

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ ПРАКТИКУМ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ
ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО БАКАЛАВРИАТА

Под редакцией **В. Н. Волковой**

*Рекомендовано Учебно–методическим отделом высшего образования
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по инженерно–техническим направлениям*

Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru

Москва ■ Юрайт ■ 2016

УДК 519.87(075.8)

ББК 22.18я73

М74

Ответственный редактор:

Волкова Виолетта Николаевна — профессор, доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры системного анализа и управления Института компьютерных наук и технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации.

Рецензенты:

Халин В. Г. — доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных систем в экономике Санкт-Петербургского государственного университета;

Брусакова И. А. — доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой инновационного менеджмента Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета (ЛЭТИ).

М74 Моделирование систем и процессов. Практикум : учеб. пособие для академического бакалавриата / под ред. В. Н. Волковой. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 295 с. — Серия : Бакалавр. Академический курс.

ISBN 978-5-9916-7582-6

Цель практикума — помочь студентам в получении умений и навыков применения методов моделирования систем различных классов. В соответствии с этой целью кратко характеризуются подходы к моделированию систем, классификация методов моделирования, классификации задач принятия решений, информационных технологий. Обосновываются принципы выбора методов моделирования и информационных технологий для их реализации.

В практикум включены методические материалы по выполнению приводимых лабораторных работ и практических заданий, в которых применяются методы моделирования систем и средства их реализации: автоматизированные диалоговые процедуры для структуризации и анализа целей, реализации методов организации сложных экспертиз, аналитические системы, в том числе аналитическая платформа *Deductor* для исследования моделей представления и извлечения знаний, программные средства для построения и исследования когнитивных моделей и др.

Для выполнения лабораторных работ студенты применяют готовые программные процедуры или разрабатывают собственные. Примеры процедур доступны в электронной библиотечной системе «Издательства Юрайт» biblio-online.ru.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов, обучающихся по направлению «Системный анализ и управление». Может быть полезным для студентов других направлений, связанных с проектированием сложных технических комплексов и разработкой систем управления.

УДК 519.87(075.8)

ББК 22.18я73



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

ISBN 978-5-9916-7582-6

© Коллектив авторов, 2016

© ООО «Издательство Юрайт», 2016

Оглавление

Авторский коллектив	7
Список принятых сокращений	8
Введение	10
Глава 1. Классификация моделей и методов моделирования систем	15
1.1. Виды и классификации моделей систем (семинары и дискуссии).....	15
1.2. Подходы к моделированию систем (семинары и дискуссии).....	21
1.3. Выбор методов моделирования (семинары и дискуссии).....	23
1.4. Классификация информационных технологий для моделирования систем (семинары и дискуссии).....	25
<i>Аналитические задания</i>	31
<i>Темы для самоконтроля</i>	31
Глава 2. Автоматизированные диалоговые процедуры для формирования и анализа структур целей и функций систем	32
2.1. Цель и закономерности целеобразования (семинары и дискуссии).....	33
2.2. Методики структуризации целей и функций (семинары и дискуссии).....	35
2.2.1. Первые методики системного анализа целей.....	35
2.2.2. Методики, базирующиеся на философских концепциях системы.....	38
2.3. Применение различных методик и автоматизированных процедур структуризации целей и функций систем (практические задания).....	47
2.4. Принципы разработки автоматизированных диалоговых процедур структуризации и анализа целей и функций систем.....	55
2.5. Примеры автоматизированных диалоговых процедур анализа целей и функций.....	61
2.5.1. Автоматизированная диалоговая процедура анализа целей и функций.....	61
2.5.2. Автоматизированная диалоговая процедура <i>Tree Maker</i>	69
2.5.3. Автоматизированная диалоговая процедура «Структурайзер».....	78
<i>Аналитические задания</i>	87
<i>Темы для самоконтроля</i>	87
Глава 3. Модели и автоматизированные процедуры для реализации методов организации сложных экспертиз	89
3.1. Экспертные оценки: достоинства и недостатки (семинары и дискуссии).....	90
3.2. Оценка относительной важности составляющих дерева целей в методике ПАТТЕРН.....	92
3.2.1. Описание методики.....	92
3.2.2. Автоматизированная диалоговая процедура оценки составляющих структуры целей и функций.....	96

