

УДК 681.515:004.9SimInTech(075.8)

ББК 32.965.8ся73

С75

Рецензенты:

профессор кафедры систем и технологий управления ФГАОУ ВО  
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,

доктор технических наук, профессор **Ю. М. Смирнов**

заведующий лабораторией ИПМаш РАН,

доктор технических наук, профессор **А. Е. Городецкий**

профессор кафедры автоматизации и роботизации

технологических процессов имени академика И. Ф. Бородина ФГБОУ ВО

«Российский государственный аграрный университет – МСХА

имени К. А. Тимирязева», доктор технических наук, профессор **Ю. А. Судник**

заведующий кафедрой электрических машин и электропривода

факультета энергетики ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ»,

доктор технических наук, профессор **С. В. Оськин**

Карташов Б. А., Шабаев Е. А., Козлов О. С., Щекатуров А. М.

С75 Среда динамического моделирования технических систем SimInTech:  
Практикум по моделированию систем автоматического регулирования. –  
М.: ДМК Пресс, 2017. – 424 с.

ISBN 978-5-97060-482-3

Книга содержит основные сведения по компьютерному моделированию автоматических систем, краткое описание среды динамического моделирования технических систем SimInTech, методические указания к лабораторным работам и курсовому проектированию, целевое назначение которых – изучить и освоить методы компьютерного проектирования автоматических систем.

Издание предназначено для студентов технических вузов и факультетов, а также может быть рекомендовано аспирантам, научно-техническим работникам и конструкторам при создании и эксплуатации автоматических систем.

УДК 681.515:004.9SimInTech(075.8)

ББК 32.965.8ся73

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

© Карташов Б. А., Шабаев Е. А.,

Козлов О. С., Щекатуров А. М., 2017

ISBN 978-5-97060-482-3

© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2017

# Содержание



Предисловие.....	10
------------------	----

Введение.....	13
---------------	----

## ▼ Глава 1

Суть и цели математического моделирования систем автоматического регулирования .....	15
1.1. Формы представления математических моделей .....	15
1.1.1. Основные математические модели .....	15
1.1.2. Математические модели САР в пространстве состояний .....	24
1.2. Математические модели внешних воздействий .....	31
1.2.1. Детерминированные воздействия .....	32
1.2.2. Случайные воздействия.....	35
1.3. Компьютерное моделирование САР.....	38
1.3.1. Цели моделирования САР .....	38
1.3.2. Анализ устойчивости и качества САР .....	39
1.3.3. Коррекция САР .....	43
1.3.4. Оптимизация САР .....	53
1.3.5. Упрощение математических моделей САР с учетом малых параметров .....	55
1.3.6. Характеристики, режимы работы и цели моделирования релейных САР .....	57
1.3.7. Моделирование САР с микроЭВМ.....	63
Контрольные вопросы и задания .....	70

## ▼ Глава 2

Основные сведения о программном обеспечении SimInTech и рекомендации по его использованию .....	72
2.1. Принципы и методика моделирования САР .....	72
2.2. Запуск программного обеспечения SimInTech .....	78
2.3. Командное меню главного окна .....	79
2.4. Панели инструментов главного окна и схемных окон .....	82
2.5. Палитра компонентов .....	86
2.6. Краткое описание процедур и этапов работы в среде SimInTech .....	88
Контрольные вопросы и задания .....	89

## ▼ Глава 3

Лабораторные работы .....	90
Работа 1. Изучение ПО SimInTech на примерах моделирования отдельных элементов САР .....	90
Контрольные вопросы и задания .....	101
Работа 2. Изучение программного обеспечения SimInTech на примерах моделирования линейных САР .....	107
Контрольные вопросы и задания .....	124
Работа 3. Исследование корректирующих элементов САР .....	125
Контрольные вопросы и задания .....	134
Работа 4. Параметрическая оптимизация САР .....	134
Контрольные вопросы и задания .....	149
Работа 5. Моделирование релейных САР .....	149
Контрольные вопросы и задания .....	153
Работа 6. Моделирование нелинейных САР с помощью блока Язык программирования .....	153
Варианты индивидуальных заданий .....	173
Контрольные вопросы и задания .....	175
Работа 7. Моделирование САР с помощью блока Переменные состояния .....	175
Демонстрационный пример .....	176
Варианты индивидуальных заданий .....	186
Контрольные вопросы и задания .....	186
Работа 8. Моделирование цифровых САР .....	187
Демонстрационный пример .....	187
Контрольные вопросы и задания .....	200

