рис. 32.



Реле	времени проме- жуточ. ное
Опуска- ние ограни- чителя	
Распре- дитель- ный тран- спортер	
Техноло- гичес- кая сигнали- зация	
Подъем ограни- чителя	

Рис. 32. Принципиальная электрическая схема управления по варианту задания

Цепи ручного управления включают или кнопки «Пуск», «Стоп» и блокировочный контакт для управления пускателем нереверсивного электродвигателя (например, кнопки SB1, SB2 и контакт KM3) или кнопку «Пуск» (например, SB4), которая подает питание через блокировочный контакт конечного выключателя на катушку пускателя при управлении реверсивным электродвигателем. Сигнализация может быть аварийная (HL1) и технологическая (HL2–HL3), сигнализирующая о работе привода либо установке механизмов в конечные положения.

Полная принципиальная электрическая схема управления, контроля и сигнализации приведена в прил. 4. Сведения об элементах принципиальной схемы размещают в перечне элементов, пример которого приведен в прил. 4.

ГЛОССАРИЙ

Автоматизация – область науки и техники, связанная с применением технических средств, математических методов, систем контроля и управления, освобождающих человека частично или полностью от непосредственного участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов, продуктов или информации.

Автоматизация технологических процессов – это этап комплексной механизации, характеризуемый освобождением человека от непосредственного выполнения функций управления технологическими процессами и передачей этих функций автоматическим устройствам.

Автоматизированные системы управления производством – это человеко-машинная система, обеспечивающая автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации и управления в различных сферах, главным образом в организационно-экономической деятельности человека, например: управление хозяйственно-плановой деятельностью отрасли, предприятием, комплексом, территориальным регионом.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами – это человеко-машинная система, предназначенная для контроля режимов работы, сбора и обработки информации о протекании технологических процессов локальных производств.

Автоматическая защита – это совокупность технических средств, которые при возникновении ненормальных и аварийных режимов прекращают контролируемый производственный процесс.

Автоматическая сигнализация – технические средства, предназначенные для оповещения обслуживающего персонала о предельных или аварийных значениях каких-либо физических параметров, о месте и характере нарушений технологического процесса.

Автоматическая сортировка – это техническое устройство, осуществляющее контроль и разделение продуктов по размеру, весу, твердости, вязкости и другим показателям.

Автоматический сбор информации – это техническое устройство, предназначенное для получения информации о ходе ТП, о качестве и количестве выпускаемой продукции и для дальнейшей обработки, хранения и выдачи информации обслуживающему персоналу.

Автоматическое измерение – технические средства, позволяющие измерять и передавать на специальные указательные или регистрирующие приборы значения физических величин, характеризующих технологический процесс или работу машин.

Автоматическое регулирование – процесс автоматического поддержания какого-либо параметра на заданном уровне или изменение его по определенному закону.

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

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

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

Возмущающее воздействие – это образовавшиеся в результате естественного функционирования технологического процесса однородные потоки вещества или энергии, непосредственно влияющие на состояние управляемой величины.

Время разгона объекта – это период вывода регулируемой величины от исходного до номинального для данного процесса значения.

Время регулирования – это время, в течение которого регулируемая величина установится в допустимых пределах отклонения.

Датчик – это устройство, предназначенное для измерения физических неэлектрических величин и преобразования их в сигналы аналогового или цифрового вида.

Динамическая характеристика – это характеристика, определяющая продолжительность и характер процесса изменения выходной переменной объекта во времени при переходе объекта из одного установившегося состояния в другое; она описывается уравнением вида $y = f(x, t)$, где t – время.

Закон регулирования – это функциональная связь между выходным сигналом (координатой) регулятора и его входной координатой как в установившемся, так и в переходном режиме.

Информационные параметры – физические величины, представляющие собой определенное пространственное распределение последовательных серий импульсов на одной или нескольких параллельных линиях, распределение точек изображения на плоскости и т. д.

Исполнительный механизм – это устройство (элемент), которое воспринимает сигнал устройства управления и воздействует на управляемый вход объекта управления.

Комплексная автоматизация – это такая автоматизация, когда функции человека сводятся к наблюдению за ходом процесса, его анализу и изменению режима работы автоматических устройств с целью достижения наилучших технико-экономических показателей.

Объект автоматизации – устройство или совокупность устройств (и биологических объектов), непосредственно осуществляющих технологический процесс, нуждающийся в оказании специально организованных воздействий извне для выполнения его алгоритма.

Передаточная функция $W(P)$ – передаточной функцией называется отношение изображения Лапласа выходной величины к изображению Лапласа входного воздействия при нулевых начальных условиях.

Перерегулирование – это допустимое кратковременное отклонение от номинального значения регулируемой величины.

Переходная характеристика – переходной характеристикой объекта называется динамическая характеристика, определяющая изменение выходной величины объекта во времени при входном ступенчатом воздействии.

Полная автоматизация – это уровень автоматизации, при котором за обслуживающим персоналом остаются функции периодического осмотра, профилактического ремонта и перестройки всей системы на новые режимы работы.

Принципиальная схема – это схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы изделия. *Проект автоматизации технологического процесса* – совокупность технической документации, необходимой и достаточной для реализации оптимального варианта автоматизации технологического процесса.

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

Регулирующий орган – устройство, через которое осуществляется изменение регулирующего потока вещества или энергии, влияющего на состояние технологического параметра объекта управления.

Регулятор – специальное устройство, осуществляющее автоматическое регулирование.

Синтез систем автоматического управления – раздел автоматики, рассматривающий методы автоматизированного проектирования различных систем управления с заданными свойствами при ограниченных исходных данных.

Система автоматизированного управления – комплекс устройств, обеспечивающих изменение ряда координат объекта управления с целью установления желаемого режима работы объекта.

Система автоматического регулирования – совокупность регулятора и объекта управления.

Статическая характеристика – это зависимость выходной переменной от входной в статическом состоянии $y = f(x)$.

Стохастический – случайный, вероятностный.

Схема автоматизации – основной технический документ, определяющий функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации.

Технологическая операция – механическое или физико-химическое воздействие на продукт или преобразование одних продуктов в другие.

Технологический процесс – совокупность приемов и операций, целесообразно направленных на перевод материала или продукта из исходного состояния к необходимому конечному состоянию.

Частичная автоматизация – это автоматизация, которая распространяется на отдельные производственные операции и установки и не освобождает человека от участия в производственном процессе, а только облегчает его труд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация технологических процессов : типовая учеб. программа для высш. учеб. заведений для специальности 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (по направлениям)» / сост. : Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. – Минск : БГАТУ, 2011. – 20 с.
2. Фурсенко, С. Н. Автоматизация технологических процессов: учеб. пособие / С. Н. Фурсенко, Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. – Минск : БГАТУ, 2007. – 592 с.
3. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов / И. Ф. Бородин, Н. М. Недилько. – М. : Агропромиздат, 1986. – 368 с.
4. Дубровный, В. А. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования / В. А. Дубровный, В. Г. Забогрицкий, В. Г. Трегуб. – Киев : Наукова думка, 1981. – 940 с.

