

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

С. Н. Русак, В. А. Криштал

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Направление подготовки
220400.62 – Управление в технических системах

Бакалавриат

Ставрополь
2015

УДК 621.431 (075.8)
ББК 32.965 я 73
Р 88

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
Северо-Кавказского
федерального университета

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор **Г. Е. Веселов**
(Инженерно-технологическая академия Южного федерального университета),
д-р техн. наук, профессор **А. Б. Чернышов**

Русак С. Н., Криштал В. А.

П 43 Моделирование систем управления: учебное пособие. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2015. – 135 с.

Пособие предназначено для изучения курса «Моделирование систем управления» бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 220400.62 – Управление в технических системах.

УДК 621.431 (075.8)
ББК 32.965 я 73

© ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский
федеральный университет», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
1. ПОНЯТИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.....	8
1.1. Основные виды моделей	8
2. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА В МОДЕЛИРОВАНИИ	18
2.1. Основные подходы к исследованию систем	18
2.2. Стадии разработки моделей и основные проблемы моделирования	27
3. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ	45
3.1. Основные принципы построения моделей	45
3.2. Построение математических моделей: вход-выход в форме записи в пространстве состояний.....	54
4. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ.....	64
4.1. Классификация систем автоматического управления (регулирования).....	64
4.2. Временные характеристики.....	86
5. ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ	93
5.1. Уравнения параболического, гиперболического и эллиптического вида	94
5.2. Численное решение уравнений второго порядка	113
6. АДЕКВАТНОСТЬ И ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ.....	122
6.1. Понятие адекватности модели Основные проблемы адекватности. Верификация модели	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	133
ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	134

ПРЕДИСЛОВИЕ

В различных отраслях науки и техники часто встречается необходимость построения и практического использования сложных объектов и систем, разнообразных по физической природе, функциональному назначению, конкретной реализации и архитектуре. Их автоматизация требует внедрения так называемых «интеллектуальных» систем управления. Такие системы характеризуются возможностью оценивать ненаблюдаемые переменные объекта, прогнозировать состояние объекта при выбираемых управлениях и автоматически синтезировать оптимальные стратегии управления.

Аналитическое решение этих задач может оказаться невозможным ввиду непреодолимых математических трудностей. Экспериментальные исследования путем натурных испытаний могут потребовать слишком больших затрат времени и средств или же исключаются по некоторым другим причинам. Трудности усугубляются в случаях, когда объект находится под влиянием случайных воздействий и требуется исследование вероятностного характера. Эффективной мерой по преодолению этих трудностей является применение математических моделей изучаемых объектов и их моделирование на ЭВМ. Поэтому идентификация и моделирование объектов в современной теории управления играют первостепенную роль.

Основным методом исследования сложных объектов является метод математического моделирования на ЭВМ. Под математическим моделированием на ЭВМ понимают описание поведения физического объекта при помощи математических уравнений или соотношений и вычислительных алгоритмов, их реализации на ЭВМ.

Отличительная особенность моделирования как метода исследования заключается в возможности изучения, прогнозирования и оптимизации объектов, физический эксперимент с которыми очень затруднителен, опасен или не выгоден. Вычислительный эксперимент с моделью объекта в подобных ситуациях значительно сокращает сроки и стоимость исследований, повышает обоснованность принимаемых решений. По отношению к модели исследователь является экспериментатором, проводящим эксперимент не с реальным объек-

том, а с его моделью. Эксперимент с моделью объекта на ЭВМ во многом сродни физическому эксперименту. В ходе эксперимента варьируются независимые переменные, параметры модели, совершенствуется ее структура, принятые гипотезы о поведении отдельных частей системы.

По результатам опытов с моделью количественно предсказывают поведение объекта в рабочих условиях, определяют оптимальное решение, результаты моделирования распространяют на оригинал. Причем распространение на оригинал выводов, полученных в опытах с моделью, не обязательно должно означать простое равенство тех или иных параметров оригинала и модели. Достаточно получить правило расчета интересующих нас параметров оригинала.

Специфика работы исследователя моделей заключается в том, что решаемые им задачи весьма разнообразны, поскольку моделирование объектов реализуется в любой области человеческой деятельности. Это приводит к широкому спектру математических методов, применяемых для их решения. Поэтому специалист по моделированию объектов должен владеть достаточным арсеналом разнообразных математических методов — теории вероятностей, математической статистики, математического анализа и дискретной математики, численного решения дифференциальных уравнений, структурной и параметрической оптимизации, теории случайных процессов и массового обслуживания.

Математическое моделирование является составной частью всех технических и естественно-научных дисциплин. Действительно, основная задача техники заключается в том, чтобы, используя математическую модель, найти хорошее проектно-конструкторское решение, оптимальное управление объектами, наилучшее распределение ресурсов, оптимальный план производства и т. д. Математические модели являются также мощным инструментальным средством решения задач имитационного моделирования и предсказания (прогнозирования) поведения моделируемых объектов при различных ситуациях, которые часто возникают не только в технике, но и в экономике, экологии, биологии и других областях знания. Модели широко применяются в качестве средств профессиональной подготовки и обучения лиц, которые должны уметь справляться с всевозможными