



**Н.Б. Кобелев, В.В. Девятков, В.А. Половников**

# **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

**УЧЕБНИК**

**ВТОРОЕ ИЗДАНИЕ**

**Н.Б. КОБЕЛЕВ  
В.В. ДЕВЯТКОВ  
В.А. ПОЛОВНИКОВ**

# **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

**УЧЕБНИК**

*Под общей редакцией д-ра экон. наук Н.Б. Кобелева*

**ВТОРОЕ ИЗДАНИЕ**

*Рекомендовано  
в качестве учебника для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся по направлениям  
02.09.03.01, 2.09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»  
(уровни: 3, 4) (квалификации: «бакалавр», «магистр»),  
5.38.03.05, 5.38.04.05 «Бизнес-информатика»  
(уровни: 3, 4) (квалификации: «бакалавр», «магистр»)*

Москва  
КУРС  
2021

УДК 519.86(075.8)  
ББК в6я73  
К55

ФЗ № 436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11
----------------	---

Рецензенты:

*С.А. Власов* — канд. техн. наук, ст. науч. сотр., начальник отдела нанотехнологий и информационных технологий Президиума РАН;  
*С.И. Шелобаев* — д-р техн. наук, профессор, помощник председателя счетной палаты Тульской области

**Кобелев Н.Б.,**  
К55 **Имитационное моделирование: учебник / Н.Б. Кобелев, В.В. Девятков, В.А. Половников.** — 2-е изд. — Москва: КУРС, 2021. — 352 с.

ISBN 978-5-907228-65-8

Настоящая работа вводит понятия общей теории имитационного моделирования и предназначена прежде всего для специалистов широкого спектра отраслей хозяйства, не являющихся программистами или математиками, но желающих применить самую современную технологию имитационного управления своими объектами. Эта работа также будет полезной для системотехников, математиков, программистов и студентов-бакалавров экономики, в том числе в направлении 080500 «Бизнес-информатика», желающих подробнее изучить системный подход при построении имитационных моделей.

В данной работе не рассматриваются вопросы программирования имитационных моделей и не приводятся примеры построения моделей из различных отраслей деятельности. В учебнике описывается единый (общий) способ построения имитационных моделей, базирующийся на специально разработанном языке пользователя (ЯАП), иерархической графической схеме модели из типовых элементарных блоков (ТЭБ) и практически не требующий программирования. Такой подход является универсальным и может быть реализован в любом из популярных языков моделирования (GPSS, Any Logic, Pilgrim и т.п.). Примером практической реализации ЯАП является среда моделирования GPSS Studio, основные возможности и инструментальные средства которой описываются в заключительной главе.

УДК 519.86(075.8)  
ББК в6я73



ISBN 978-5-907228-65-8

© Кобелев Н.Б., Девятков В.В.,  
Половников В.А., 2020  
© КУРС, 2020

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве «КУРС»

Подписано в печать 02.02.2021.

Формат 70×100/16. Бумага офсетная. Гарнитура Newton.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 22,0. Доп. тираж 100 экз. Заказ № 926.

ТК 695699-990751-120319

ООО Издательство «КУРС»

127273, Москва, ул. Олонецкая, д. 17А, офис 104.

Тел.: (495) 203-57-83.

E-mail: kursizdat@gmail.com <http://www.kursizdat.ru>

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие.....</b>	<b>3</b>
<b>Введение .....</b>	<b>6</b>
<b>ГЛАВА 1</b>	
<b>ПРОБЛЕМЫ И ОСНОВЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ.....</b>	<b>12</b>
1.1. Что такое общая теория имитационного моделирования.....	12
1.2. Как работает имитационная модель.....	13
1.3. Имитационное моделирование — способ исследования и управления сложными экономическими объектами.....	15
1.3.1. Понятие имитационной модели и ее особенности.....	16
1.4. Основные понятия, применяемые при имитационном моделировании.....	19
1.4.1. Система.....	20
1.4.2. Сложность системы.....	24
1.4.3. Управление системами.....	27
1.4.4. Надежность и эффективность систем.....	33
1.4.5. Самоорганизация систем.....	35
1.5. Основы построения имитационных моделей.....	36
1.5.1. Аксиоматика системного подхода.....	38
1.5.2. Формализация понятия «система».....	41
1.6. Принцип наглядности при построении модели и оценке результатов моделирования.....	44
1.7. Принцип сетевой структуры.....	56
1.8. Принцип разбавления и концентрации.....	57
1.9. Принцип внешнего дополнения.....	58
1.10. Прямая и обратная задачи имитационного моделирования сложных объектов.....	59
Вопросы и задания.....	61
<b>ГЛАВА 2</b>	
<b>УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ.....</b>	<b>62</b>
2.1. Особенности построения и реализации универсальных имитационных моделей.....	62
2.2. Последовательность и основные этапы построения и реализации универсальной имитационной модели.....	62
2.3. Содержательное описание и структуризация объекта моделирования.....	64
2.3.1. Содержательное описание объекта.....	64
2.3.2. Формирование предварительной образной модели объекта.....	65
2.3.3. Описание образной модели.....	65
2.3.4. Постановка задачи имитационного моделирования, формирование предварительной структуры объекта, целей и критериев их достижения.....	70
2.3.5. Формализация и описание постановки задачи на языке пользователя, построение структуры имитационной модели, нахождение и выделение точек измерения значений целевых функций (показателей) и подготовка исходных данных.....	75
2.3.6. Отладка и корректировка модели, написанной на языке пользователя, с применением универсальной имитационной модели (УИМ).....	77