Варианты заданий по разработке схемы автоматизации

ПРИЛОЖЕНИЯ

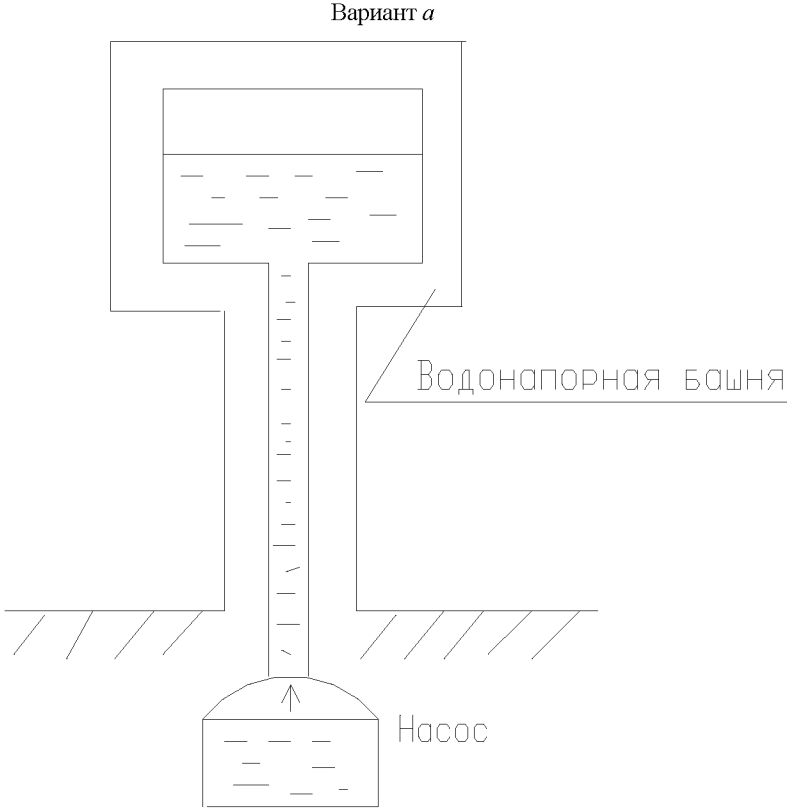


Рис. III.1. Технологическая схема к варианту а задания

Показать на схеме автоматизации контур управления ЭД насоса водоснабжающей башенной установки. Контур состоит из датчика и регулятора уровня, магнитного пускателя. Кроме того, необходимо предусмотреть ручное управление насосом и сигнализацию его работы.

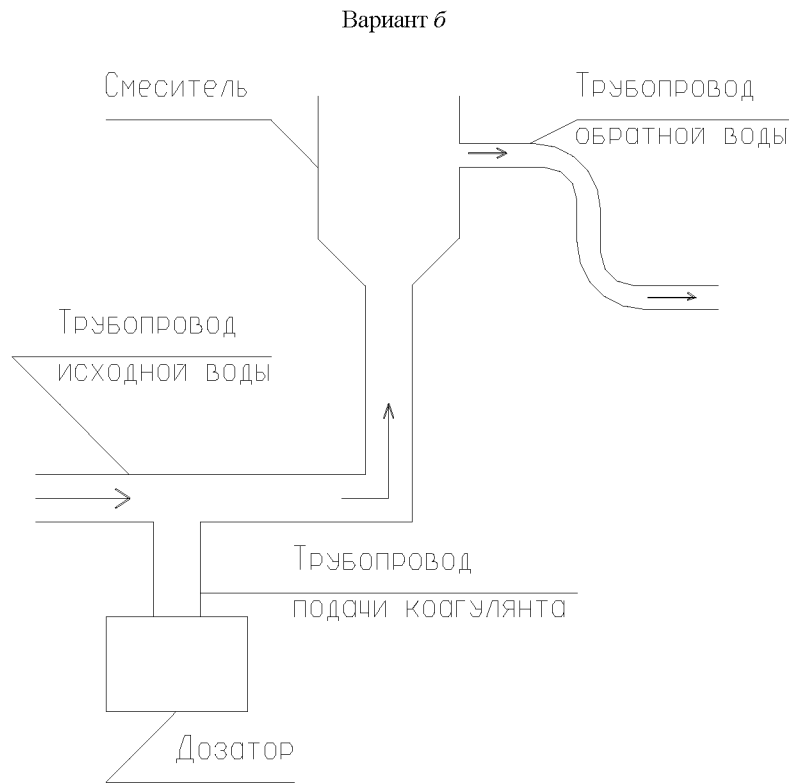


Рис. III.2. Технологическая схема к варианту б задания

Изобразить на схеме автоматизации контур регулирования подачи коагулянта на станции водоподготовки. Регулирование осуществляется прибором, сигнал на который поступает с вторичного прибора, к которому подключены датчики для измерения электропроводностей исходной и обработанной воды. Сигнал с регулятора поступает на реверсивный магнитный пускатель, управляющий исполнительным механизмом дозатора. Управление оборудованием ведется в автоматическом и ручном режимах. Необходимо также предусмотреть указатель расхода коагулянта по месту.

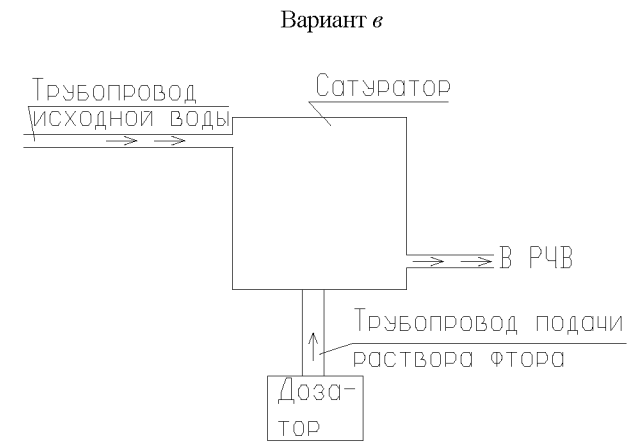


Рис. III.3. Технологическая схема к варианту в задания

Разработать схему автоматизации процесса фторирования. Подачей фтора управляют с помощью следующего контура: сигналы с анализатора фтора и расходомера, устанавливаемых на трубопроводе исходной воды, поступают на регулятор, вырабатывающий сигнал, подаваемый на реверсивный магнитный пускатель, управляющий исполнительным механизмом дозатора. Управление оборудованием ведется в автоматическом и ручном режимах.

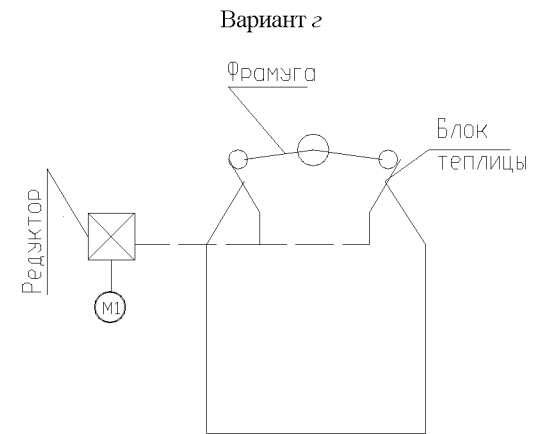


Рис. III.4. Технологическая схема к варианту г задания

Изобразить на схеме автоматизации контур регулирования температуры воздуха в теплице. Температура воздуха в теплице измеряется датчиком, сигнал с которого поступает на регулятор, управляющий электродвигателем М1, который через редуктор открывает либо закрывает фрамуги. Крайние положения фрамуги фиксируются конечными выключателями. Управление оборудованием ведется в автоматическом и ручном режимах. На щите должна быть предусмотрена сигнализация крайних положений фрамуг.

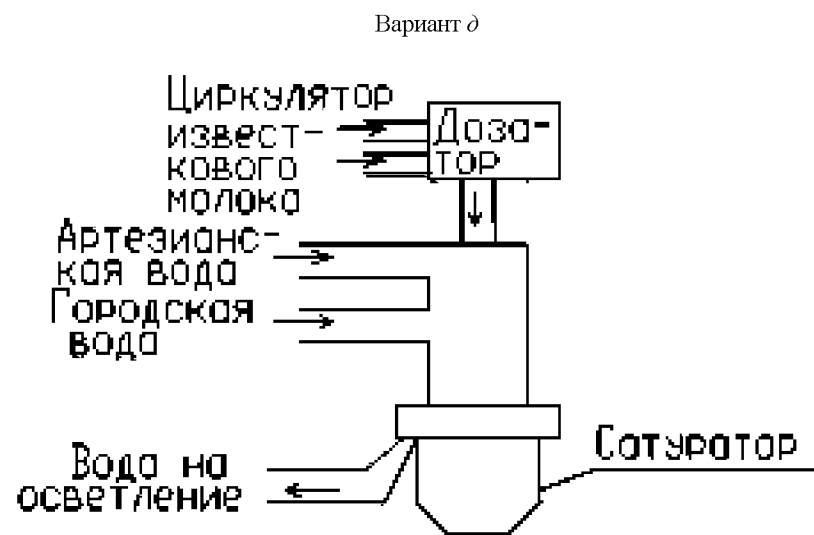


Рис. III.5. Технологическая схема к варианту д задания

Разработать схему автоматизации процесса умягчения воды. Дозирование реагента в сатуратор производится с помощью рН-метра, установленного в сатураторе, и расходомеров, установленных на трубопроводах артезианской и городской воды. Вначале суммируются сигналы от расходомеров, а затем с помощью регулятора по суммируемому сигналу и сигналу от рН-метра вычисляется требуемая доза реагента, и через магнитный пускатель подается управляющий сигнал на исполнительный механизм дозатора. Управление оборудованием ведется в автоматическом и ручном режимах.

