

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АВТОМАТИКА

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по аграрному техническому образованию
в качестве учебно-методического пособия
для студентов учреждений высшего образования
по специальности 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение
сельского хозяйства (по направлениям)»*

Минск
БГАТУ
2023

УДК 681.5(07)
ББК 32.965я7
А18

Составитель
старший преподаватель *Е. Е. Мякинник*

Рецензенты:
кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники
УО «Белорусский государственный технологический университет»
(кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой *Д. С. Карпович*);
кандидат технических наук, доцент,
заведующий лабораторией научного обеспечения испытаний
и информационно-технических технологий
РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации
сельского хозяйства» *В. К. Клыбик*

Автоматика : учебно-методическое пособие / сост.
А18 Е. Е. Мякинник. – Минск : БГАТУ, 2023. – 360 с.
ISBN 978-985-25-0232-0.

Содержит материалы по математическому описанию звеньев и систем автоматического управления, синтезу непрерывных и дискретных систем автоматического регулирования, классификацию программно-технических средств автоматизации и принципы их действия, а также материалы по выполнению лабораторных работ.

Для студентов, обучающихся по специальности 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства (по направлениям)», всех форм обучения.

УДК 681.5(07)
ББК 32.965я7

ISBN 978-985-25-0232-0

© БГАТУ, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
История развития теории автоматического управления.....	9
Особенности и значение автоматизации сельскохозяйственного производства.....	10
 Раздел I. ОСНОВЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ	
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	12
1.1. Алгоритмы функционирования и управления.....	12
1.2. Функциональная схема.....	15
1.3. Классификация автоматических систем управления (АСУ).....	19
1.4. Фундаментальные принципы управления.....	20
2. УСТАНОВИВШИЕСЯ И ПЕРЕХОДНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ И СИСТЕМ АВТОМАТИКИ. СТАТИЧЕСКИЕ И ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИКИ. ЛИНЕАРИЗАЦИЯ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	27
2.1. Типовые воздействия.....	27
2.2. Статические и динамические установившиеся режимы.....	31
2.3. Статические характеристики.....	32
2.4. Линеаризация статических характеристик.....	35
2.5. Временные (переходные) характеристики линейных систем и звеньев.....	37
2.6. Переходная функция.....	40
2.7. Частотные характеристики.....	41
3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ СИСТЕМ И ЗВЕНЬЕВ. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЛАПЛАСА. ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ	46
3.1. Понятие звена.....	46
3.2. Математическое описание звеньев во временной области с помощью дифференциальных уравнений.....	46
3.3. Структурные схемы и общие правила составления структурных схем.....	48

3.4. Преобразование Лапласа и его основные свойства	49
3.5. Определение и смысл передаточной функции.....	50
4. ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ СОЕДИНЕНИЙ ЗВЕНЬЕВ. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ. ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	51
4.1. Передаточные функции звеньев, соединенных последовательно и параллельно и охваченных обратной связью	51
4.2. Правила замены нескольких звеньев одним эквивалентным звеном в случаях последовательного, параллельного, встречно-параллельного соединений звеньев	55
4.3. Передаточные функции систем автоматического регулирования.....	55
5. ТИПОВЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ ЗВЕНЬЯ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ	59
5.1. Типовые линейные звенья и их характеристики	59
5.2. Идентификация линейных объектов управления по виду переходной функции	59
6. КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЗВЕНЬЕВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ	60
7. ПОНЯТИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ. КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИНЕЙНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ СИСТЕМ. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ. ТОЧНОСТЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ	80
7.1. Понятие устойчивости систем автоматического управления	80
7.2. Общее математическое условие устойчивости	82
7.3. Критерии устойчивости автоматической системы управления	87
7.4. Определение запасов устойчивости.....	91
7.5. Области устойчивости систем автоматического управления	92
7.6. Пример определения устойчивости по критерию Гурвица	93
7.7. Оценка качества по переходным функциям прямым методом.....	95
7.8. Интегральные критерии качества переходных процессов.....	98