## ▼ Глава 4

Курсовое проектирование .....	201
4.1. Основные рекомендации для выполнения курсовой работы.....	201
4.1.1. Тема работы и задание.....	201
4.1.2. Содержание работы .....	202
4.1.3. Методические рекомендации по выполнению работы .....	202
4.1.4. Рекомендации по оформлению работы.....	203
4.2. Пример выполнения курсовой работы на тему «Определение параметров типового закона регулирования САР давления в ресивере».....	205
4.2.1. Исходные данные.....	205
4.2.2. Определение параметров заданного типового закона регулирования .....	209
4.2.3. Выводы по работе .....	218
4.3. Рекомендации к курсовому проектированию применительно к цифровым САР .....	219
4.3.1. Разработка упрощенной принципиальной и составление функциональной схем САР.....	220
4.3.2. Составление структурной схемы САР .....	223
4.3.3. Обоснование типа структурной модели.....	225

## ▼ Приложение А

К построению структурных схем систем автоматического регулирования .....	231
А.1. Функциональные элементы и схемы .....	231
А.2. Передаточные функции и структурные схемы.....	233

## ▼ Приложение Б

Задания по линейным системам автоматического регулирования .....	241
Б.1. Система автоматического регулирования температуры в помещении.....	241
Б.2. Система автоматического регулирования температуры в печи.....	243
Б.3. Система автоматического регулирования температуры теплоносителя зерносушилки.....	245
Б.4. Система автоматического регулирования угловой скорости двигателя постоянного тока .....	246

## 6 Содержание

Б.5. Система автоматического регулирования частоты синхронного генератора.....	248
Б.6. Система автоматического регулирования температуры в атмосфере теплицы.....	250
Б.7. Система автоматического регулирования давления в ресивере.....	252
Б.8. Астатическая система автоматического регулирования угловой скорости гидротурбины.....	253
Б.9. Статическая система автоматического регулирования угловой скорости гидротурбины.....	255
Б.10. Система автоматического регулирования перемещения рабочего органа робота-манипулятора.....	257
Б.11. Следящая система.....	259
Б.12. Гидравлическая система автоматического регулирования скорости вращения паровой турбины.....	260
Б.13. Система автоматического регулирования угла крена самолета.....	263
Б.14. Система автоматического регулирования скорости стола обрабатывающего станка.....	264
Б.15. Система автоматического регулирования скорости самолета.....	265
Б.16. Вариантные задания.....	265

## ▼ Приложение В

Задания по нелинейным и дискретным системам автоматического регулирования.....	269
В.1. Релейная система автоматического регулирования температуры в помещении.....	269
В.2. Релейная система автоматического регулирования температуры в печи.....	270
В.3. Релейная система автоматического регулирования температуры теплоносителя зерносушилки.....	271
В.4. Релейная система автоматического регулирования угловой скорости электродвигателя постоянного тока.....	271
В.5. Нелинейная система автоматического регулирования частоты синхронного генератора.....	272
В.6. Релейная система автоматического регулирования температуры в атмосфере теплицы.....	272
В.7. Релейная система автоматического регулирования давления в ресивере.....	273
В.8. Нелинейная астатическая система автоматического регулирования угловой скорости гидротурбины.....	274
В.9. Релейная статическая система автоматического регулирования угловой скорости гидротурбины.....	274
В.10. Дискретная система автоматического регулирования температуры в помещении.....	275

В.11. Дискретная система автоматического регулирования температуры в печи.....	276
В.12. Дискретная система автоматического регулирования температуры теплоносителя зерносушилки .....	276
В.13. Дискретная система автоматического регулирования угловой скорости двигателя постоянного тока .....	277
В.14. Дискретная система автоматического регулирования частоты синхронного генератора.....	278
В.15. Дискретная система автоматического регулирования температуры в атмосфере теплицы .....	280
В.16. Дискретная система автоматического регулирования давления в ресивере .....	281
В.17. Дискретная система автоматического регулирования угловой скорости гидротурбины .....	282
В.18. Вариантные задания .....	283