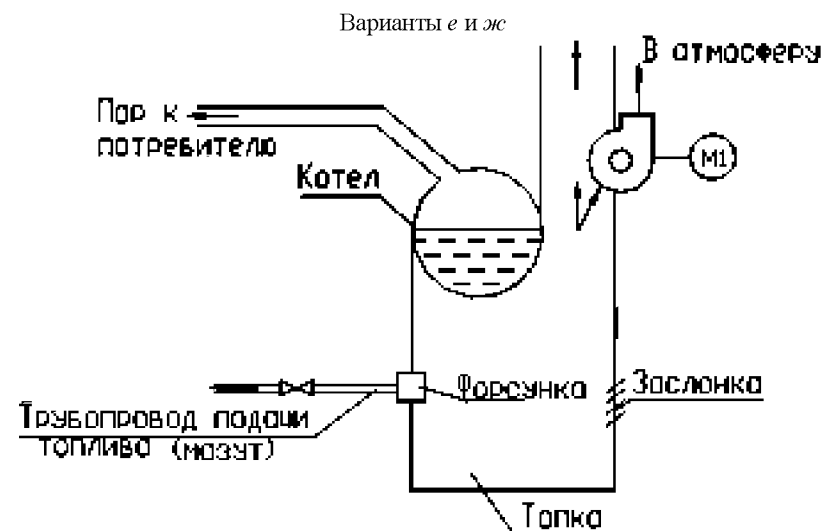


Рис. III.6. Технологическая схема к вариантам е и ж задания

Изобразить на схеме автоматизации:

е – контур регулирования нагрузки котла;

ж – контур регулирования разрежения в топке.

Конечные положения исполнительных механизмов ограничиваются конечными выключателями. Управление оборудованием ведется в автоматическом и ручном режимах.

Вариант е. Регулирование нагрузки котла производится с помощью сигнала от датчика давления пара, установленного на трубопроводе подачи пара к потребителю. Данный сигнал подается на регулятор, который через магнитный пускатель управляет исполнительным механизмом вентиля на трубопроводе подачи топлива.

Вариант ж. Контур состоит из дифманометра, измеряющего разрежение в топке, сигнал с которого поступает на регулятор, подающий сигнал на исполнительный механизм заслонок либо дополнительно включающий привод М1 вентилятора.

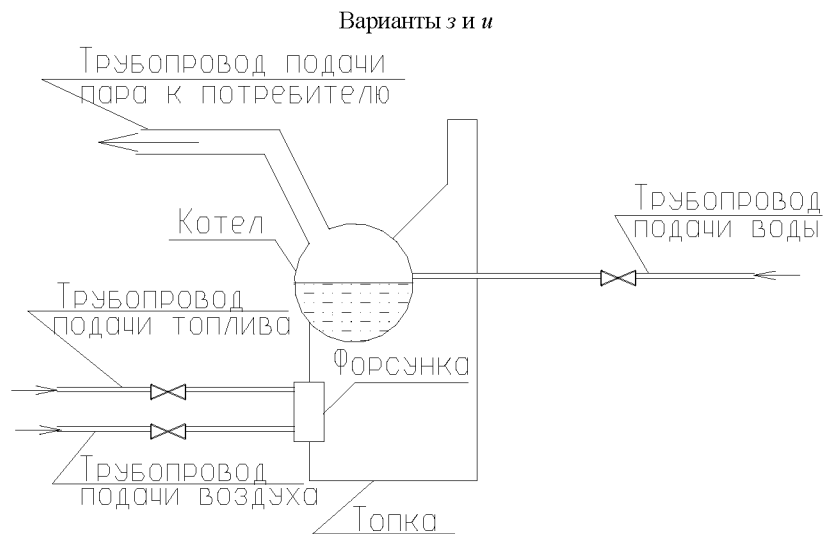


Рис. III.7. Технологическая схема к вариантам з и и задания

Изобразить на схеме автоматизации:

з – контур регулирования соотношения топливо–воздух для котла;

и – контур питания котла.

Конечные положения исполнительных механизмов ограничиваются конечными выключателями. Управление оборудованием ведется в автоматическом и ручном режимах.

Вариант з. Контур соотношения топливо–воздух состоит из дифманометра, контролирующего давление газообразного топлива, дифманометра, измеряющего разность давлений в воздухопроводе и атмосферного воздуха. Сигналы от дифманометров поступают на регулятор, посылающий сигнал на исполнительный механизм, управляющий вентилем на трубопроводе подачи воздуха.

Вариант и. Контур регулирования питания котла состоит из датчика уровня воды (минимального и максимального), сигнал с которого подается на регулятор, управляющий исполнительным механизмом, который изменяет с помощью вентиля подачу воды в котел.

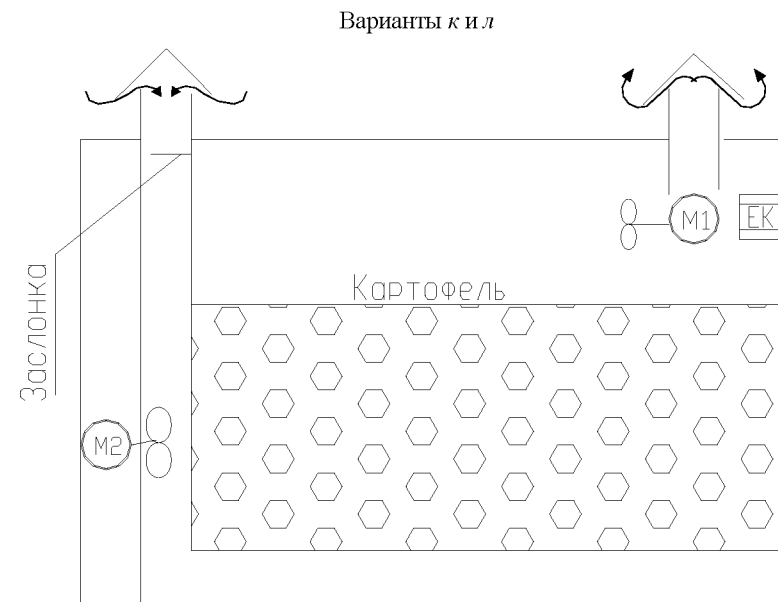


Рис. III.8. Технологическая схема к вариантам к и л задания

Изобразить на схеме автоматизации:

к – контур управления обогревом верхней зоны картофелехранилища;

л – контур управления основным вентилятором в лечебный период.

Управление оборудованием ведется в автоматическом и ручном режимах.

Вариант к. Контур состоит из датчика температуры, измеряющего температуру верхней зоны картофелехранилища. Сигнал с него поступает на регулятор, который с помощью магнитного пускателя включает осевой вентилятор (М1) и нагреватель ЕК. Включение в работу обогревателя возможно только при закрытой заслонке.

Вариант л. При закрытой заслонке управление электродвигателем М2 основного вентилятора ведется по сигналу от реле времени.