3.3. Метод решающих матриц Г. С. Поспелова и его модификации.....	99
3.3.1. Исходный вариант метода решающих матриц	99
3.3.2. Модификации метода решающих матриц	101
3.3.3. Программный продукт <i>PROJEKT1</i>	105
3.4. Модели организации сложных экспертиз, основанные на информационном подходе А. А. Денисова	108
3.4.1. Модели управления инновациями	108
3.4.2. Информационные модели анализа ситуаций	112
3.4.3. Информационная технология работы с процедурой <i>In-Sight</i>	117
3.4.4. Автоматизированная процедура оценки нововведений во времени ИНФООЦ.....	120
3.4.5. Автоматизированная процедура <i>Co-In</i> для анализа ситуаций с учетом взаимного влияния компонент	121
3.5. Автоматизированная диалоговая процедура <i>Eval-t</i> , реализующая несколько методов организации сложных экспертиз.....	125
<i>Аналитические задания</i>	134
<i>Темы для самоконтроля</i>	134

Глава 4. Системы компьютерной математики для реализации аналитических расчетов и численных методов моделирования систем ... 135

4.1. Состав и функциональные особенности систем компьютерной математики (семинары и дискуссии)	135
4.2. Основы работы в среде <i>MATLAB</i>	140
4.3. Реализация численных методов	145
4.3.1. Решение произвольных уравнений.....	145
4.3.2. Решение дифференциальных уравнений.....	146
4.4. Программирование вычислительных процессов.....	149
4.5. Пакеты прикладных программ для реализации методов математического программирования	151
4.5.1. Минимизация унимодальной функции одной переменной	152
4.5.2. Многомерная безусловная минимизация	152
4.5.3. Условная минимизация.....	154
4.5.4. Управление итерационными процессами	155
4.5.5. Задача линейного программирования.....	156
4.5.6. Задача квадратичного программирования	157
4.6. Получение навыков работы в среде <i>MATLAB</i> (лабораторные работы).....	158
4.6.1. Графический интерфейс пользователя и простейшие вычисления.....	158
4.6.2. Символьные вычисления в <i>MATLAB</i>	161
4.6.3. Построение графиков.....	162
4.6.4. Изучение пакета <i>Optimization Toolbox</i>	165
4.6.5. Применение пакета <i>Optimization Toolbox</i> для решения задач оптимизации.....	166
4.6.6. Решение задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений средствами <i>MATLAB</i>	167
<i>Аналитическое задание</i>	168
<i>Темы для самоконтроля</i>	168

Глава 5. Интернет-технологии	169
5.1. Принципы выполнения лабораторных работ по интернет-технологиям	169
5.2. Установка <i>UNIX</i> -подобной операционной системы (лабораторная работа)	170
5.2.1. Формулировка задания лабораторной работы 5.1	170
5.2.2. Методические рекомендации	171
5.2.3. Список вопросов для развернутого ответа	182
5.3. Установка панели управления хостингом (лабораторная работа)	183
5.3.1. Формулировка задания лабораторной работы 5.2	183
5.3.2. Методические рекомендации	183
5.4. Установка и настройка системы управления контентом (лабораторная работа)	200
5.4.1. Формулировка задания лабораторной работы 5.3	200
5.4.2. Методические рекомендации	201
5.4.3. Список вопросов для развернутого ответа	208
5.5. Продвижение интернет-сайта в глобальной сети Интернет (лабораторная работа)	209
5.5.1. Формулировка задания лабораторной работы 5.4	209
5.5.2. Методические указания	210
<i>Аналитические задания</i>	214
<i>Темы для самоконтроля</i>	214
Глава 6. Интеллектуальные системы и технологии	215
6.1. Мировой рынок программного обеспечения для интеллектуального анализа данных (семинары и дискуссии)	215
6.2. Предметно-ориентированные аналитические системы: применение аналитической платформы <i>Deductor</i> (лабораторные работы)	219
6.2.1. Основы работы с аналитической платформой <i>Deductor</i>	220
6.2.2. Кластерный анализ объектов	223
6.2.3. Искусственные нейронные сети. Многослойный перцептрон	233
6.3. Модели интеллектуальных систем и технологий с использованием готовых программных продуктов и СКМ <i>MATLAB</i> (лабораторные работы)	248
6.3.1. Изучение методов моделирования нечетких и нейросетевых систем средствами <i>MATLAB</i>	248
6.3.2. Нечетко-логическое представление функций	248
6.3.3. Гибридная нейро-нечеткая система	253
6.3.4. Классификация, кластеризация и распознавание на нейронных сетях	255
6.3.5. Моделирование нейронных сетей в среде <i>Simulink</i>	259
6.4. Принятие управленческих решений с применением демонстрационных версий систем поддержки принятия решений (лабораторные работы)	261
6.4.1. Выбор варианта из предложенных альтернатив с применением демонстрационной версии диалоговой системы <i>MPRIORITY 1.0</i>	261
6.4.2. Принятие решения (диагностика ситуации) с использованием прототипа экспертной системы <i>Expert Auto</i>	267