2.3.7.	Проведение имитационных экспериментов, анализ результатов и выбор наилучшей схемы функционирования объекта по имитационной модели .....	78
2.3.8.	Внедрение полученных результатов в практику деятельности объекта .....	78
2.4.	Основы создания языка пользователя для построения универсальных имитационных моделей .....	78
2.4.1.	Общая схема языка пользователя .....	78
2.4.2.	Универсальный типовой элементарный блок — ТЭБ (модель К-1) .....	79
2.4.3.	Основные ТЭБ категорий К2 и К3 (модели К-2 и К-3) .....	83
2.4.4.	Библиотека типовых элементарных блоков .....	103
2.4.5.	Типовые модели некоторых объектов категории К5 (модели К-5) .....	111
2.4.6.	Пример построения типовой модели элементарного предприятия (ТМЭП) из элементарных блоков .....	112
2.4.7.	Примеры построения типовой модели сложного предприятия из элементарных блоков .....	119
2.4.8.	Другие примеры типовых имитационных моделей производственных предприятий и их подразделений на языке пользователя ЯАП .....	126
2.4.9.	Применение ЯАП в CALS-технологиях .....	135
2.5.	Основные принципы создания системы УИМ .....	137
2.5.1.	Функционирование системы УИМ .....	139
2.5.2.	Общая модель типового элементарного блока (ТЭБ) .....	140
	Вопросы и задания .....	147

### Глава 3

#### **ОТКРЫТАЯ СИСТЕМА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИМИТАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС (ИКМ) .....**

3.1.	Общая схема открытого имитационного моделирования .....	148
3.2.	Структура программного комплекса (симулятора) ИКМ .....	152
	Вопросы и задания .....	156

### Глава 4

#### **СПЕЦИАЛЬНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ .....**

4.1.	Имитационное моделирование систем массового обслуживания .....	157
4.1.1.	Системы массового обслуживания .....	157
4.1.2.	Вопросы формирования случайных потоков событий .....	165
4.1.3.	Моделирующие алгоритмы .....	169
4.1.4.	Моделирование одноканальной СМО .....	170
4.1.5.	Моделирование многоканальной СМО .....	173
4.2.	Имитационное моделирование в рамках агрегативной математической схемы .....	174
4.2.1.	Введение в агрегативные модели .....	174
	Вопросы и задания .....	181

### Глава 5

#### **ЭВРИСТИЧЕСКИЕ ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ В ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ И РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ .....**

5.1.	Целевые функции и критерии, используемые при имитационном моделировании .....	182
5.1.1.	Имитационные модели с многокритериальными целевыми функциями распределения ресурсов .....	183
5.1.2.	Имитационные модели с многокритериальными целевыми функциями планирования объемов производства продукции, товаров или услуг .....	188

5.1.3. Имитационная модель с многокритериальными целевыми функциями территориального размещения объектов.....	195
5.1.4. Пример планирования развития и размещения предприятий с применением ЭВМ.....	207
Вопросы и задания.....	214

## Глава 6

### УПРАВЛЕНИЕ ГЛОБАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ С ХАОТИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ..... 215

6.1. Понятие глобальности и локальности систем .....	215
6.2. Хаотические факторы в системе.....	216
6.3. Способы борьбы с хаотическими факторами в глобальных системах .....	221
6.4. Элементарная теория управления глобальными системами третьего класса .....	223
6.5. Оценка баланса сил государств мира с учетом действующих тайных и ошибочных хаотических факторов .....	228
6.6. Имитационная модель управления промышленным объединением с учетом действия хаотических факторов .....	235
6.7. Имитационная модель бюджета России .....	237
Вопросы и задания.....	240