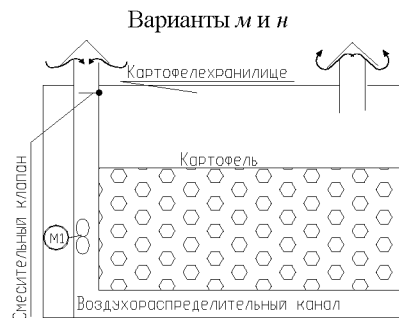


Рис. III.9. Технологическая схема к вариантам *м* и *н* задания

Изобразить на схеме автоматизации:

м – контур управления смесительным клапаном;

н – контур управления основным вентилятором в период охлаждения.

Конечные положения исполнительного механизма ограничиваются конечными выключателями. Управление оборудованием ведется в автоматическом и ручном режимах.

Вариант м. Контур состоит из датчика температуры в воздуховораспределительном канале. Сигнал с него подается на регулятор, который посредством реверсивного магнитного пускателя управляет исполнительным механизмом клапана.

Вариант н. Контур состоит из дифференциального регулятора, датчики которого изменяют температуру наружного и внутреннего воздуха. Если температура наружного воздуха меньше температуры внутреннего, он включает регуляторы температуры, датчики которых измеряют температуру массы картофеля и температуру в канале. Если температура в массе картофеля выше заданной, а в канале – не отрицательная, включается в работу вентилятор.

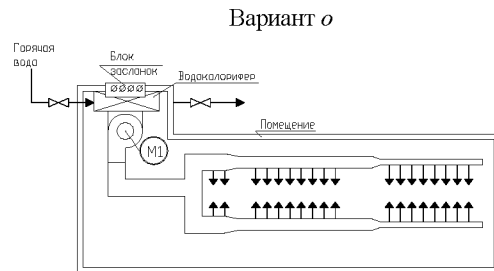


Рис. III.10. Технологическая схема к варианту *о* задания

Изобразить на схеме автоматизации контур управления приточной вентиляцией в животноводческом помещении. Температура приточного воздуха регулируется путем изменения расхода горячей воды через водокалорифер с помощью датчика и регулятора температуры. Конечные положения исполнительного механизма ограничиваются конечными выключателями. Управление оборудованием ведется в автоматическом и ручном режимах.

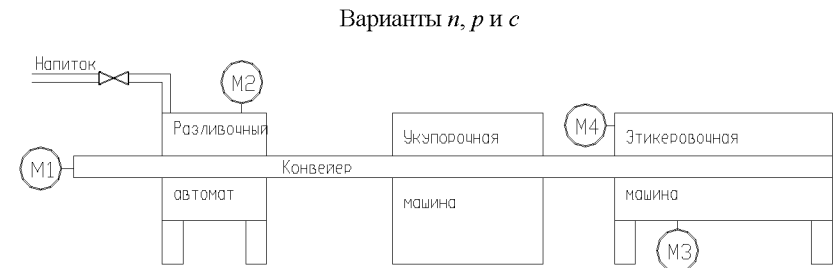


Рис. III.11. Технологическая схема к вариантам *п*, *р* и *с* задания

Изобразить схему автоматизации технологического процесса разлива напитков. Управление оборудованием ведется в автоматическом и ручном режимах.

Вариант п. Приведите контур управления конвейером (M1), который включается в работу, если обеспечен требуемый уровень напитка в баке разливочного автомата и нет перекоса звездочек (фиксирует конечный выключатель).

Вариант р. Приведите контур управления разливочным автоматом. При снижении уровня напитка в баке открывается вентиль на трубопроводе. При наличии бутылки и закрытом кожухе срабатывает электродвигатель автомата.

Вариант с. Приведите контур управления этикетировочной машиной. Привод M3 срабатывает при включении конвейера. При наличии бутылки на входе подается сигнал на частотный преобразователь, который приостанавливает привод M4 на время прохождения бутылки, затем включается на определенное время на большую скорость и далее снова переключается на малую. Управляет частотным преобразователем контроллер.

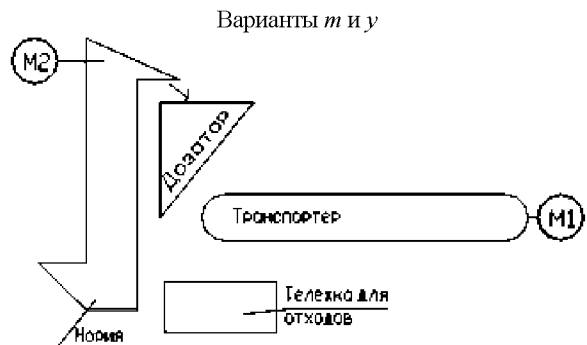


Рис. III.12. Технологическая схема к вариантам *т* и *у* задания

Изобразить на схеме автоматизации процесса кормораздачи соответствующие контуры управления (предусмотреть ручное управление и сигнализацию).

Вариант т. Контур управления реверсивным электродвигателем транспортера. При наличии сигнала на кормораздачу (реле времени) транспортер выгружает отходы в тележку (пока не сработает конечный выключатель), потом срабатывает на кормораздачу и останавливается по сигналу от конечного выключателя.

Вариант у. Контур управления электродвигателем M2, который срабатывает при разгрузке дозатора до некоторого минимального уровня при наличии корма в завальной яме и отключается при срабатывании датчика верхнего уровня в дозаторе.

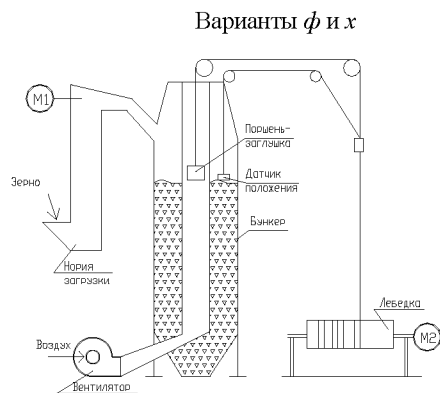


Рис. III.13. Технологическая схема к вариантам *ф* и *х* задания

Изобразить на схеме автоматизации бункера активного вентилирования:

ф – контур управления поршнем-заглушкой;

х – контур управления загрузкой бункера.

Вариант ф. Контур содержит конечный выключатель на поршне-заглушке, датчик положения зерна, реверсивный магнитный пускатель управления лебедкой, магнитный пускатель привода нории, переключатель режимов управления, сигнализацию положения заглушки. При включении магнитного пускателя нории подается сигнал на поднятие поршня. При срабатывании датчика положения поднятие прекращается. После выключения привода нории поршень опускается, пока не сработает датчик положения.

Вариант х. Контур состоит из датчиков верхнего и нижнего уровня, магнитного пускателя привода нории, переключателя режимов работы, кнопок ручного управления и сигнализации полной загрузки бункера.

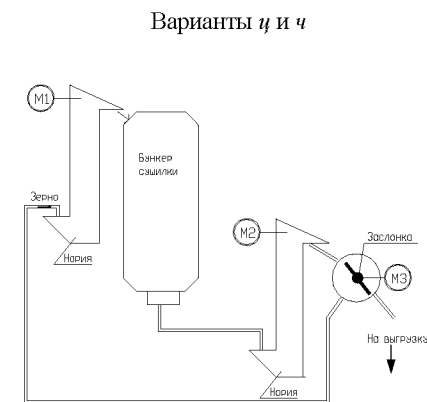


Рис. III.14. Технологическая схема к вариантам *ц* и *ч* задания

Показать на схеме автоматизации сушки зерна соответствующие контуры управления. Конечные положения исполнительных механизмов ограничиваются конечными выключателями. Управление оборудованием ведется в автоматическом и ручном режимах.

Вариант ц. Контур переключения заслонки на повторную сушку. Контур включает термодатчик, контролирующей максимальную температуру зерна (нижняя зона бункера), с которого сигнал поступает на терморегулятор, управляющий магнитным пускателем исполнительного механизма заслонки, переводящим

в положение на повторную сушку. Предусмотреть сигнализацию положения.