7.9. Статическая точность линейных систем по управляющему и возмущающему воздействиям.....	101
8. ТИПОВЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ.....	104
8.1. Виды типовых линейных законов регулирования.....	104
8.2. Свойства систем с типовыми линейными законами регулирования.....	106
9. МЕТОДЫ СИНТЕЗА ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ.....	108
9.1. Основные понятия синтеза.....	108
9.2. Общие принципы синтеза алгоритмической структуры АСУ.....	110
9.3. Синтез автоматической системы управления при отсутствии возмущающего воздействия.....	111
9.4. Синтез алгоритмической структуры АСУ при наличии возмущающего воздействия.....	112
9.5. Выбор типа регулятора и его настроечных параметров.....	118
9.6. Синтез многоконтурной АСУ подчиненного регулирования.....	120
10. НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ.....	122
10.1. Особенности нелинейных систем.....	122
10.2. Типовые нелинейные звенья.....	123
10.3. Позиционные системы автоматического регулирования.....	127
10.4. Импульсные системы.....	133

Раздел II. ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

11. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	137
11.1. Понятие технических средств автоматизации.....	137
11.2. Классификация технических средств автоматизации.....	139
11.3. Основные характеристики.....	140
12. ДАТЧИКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ. ПОНЯТИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА, ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА, РЕГУЛИРУЮЩЕГО ОРГАНА.....	143
12.1. Понятия первичного измерительного преобразователя и датчика.....	143

12.2. Статическая и динамическая характеристики датчиков	145
12.3. Понятия исполнительного устройства, исполнительного механизма, регулирующего органа	147
12.4. Классификация исполнительных устройств	148
12.5. Основные характеристики исполнительных устройств.....	157
13. КЛАССИФИКАЦИЯ ДАТЧИКОВ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	159
13.1. Омические первичные преобразователи: потенциометрические, тензометрические.....	159
13.2. Электромагнитные первичные преобразователи.....	172
13.3. Емкостные первичные преобразователи	179
13.4. Фотоэлектрические первичные преобразователи.....	181
13.5. Датчики температуры.....	184
13.6. Датчики положения и уровня	193
13.7. Датчики давления, расхода и количества	196
13.8. Датчики влажности.....	198
13.9. Датчики состава и свойств веществ	201
14. ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ	205
14.1. Цифровые системы	205
14.2. Структура современных контроллеров.....	206
14.3. Программируемые логические контроллеры (ПЛК): классификация, характеристики, программирование.....	207
14.4. Применение контроллеров для автоматизации технологических процессов.....	211
14.5. Современные интерфейсы для связи микропроцессорных систем управления.....	212
14.6. Последовательная и параллельная передача данных	214
14.7. Современные протоколы передачи информации (RS-232, RS-485, CAN, USB).....	216
14.8. Принципы построения сети микропроцессорных устройств управления	225

Раздел III. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

№ 1. Изучение и исследование систем с разомкнутым и замкнутым принципами управления	233
№ 2. Исследование линейных звеньев и получение их статических и частотных характеристик	235

№ 3. Моделирование статических и частотных характеристик линейных звеньев	240
№ 4. Линеаризация гладких нелинейных характеристик звеньев систем автоматизации	252
№ 5. Идентификация объектов управления и средств автоматизации	255
№ 6 (УСРС). Изучение и оценка качества регулирования линейных систем прямым методом	260
№ 7. Исследование систем с пропорциональным законом (П-законом) регулирования	265
№ 8. Исследование систем с интегральным законом (И-законом) регулирования	276
№ 9 (УСРС). Изучение и исследование системы, определение закона регулирования	281
№ 10. Синтез систем автоматического регулирования.....	291
№ 11. Исследование двухпозиционного регулятора	298
№ 12. Изучение и исследование трехпозиционного регулятора	302
№ 13. (УСРС). Изучение и определение функционального состава системы автоматического регулирования	305
№ 14. Исследование потенциометрических датчиков	310
№ 15. Исследование индуктивных и индукционных датчиков.....	315
№ 16. Исследование датчиков температуры.....	320
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	325
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	327

Учебное издание

АВТОМАТИКА

Учебно-методическое пособие

Составитель **Мякинник** Елена Евгеньевна

Ответственный за выпуск *Н. М. Матвейчук*

Редактор *Д. А. Значёнок*

Корректор *Д. А. Значёнок*

Компьютерная верстка *Д. А. Пекарского*

Дизайн обложки *А. А. Покало*

Подписано в печать 10.11.2023. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 20,92. Уч.-изд. л. 16,36. Тираж 99 экз. Заказ 17.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/359 от 09.06.2014.

№ 2/151 от 11.06.2014.

Пр-т Независимости, 99–1, 220012, Минск.