<i>Аналитическое задание</i>	271
<i>Темы для самоконтроля</i>	272
Глава 7. Когнитивное моделирование сложных систем	273
7.1. Разработка когнитивной карты «Спрос-предложение рабочей силы в условиях совершенной конкуренции» (лабораторная работа).....	274
7.2. Исследование свойств сложной системы на когнитивной карте (лабораторная работа)	282
<i>Аналитические задания</i>	289
<i>Темы для самоконтроля</i>	290
Заключение	291
Рекомендуемая литература	292
Приложение. Описание процедур, доступных в Электронной библиотечной системе Юрайт	294

Авторский коллектив

Волкова Виолетта Николаевна — профессор, доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры системного анализа и управления Института компьютерных наук и технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации;

Горелова Галина Викторовна — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры государственного и муниципального управления Института управления в экономических, экологических и социальных системах Инженерно-технологической академии Южного федерального университета;

Ефремов Артем Александрович — кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой системного анализа и управления Института компьютерных наук и технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого;

Кирсаев Анатолий Николаевич — доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и управления Института компьютерных наук и технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого;

Логинова Александра Викторовна — кандидат экономических наук, доцент кафедры системного анализа и управления Института компьютерных наук и технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого;

Паклин Николай Борисович — доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры общей и теоретической физики и методики преподавания физики физико-математического факультета Рязанского государственного университета им. С. А. Есенина;

Станкевич Лев Александрович — доцент, кандидат технических наук, профессор кафедры системного анализа и управления Института компьютерных наук и технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого;

Холодных Павел Владимирович — кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и управления Института компьютерных наук и технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого;

Широкова Светлана Владимировна — доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем в экономике и менеджменте Института промышленного менеджмента, экономики и торговли Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Список принятых сокращений

- АДП — автоматизированная диалоговая процедура
АДПАЦФ — автоматизированная диалоговая процедура анализа целей и функций
АДПОСЭ — автоматизированная диалоговая процедура организации сложной экспертизы
АИС — автоматизированная информационная система
АСНМОУ — автоматизированная система нормативно-методического обеспечения управления
АСУ — автоматизированная система управления
БД — база данных
ДИПС — документальные информационно-поисковые системы
ДФИПС — документально-фактографические информационно-поисковые системы
ДЦ — дерево целей
ИАД — интеллектуальный анализ данных
ИДМ — имитационное динамическое моделирование
ИМ — имитационное моделирование
ИПС — информационно-поисковая система
ИС — информационная система
ИТ — информационные технологии
КИС — корпоративная информационная система
МАИС — методы активизации интуиции специалистов
МОСЭ — методы организации сложных экспертиз
МФПС — методы формализованного представления систем
НБИК — nano-, био-, информационно-когнитивные технологии
НВВ — нововведение
НТИ — научно-техническая информация
ОАСУ — отраслевая автоматизированная система управления
ОТП — организационно-технологическая процедура
СКМ — системы компьютерной математики
СОД — система обработки даны
СППР — система поддержки принятия решений
СПУ — сетевое планирование и управление
СУБД — система управления базой данных
СЭД — системы электронного документооборота
ФИПС — фактографические информационные системы
ФЧ — функциональная часть
ЦФ — цели и функции
ЭВМ — электронно-вычислительная машина