Вариант ч. Контур переключения заслонки на выгрузку зерна в хранилище. То же, что и в *ц*, но управление ведется по датчику влажности выходящего из бункера зерна.

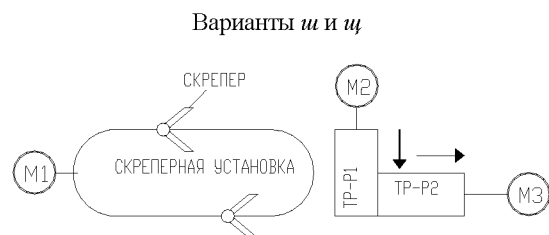


Рис. III.15. Технологическая схема к вариантам ш и ц задания

Изобразить на схеме автоматизации скреперной установки указанные в вариантах контуры управления. Управление оборудованием ведется в автоматическом и ручном режимах. Предусмотреть технологическую сигнализацию.

Вариант ш. Контур управления реверсивным электродвигателем М1, который включается в работу по сигналу реле времени и работает цикл прохождения в обе стороны по датчикам положения.

Вариант ц. Контур управления электродвигателями транспортеров. Электродвигатель М3 срабатывает по сигналу конечного выключателя, за ним срабатывает М2. После истечения определенного времени выключаются оба транспортера.

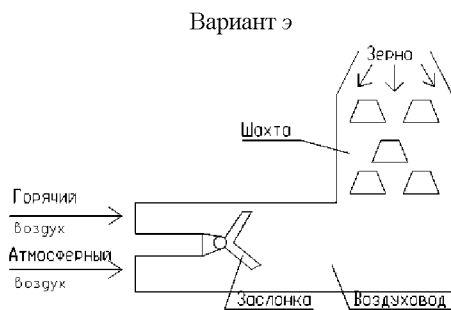


Рис. III.16. Технологическая схема к варианту э задания

Изобразить на схеме автоматизации контур регулирования температуры теплоносителя в шахтной зерносушилке. Температура теплоносителя поддерживается регулятором температуры, который с помощью электродвигательного исполнительного механизма управляет заслонкой, устанавливающей соотношение горячего и атмосферного воздуха. Конечные положения исполнительного механизма ограничиваются конечными выключателями. Управление оборудованием ведется в автоматическом и ручном режимах. Предусмотреть сигнализацию крайних положений заслонки.

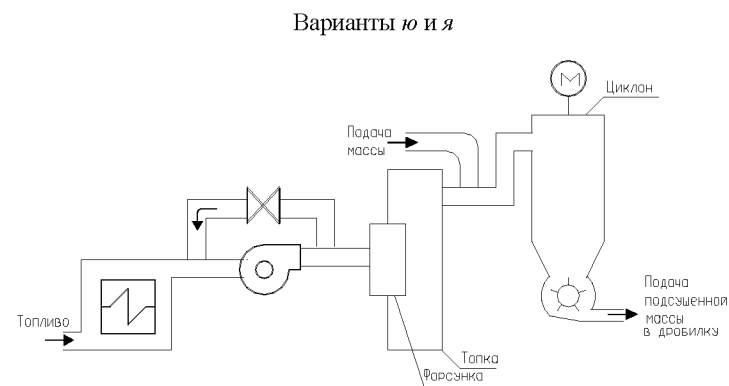


Рис. III.17. Технологическая схема к вариантам ю и я задания

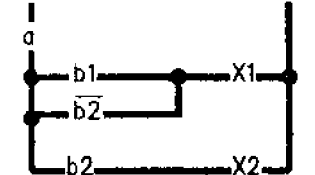
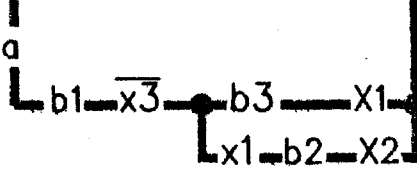
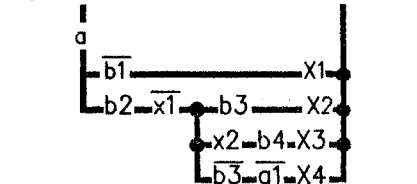
Изобразить на схеме автоматизации процесса сушки травяной муки: *ю* – контур управления температурой теплоносителя; *я* – контур управления температурой топлива.

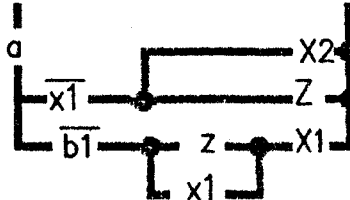
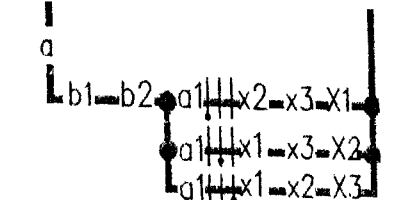
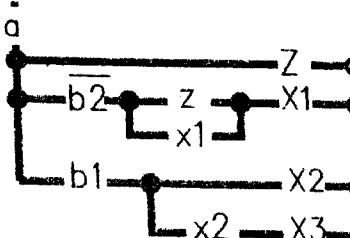
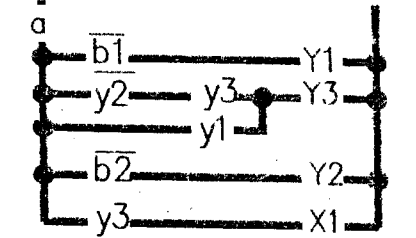
Управление оборудованием ведется в автоматическом и ручном режимах.

Вариант ю. Контур состоит из датчика температуры газов на выходе из циклона, сигнал от которого поступает на терморегулятор, управляющий подачей топлива в форсунку с помощью электромагнитного вентиля, установленного на обратном трубопроводе.

Вариант я. Температура топлива, подаваемого насосом в топку, поддерживается на уровне 75 °С при помощи контактного термодатчика, сигнал с которого поступает на терморегулятор, управляющий магнитным пускателем электронагревателя. Предусмотреть контроль давления топлива перед форсункой по месту.

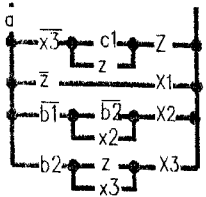
Варианты заданий по переводу структуры управления в принципиальную электрическую схему управления

<p>Вариант 1</p>  <p>Структурная схема управления воздухообменом: <i>a</i> – переключатель режимов; <i>b1</i> – контакт позиционного регулятора температуры (датчик находится снаружи), замыкающийся при температуре более 8 °С; <i>b2</i> – то же, но переключающийся при температуре 0 °С; <i>X1</i> и <i>X2</i> – магнитные пускатели управления электродвигателями вентиляторов (2,2 кВт и 5,5 кВт)</p>	<p>Вариант 2</p>  <p>Структурная схема управления температурой зерна в бункере активного вентилирования: <i>a</i> – переключатель режимов; <i>b1</i> – контакт датчика нижнего уровня; <i>b2</i> – контакт регулятора влажности; <i>b3</i> – контакт позиционного регулятора температуры; <i>x3</i> – контакт магнитного пускателя нории загрузки; <i>X1</i> и <i>X2</i> – магнитные пускатели управления электродвигателями вентилятора и калорифера (5,5 кВт и 2,2 кВт)</p>
<p>Вариант 3</p>  <p>Структурная схема управления поршнем-заглушкой в бункере активного вентилирования: <i>a</i> – переключатель режимов; <i>b1</i> – контакт датчика верхнего уровня; <i>b2</i> и <i>b3</i> – контакты конечных выключателей, фиксирующих верхнее и нижнее положение поршня; <i>X1</i>, <i>X2</i>, <i>X3</i> – магнитные пускатели управления электродвигателями нории и поршня-заглушки (5 кВт и 2,2 кВт)</p>	<p>Вариант 4</p>  <p>Структурная схема управления влажностью зерна в бункере активного вентилирования: <i>a</i> – переключатель режимов; <i>a1</i> – кнопка «стоп»; <i>b1</i>, <i>b2</i> – контакты датчиков верхнего и нижнего уровней; <i>b3</i>, <i>b4</i> – контакты регуляторов влажности зерна и подаваемого воздуха; <i>X1</i>, <i>X2</i>, <i>X3</i> – магнитные пускатели управления электродвигателями нории, вентилятора и калорифера (2,2 кВт, 5 кВт и 1,5 кВт); <i>X4</i> – звонок</p>