## Глава 7

### СРЕДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ GPSS STUDIO ..... 241

7.1. Основные возможности и инструментальные средства среды моделирования .....	249
7.2. Состав и структура среды моделирования .....	251
7.2.1. Постановка задачи исследования и формализация системы.....	252
7.2.2. Разработка модели и ее отладка .....	253
7.2.3. Разработка имитационного приложения.....	254
7.2.4. Подготовка и запуск экспериментов в имитационном приложении.....	256
7.2.5. Анализ результатов экспериментов и выработка рекомендаций .....	257
7.2.6. Понятие «проект» имитационного исследования и его структура .....	258
7.3. Запуск среды и дерево проекта.....	259
7.3.1. Создание проекта и окно «Текущий проект».....	260
7.3.2. Создание модели.....	260
7.3.3. Структура дерева проекта .....	261
7.3.4. Файлы проекта.....	263
7.4. Рабочая область документов.....	264
7.5. Панель инструментов главного окна .....	265
7.6. Графический редактор структурных схем .....	269
7.6.1. Для чего нужна структурная схема модели?.....	269
7.6.2. Основные элементы структурной схемы модели .....	270
7.6.3. Иерархическое построение структурной схемы .....	271
7.6.4. Композитный ТЭБ .....	273
7.6.5. Элементарный ТЭБ.....	275
7.6.6. Задание свойств для элементарных и композитных блоков .....	275
7.6.7. ТЭБ с данными.....	278
7.6.8. Библиотеки ТЭБ с типовыми решениями .....	280
7.6.9. Задание связей в ТЭБ.....	281
7.6.10. Установление связи между ТЭБ .....	281
7.6.11. Горячие клавиши редактора схем.....	282
7.6.12. Надписи и рисунки на схеме.....	283
7.6.13. Автоматическая генерация моделей из структурной схемы .....	285
7.6.14. Общие рекомендации по разработке и оформлению схем .....	286
7.7. Текстовый редактор для разработки GPSS-моделей.....	287
7.7.1. Вызов текстового редактора.....	287

7.7.2.	Основные функции текстового редактора .....	289
7.7.3.	Основные команды при работе с текстом модели .....	291
7.7.4.	Дополнительные рекомендации по разработке текстов моделей .....	294
7.8.	Отладка GPSS-моделей .....	295
7.8.1.	Принципы отладки GPSS-моделей .....	295
7.8.2.	Общие сведения об отладчике GPSS Studio .....	296
7.9.	Запуск моделирования и стандартный отчет .....	297
7.9.1.	Запуск эксперимента с моделью и получение стандартного отчета GPSS .....	298
7.9.2.	Стандартный отчет для анализа результатов эксперимента .....	299
7.9.3.	Изменение имен в стандартном отчете и сохранение его в MS Excel .....	300
7.10.	Построение имитационного приложения в GPSS Studio .....	302
7.10.1.	Общие сведения о редакторе форм .....	303
7.10.2.	Общие принципы конструирования форм ввода и вариации данных .....	304
7.10.3.	Принципы конструирования формы вывода результатов моделирования .....	305
7.10.4.	Принципы конструирования формы планирования экспериментов .....	306
7.10.5.	Принципы формирования баз данных и функциональная структура редактора форм .....	306
7.10.6.	Создание файла для конструирования форм .....	307
7.10.7.	Начало конструирования форм .....	309
7.10.8.	Идентификация имен в приложении .....	311
7.11.	Конструктор формы «Ввод исходных данных» .....	312
7.12.	Конструктор формы «Динамика хода эксперимента» .....	315
7.13.	Конструктор форм планирования экспериментов с моделью .....	318
7.14.	Запуск и использование имитационного приложения .....	320
7.14.1.	Начало работы с имитационным приложением .....	321
7.14.2.	Запуск одиночных экспериментов и серий экспериментов .....	322
7.14.3.	Анализ результатов моделирования .....	323
7.14.4.	Формирование виртуального отчета .....	327
	Вопросы и задания .....	330
	Приложение 1	
	Программируемые вопросы для самоподготовки по введению в общую теорию имитационного моделирования и универсальным имитационным моделям .....	331
	Приложение 2	
	Программируемые вопросы для самоподготовки по имитационному моделированию систем массового обслуживания .....	340
	Приложение 3	
	Искусственные хаотические факторы систем .....	345
	Библиографический список .....	348