## ▼ Приложение Г

Описание объектов регулирования .....	286
Г.1. Производственное помещение как объект автоматического регулирования .....	286
Г.2. Обогреваемый пол как объект автоматического регулирования .....	288
Г.3. Звено робота с электрическим приводом как объект автоматического регулирования .....	289
Г.4. Шахтная зерносушилка как объект автоматического регулирования .....	291
Г.5. Поворотное устройство солнечной батареи как объект автоматического регулирования .....	295
Г.6. Силовой трансформатор как объект автоматического регулирования .....	299
Г.7. Электрический привод патрона токарного станка как объект автоматического регулирования.....	300
Г.8. Подогреватель мазута как объект автоматического регулирования.....	302
Г.9. Мармитная плита как объект автоматического регулирования .....	303
Г.10. Электрический вулканизатор как объект автоматического регулирования .....	304

## ▼ Приложение Д

К моделированию САР с микроЭВМ.....	305
Д.1. Принципы построения и работы САР с микроЭВМ .....	305
Д.2. Математическое описание дискретных систем автоматического регулирования .....	310
Д.2.1. Понятие импульсной и цифровой систем .....	310
Д.2.2. Математическое описание импульсных систем.....	312

## 8 Содержание

Д.2.3. Математическое описание цифровых систем.....	319
Д.2.4. Определение периода квантования непрерывных сигналов в цифровых системах .....	325
Д.3. Математическое описание систем автоматического регулирования с микропроцессорными регуляторами .....	329
Д.3.1. Общие сведения.....	329
Д.3.2. Алгоритмы функционирования регуляторов ТРМ .....	335
Д.3.3. Математическое описание САР с регуляторами ТРМ .....	337
Д.4. Регулирующие микропроцессорные контроллеры.....	340
Д.4.1. Контроллеры Ремиконт Р-130 .....	340
Д.4.2. Контроллеры Ремиконт Р-130ISa.....	342

## ▼ Приложение Е

Задания для самоконтроля и тестирования.....	343
Е.1. Линейная САР с единичной ОС .....	343
Е.2. Скорректированная линейная САР с единичной ОС .....	343
Е.3. Линейная САР температуры в атмосфере теплицы .....	345
Е.4. Нелинейная САР с единичной ОС.....	346
Е.5. Релейная САР температуры проточного водонагревателя.....	347
Е.6. Оптимизация нелинейной САР с несколькими ОС.....	348
Е.7. Линейная САР (вариант 1).....	349
Е.8. Линейная САР (вариант 2) .....	351
Е.9. Линейная САР (вариант 3) .....	352
Е.10. Линейная САР (вариант 4).....	353
Е.11. Линейная САР (вариант 5).....	354
Е.12. Линейная САР (вариант 6).....	355
Е.13. Линейная САР (вариант 7).....	357
Е.14. Линейная САР (вариант 8).....	358
Е.15. Линейная САР (вариант 9).....	359
Е.16. Линейная САР (вариант 10) .....	360
Е.17. Линейная САР (вариант 11).....	362
Е.18. Линейная САР (вариант 12).....	363
Е.19. Линейная САР (вариант 13).....	364
Е.20. Линейная САР (вариант 14).....	365
Е.21. Линейная САР (вариант 15).....	366
Е.22. Линейная САР (вариант 16).....	368
Е.23. Линейная САР (вариант 17).....	369
Е.24. Линейная САР (вариант 18).....	370
Е.25. Линейная САР (вариант 19).....	372
Е.26. Линейная САР (вариант 20) .....	373

## ▼ Приложение Ж

Фрагменты библиотек SimInTech.....	375
Ж.1. Библиотека «Источники» .....	375
Ж.2. Библиотека «Операторы» .....	378
Ж.3. Библиотека «Динамические» .....	381
Ж.4. Библиотека «Нелинейные» .....	389
Ж.5. Библиотека «Субструктуры» .....	396
Ж.6. Библиотека «Данные» .....	400
Ж.7. Библиотека «Дискретные» .....	405

## ▼ Приложение З

Дополнения к лабораторным работам .....	408
3.1. Дополнение к лабораторной работе 6. Блок Язык программирования как алгоритмическое средство программирования.....	408
Пример 1. Моделирование поступательного движения тела с учетом силы сухого трения.....	409
Пример 2. Моделирование процесса одномерной теплопроводности.....	412
3.2. Дополнение к лабораторной работе 8. Моделирование цифровых САР с учетом дискретизации сигналов в АЦП.....	416
Литература.....	422