<p>Вариант 5</p>  <p>Структурная схема управления работой абсорбционного блока: <i>a</i> – переключатель режимов; <i>b1</i> – контакт позиционного регулятора температуры; <i>X1</i> и <i>X2</i> – катушки электромагнитных вентилей подачи воздуха в режимах восстановления и осушки; <i>Z</i> – реле времени</p>	<p>Вариант 6</p>  <p>Структурная схема управления установкой приточной вентиляции: <i>a</i> – переключатель режимов; <i>a1</i> – переключатель ступеней частоты вращения вентилятора; <i>b1</i> и <i>b2</i> – контакты регуляторов температуры воздуха в помещении и защиты от замораживания; <i>X1</i>, <i>X2</i> и <i>X3</i> – магнитные пускатели управления ступенями вращения вентиляторов (5,5 кВт)</p>
<p>Вариант 7</p>  <p>Структурная схема управления линией кормораздачи: <i>a</i> – переключатель режимов; <i>b1</i> – датчик наличия потока корма; <i>b2</i> – датчик заполнения кормушек; <i>X1</i>, <i>X2</i> и <i>X3</i> – магнитные пускатели управления раздаточным устройством бункера и раздаточных транспортеров (8 кВт, 5 кВт и 3 кВт); <i>Z</i> – реле времени</p>	<p>Вариант 8</p>  <p>Структурная схема регулирования уровня в резервуаре: <i>a</i> – переключатель режимов; <i>b1</i>, <i>b2</i> – контакты датчиков верхнего и нижнего уровней; <i>X1</i> – магнитный пускатель управления насосом (3 кВт); <i>Y1</i>–<i>Y3</i> – промежуточные реле</p>

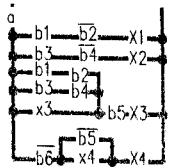
Примечание. Элемент с инверсией (чертой), например, $\overline{b1}$, означает, что это нормально-замкнутый контакт, без инверсии – нормально разомкнутый контакт. Прописной буквой обозначается катушка.

Вариант 9



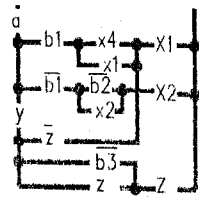
Структурная схема управления линией запаривания картофеля: *a* – переключатель режимов; *b1*, *b2* – контакты датчиков верхнего и нижнего уровней; *X1* – катушка вентиля подачи пара; *X2* и *X3* – магнитные пускатели управления загрузкой и разгрузкой запарника (5 кВт и 3 кВт); *Z* – реле времени; *c1* – контакт терморегулятора

Вариант 11



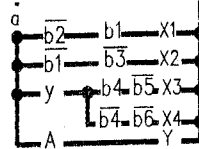
Структурная схема управления разгрузкой колонки: *a* – переключатель режимов; *b1* и *b3* – контакты регуляторов температуры и влажности; *b2* и *b4* – контакты конечных выключателей, фиксирующих крайние положения механизма заслонки; *b5*, *b6* – контакты датчиков верхнего и нижнего уровней; *X1* и *X2*, *X3*, *X4* – магнитные пускатели управления механизмом заслонки, разгрузочным устройством колонки и норией выгрузки (0,75 кВт, 1,5 кВт и 3 кВт)

Вариант 10



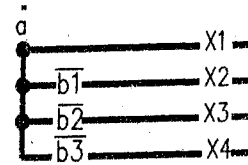
Структурная схема управления разгрузкой шахты: *a* – переключатель режимов; *b1*, *b2* и *b3* – контакты датчиков нижнего, верхнего и минимального уровней; *X1*, *X2* – магнитные пускатели управления раздаточным устройством шахты и норией (1,5 кВт и 3 кВт); *X4* – контакт пускателя нории разгрузки охлаждающей колонки; *Z* – реле времени; *y* – контакт промежуточного реле

Вариант 12



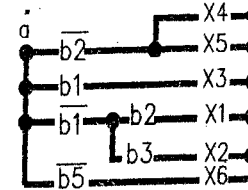
Структурная схема управления концентрацией растворов минеральных удобрений: *a* – переключатель режимов; *b1* – контакт рН-метра; *b2* и *b3* – контакты конечных выключателей, фиксирующих крайние положения механизма вентиля подачи концентрата; *b4* – контакт регулятора концентрации раствора; *b5* и *b6* – контакты конечных выключателей, фиксирующих крайние положения механизма подачи раствора; *X1*, *X2*, *X3* и *X4* – магнитные пускатели управления исполнительными механизмами (0,75кВт и 1,5 кВт); *A* – импульсный прерыватель; *y*, *Y* – контакт и катушка промежуточного реле

Вариант 13



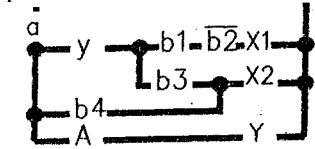
Структурная схема управления электрокалорифером: *a* – переключатель режимов; *b1*, *b2*, *b3* – контакты регулятора температуры с номиналами 12 °С, 14 °С, 16 °С; *X2*, *X3* и *X4* – магнитные пускатели управления секциями калорифера (2,2 кВт); *X1* – магнитный пускатель вентилятора (3 кВт)

Вариант 15



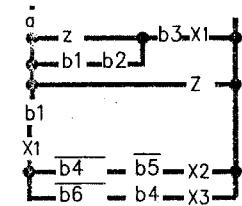
Структурная схема управления микроклиматом инкубационной камеры: *a* – переключатель режимов; *b1*, *b2*, *b3* – контакты регулятора температуры с номиналами 38,3 °С, 37 °С, 36 °С; *b5* – контакт конечного выключателя двери; *X1*, *X2*, *X3*, *X4*, *X5* и *X6* – магнитные пускатели управления двумя секциями калорифера (2,2 кВт), соленоидом охлаждения, увлажнителя и электродвигателями разбрызгивателя и вентилятора (1,5 кВт и 3 кВт)

Вариант 14



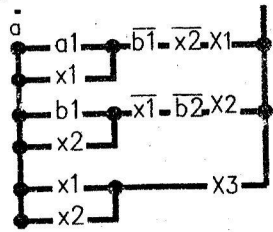
Структурная схема управления температурой поливной воды: *a* – переключатель режимов; *b1* и *b3* – контакты регулятора температуры; *b2* и *b4* – контакты регулятора максимальных значений температуры поливной воды; *X1* и *X2* – магнитные пускатели управления механизмом смесителя (0,75 кВт); *A* – импульсный прерыватель; *Y* – промежуточное реле

Вариант 16



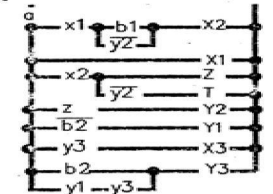
Структурная схема управления микроклиматом картофелехранилища: *a* – переключатель режимов; *b1* – контакты регулятора температуры, сравнивающего температуру наружного и внутреннего воздуха; *b2*, *b3*, *b4* – контакты регуляторов температуры с номиналами 1 °С, 2 °С, 3 °С; *b5* и *b6* – контакты конечных выключателей, фиксирующих крайние положения механизма смесительного клапана; *X1* – магнитный пускатель, управляющий приводом вентилятора (3 кВт); *X2* и *X3* – магнитные пускатели управления механизмом смесительного клапана (0,75 кВт); *Z* – реле времени

Вариант 17



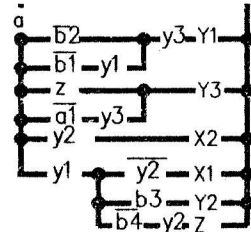
Структурная схема управления установкой навозоудаления: *a* – переключатель режимов; *a1* – кнопка снятия блокировки; *b1* и *b2* – контакты конечных выключателей, фиксирующих крайние положения скребка; *X1*, *X2* и *X3* – магнитные пускатели управления приводом скребка и транспортером (14 кВт и 8 кВт); *a1* – кнопка «Пуск»

Вариант 19



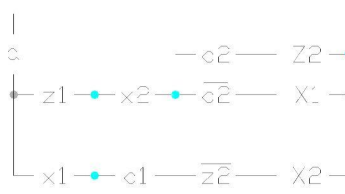
Структурная схема управления топкой АВМ-1,5: *a* – переключатель режимов; *b1* – контакт датчика контроля пламени; *b2* – контакт регулятора температуры; *X1* и *X2* – магнитные пускатели управления вентилятором топки и топливным насосом (4 кВт и 2,2 кВт); *X3* – электромагнит клапана на отсасывающем трубопроводе; *Z* – реле времени; *Y1*–*Y3* – промежуточные реле; *T* – трансформатор зажигания

Вариант 18



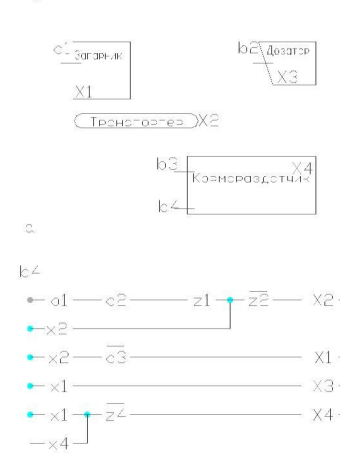
Структурная схема управления оросительной насосной станцией: *a* – переключатель режимов; *a1* – кнопка снятия блокировки; *b1*, *b2* – контакты датчиков верхнего и нижнего уровней; *b3* – контакт реле заливки; *b4* – контакт расходомера; *X1* – катушка вентили на обратном трубопроводе; *X2* – магнитный пускатель управления насосом (5 кВт); *Z* – реле времени; *Y1*–*Y3* – промежуточные реле

Вариант 20



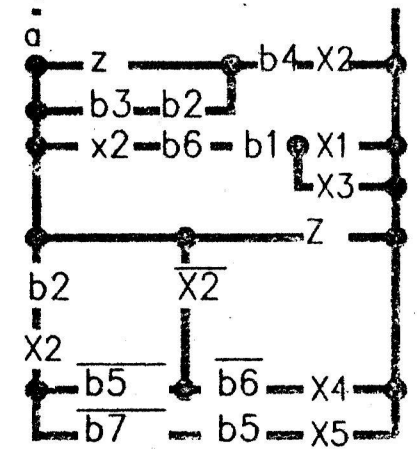
Структурная схема управления загрузки кормушек в птичнике: *a* – контакт переключателя режимов; *b1* – датчик нижнего уровня корма в дозаторе; *b2* – датчик заполнения кормушек; *X1*, *x1*, *X2*, *x2* – катушки магнитных пускателей, управляющих исполнительным механизмом дозатора ($P_n = 5,5$ кВт) и электродвигателем транспортера ($P_n = 15$ кВт), и их контакты; *z1* – контакт суточного реле времени; *Z2* – реле времени

Вариант 21



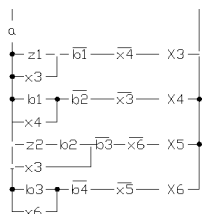
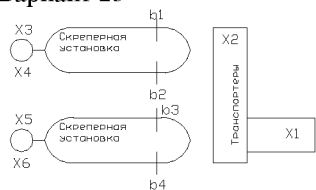
Структурная схема управления загрузкой кормораздатчика: *a* – контакт переключателя режимов; *b1*, *b2*, *b3* – датчики уровня; *b4* – конечный выключатель; *X1*, *x1*, *X2*, *x2*, *X3*, *x3*, *X4*, *x4* – катушки и контакты магнитных пускателей, управляющих электродвигателями разгрузчика запарника ($P_n = 5,5$ кВт), транспортера ($P_n = 7,5$ кВт), дозатора комбикорма ($P_n = 2,2$ кВт), мешалки кормораздатчика ($P_n = 3$ кВт); *z1*–*z4* – контакты реле времени

Вариант 22



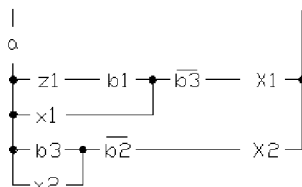
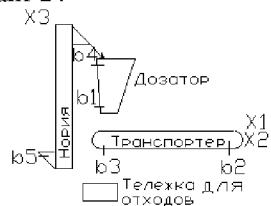
Структурная схема управления микроклиматом фруктохранилища: *a* – переключатель режимов; *b2* – контакты регулятора температуры, сравнивающего температуру наружного и внутреннего воздуха; *b1*, *b3*, *b4* – контакты регуляторов температуры с номиналами 2 °С (верхняя зона), 3 °С (масса продукта), 1 °С (воздухораспределительный канал); *b5* – контакт пропорционального регулятора температуры; *b6* и *b7* – контакты конечных выключателей, фиксирующих крайние положения механизма смесительного клапана; *X1*, *X2* и *X3* – магнитные пускатели, управляющие приводами основного и осевого вентилятора и калорифером обогрева верхней зоны (3 кВт, 2,2 кВт, 2,2 кВт); *X4* и *X5* – магнитные пускатели управления механизмом смесительного клапана (0,75 кВт); *Z* – реле времени

Вариант 23



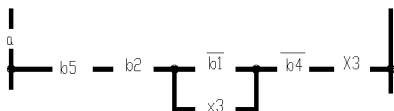
Структурная схема управления скреперной установкой: a – контакт переключателя режимов; $b1, b2, b3, b4$ – конечные выключатели; $X3, x3, X4, x4, X5, x5, X6, x6$ – катушки и контакты реверсивных магнитных пускателей, управляющих электродвигателями скреперной установки ($P_n = 22$ кВт); $z1, z2$ – контакты реле времени

Вариант 24



Структурная схема управления транспортером кормораздачи: a – контакт переключателя режимов; $b1$ – датчик уровня корма; $b2, b3$ – конечные выключатели; $X1, x1, X2, x2$ – катушки и контакты реверсивного магнитного пускателя, управляющего электродвигателем транспортера ($P_n = 11$ кВт); $z1$ – контакт реле времени

Вариант 25



Структурная схема управления норией системы кормораздачи (поясняющая схема – вариант 24): a – контакт переключателя режимов; $b1, b4, b5$ – датчики уровня корма; $b2$ – конечный выключатель; $X3, x3$ – катушка и контакт магнитного пускателя, управляющего электродвигателем норией ($P_n = 5,5$ кВт)

Пример оформления титульного листа
**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
 И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
 «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
 ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра автоматизированных систем
 управления производством

**Задания практического блока тестового контроля
 по дисциплине «Автоматизация технологических процессов»**

Выполнил _____
 (Ф. И. О.)

студент группы _____

Шифр зачетной книжки _____

Вариант _____

Оценка _____

Минск 201__ г.

Приложение 4
Образец выполнения практического задания

Лист 1

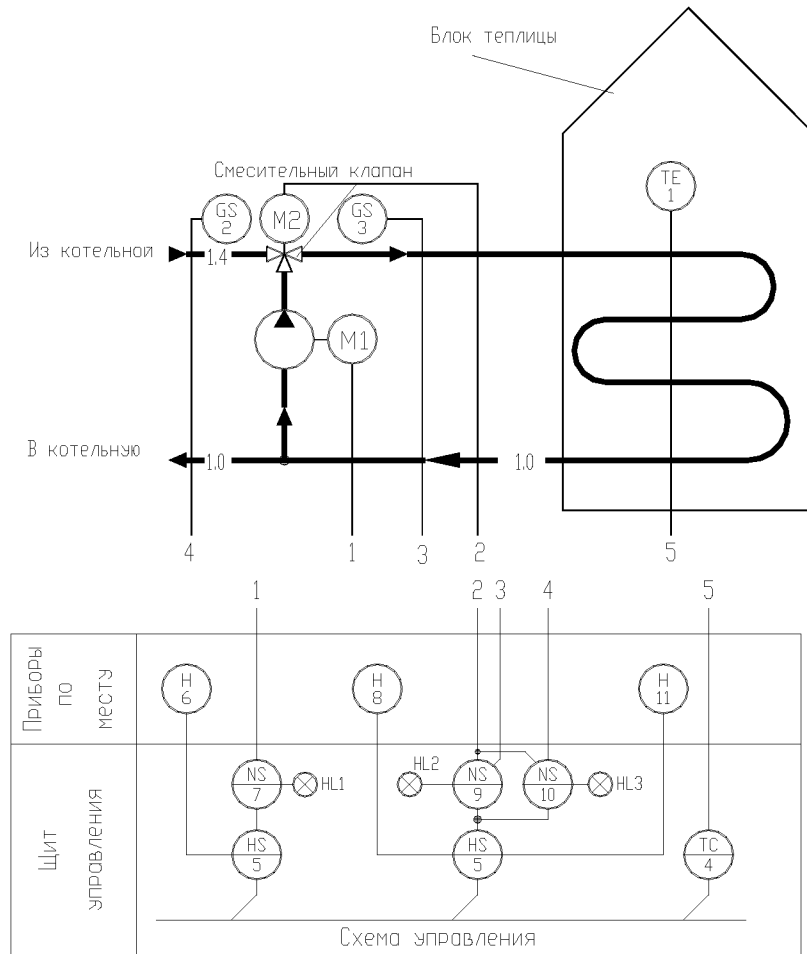


Рис. П4.1. Схема автоматизации теплицы (контур обогрева)

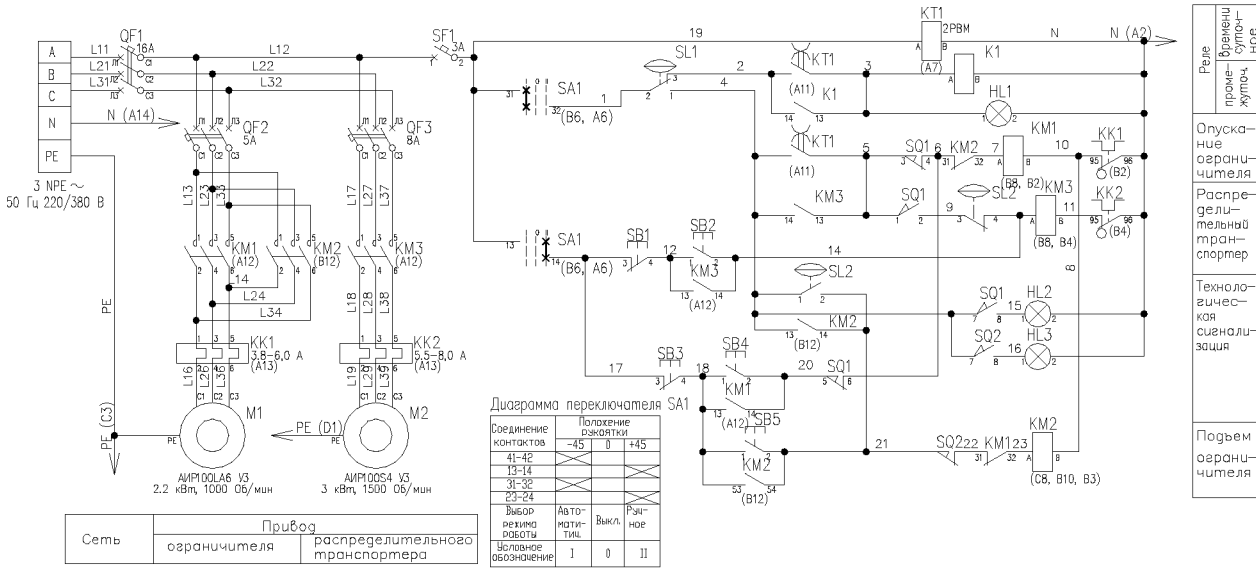


Рис. П4.2. Принципиальная электрическая схема управления, контроля и сигнализации (задание 2)

Поз. обозначение	Наименование	Код	Примечание
HL1...HL3	Светодиодная индикаторная лампа СКЛ	3	
K1	Реле промежуточные РПП	1	
KK1	Реле электромагнитное, токовое РПН-101004, Iн=3,8-6,0 А ТУ 16-523.549-82	1	
KK2	Реле электромагнитное, токовое РПН-101204, Iн=5,5-8,0 А ТУ 16-523.549-82	1	
ММ(М2,М3)	Пустьель машинный ПМТ-110004А, 50 Гц, 220 В ТУ16-664.001-83	3	
KM2	Приставка контактная ПКЛ-1104А Т16-523.554-82	1	
KT1	Реле времени 2РВМ УХЛ, 220 В, 50 Гц	1	
M1	Двигатель АИР000А6 У3, 2,2 кВт, 380 В, 50 Гц, М2001, 1000 об/мин ТУ У 3.08-00213799-074-95	1	
M2	Двигатель АИР000С4 У3, 3 кВт, 380 В, 50 Гц, М1081, 1500 об/мин ТУ 16-97. БВМЕ 525222.001 ТУ	1	
QF1	Выключатель АЕ033ММ-20Н-20У3-А 380В, 50Гц, 16А, 121н ТУ16-522.148-80	1	
QF2	Выключатель АЕ033ММ-20Н-20У3-А 380В, 50Гц, 121н ТУ16-522.148-80	1	
QF3	Выключатель АЕ033ММ-20Н-20У3-А 380В, 50Гц, 121н ТУ16-522.148-80	1	
SA1	Кнопка поворотная NEF30-Рсс, I=0-II (stable/stable/stable), красный, XY, XY Poland, Sosnowiec, SN Promet, Elementy sterownicze i wyzwalaczynje, 1999	1	
SB1, SB3	Выключатель КЕВ1У3, исп. 2, красный ТУ16-642.015-84	2	

Поз. обозначение	Наименование	Код	Примечание
8R2384395	Выключатель КЕВ1У3, исп. 2, зеленый ТУ16-642.015-84	3	
SF1	Выключатель ЭПВ-102-1/03, 220/380 В, 50 Гц, 3 А, В ГОСТ 50345-92	1	
SL1	Блок сигнализации уровня мембраны БОУ-1 У2 ТУ 1696 ИКТП.656111.116 ТУ	1	
SL2	Сигнализатор уровня СУ-1Ф У2 ТУ 1696 ИКТП.656111.117 ТУ	1	
SQ1, SQ2	Микровыключатель МП101ПХД.12А, толкатель, базовый способ крепления Т16-526.322-78	2	

03.49.007.11-АТХ			
Автоматизация		Страницы Листов	
корморозачи		С 1 2	
Перечень элементов		БГАТУ АЗФ 19 а	
Копировал		Формат А4	

03.49.007.11-АТХ			
Копировал		Формат А4	

Рис. П4.3. Перечень элементов

Учебное издание

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Учебно-методическое пособие

Составители:

Якубовская Елена Степановна,
Волкова Елена Сергеевна

Ответственный за выпуск *О. Ч. Ролич*
Редактор *Т. В. Каркоцкая*
Компьютерная верстка *А. И. Стебули*

Подписано в печать 08.06.2012 г. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 7,67. Уч.-изд. л. 6,0. Тираж 150 экз. Заказ 594.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
ЛП № 02330/0552984 от 14.04.2010.
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.
Пр-т Независимости, 99-2, 220023, Минск.