ЭС — экспертная система

ЯИМ — язык имитационного моделирования

CASE — *computer-aided software/system engineering* (компьютерное программное обеспечение/системный инжиниринг)

CRM — *customer relationships management* (управление взаимоотношениями с клиентами)

GPSS — *general purpose simulation system* (система моделирования общего назначения)

DFD — *data flow diagrams* (диаграммы потока данных)

EDA — *electronic design automation* (автоматизация проектирования электронных устройств)

ERP — *enterprise resource planning* (систем планирования ресурсов предприятий)

ETL — *extract, transform, load* (извлечение, преобразование, загрузка)

FPGA — *field programmable gate array* (программируемая пользователем вентиляционная матрица)

HDL — *hardware description language* (язык описания аппаратуры)

HTML — *hypertext markup language* (язык гипертекстовой разметки документов)

HTTP — *hypertext transfer protocol* (протокол обмена гипертекстовой информацией)

IDE — *Integrated development environment* (интегрированная среда разработки программного обеспечения)

IDEF (ICAM DEFinition) — *integrated computer-aided manufacturing definition* (интегрированная диаграмма для автоматизации производства)

KDD — *knowledge discovery in databases* (обнаружение знаний в базах данных)

OLAP — *online analytical processing* (аналитическая обработка в реальном времени)

OLTP — *online transactions processing* (обработка транзакций в реальном времени)

OLE — *object linking and embedding* (технология связывания и внедрения объектов в другие документы и объекты. В 1996 г. переименовано в *ActiveX*)

OPC — *OLE for process control* (семейство программных технологий, предоставляющих единый интерфейс для управления объектами автоматизации и технологическими процессами)

PLC — *programmable logic controller* — контроллер с программируемой логикой

RAD — *rapid application development* (быстрая разработка приложений)

SADT — *structured analysis and design technique* (технологии структурного анализа и проектирования)

UML — *unified modeling language* (унифицированный язык моделирования)

WWW — *world wide web* (Всемирная паутина)

Введение

Цель практикума — помочь студентам в получении умений и навыков применения методов моделирования систем различных классов. Практикум является дополнительным учебным изданием к учебнику «Моделирование систем и процессов» [14].

В соответствии с этой целью в практикум включены методические материалы по выполнению приводимых лабораторных работ и практических заданий, в которых применяются методы моделирования систем, и средства их выполнения: автоматизированные диалоговые процедуры для структуризации и анализа целей, реализации методов организации сложных экспертиз, аналитические системы, в том числе аналитическая платформа *Deductor* для исследования моделей представления и извлечения знаний, программные средства для построения и исследования когнитивных моделей и др. Приводятся информационные технологии работы с автоматизированными процедурами и аналитическими системами.

В **главе 1** кратко характеризуются подходы к моделированию систем, классификация методов моделирования, классификации задач принятия решений, информационных технологий; обосновываются принципы выбора методов моделирования и информационных технологий для их реализации.

В **главе 2** приводятся примеры методик структуризации целей и функций, технологии и автоматизированные процедуры для формирования и анализа структур целей и функций систем, информационные технологии работы с автоматизированными процедурами, порядок выполнения лабораторных работ с применением различных методик и автоматизированных процедур. Лабораторный практикум включает разработку структуры целей и функций системы управления конкретной организацией; разработку структуры функциональной части АИС (АСУ) организации; разработку модели для выбора информационных массивов для реализации функций системы управления предприятием (организацией); разработку модели для выбора готовых программных продуктов, реализующих функции информационной системы организации. Лабораторные работы выполняются на примере конкретной организации (по выбору студента) и включаются в курсовой проект (курсовую работу).

В **главе 3** характеризуются достоинства и недостатки методов экспертных оценок, обосновывается целесообразность разработки и применения методов организации сложных экспертиз, включая метод, учитывающий несколько критериев и их весовые коэффициенты, предложенный в методике ПАТТЕРН; метод решающих матриц Г. С. Поспелова и его модификации; методы организации сложных экспертиз, основанные на инфор-

мационном подходе А. А. Денисова. Лабораторный практикум включает модели организации сложных экспертиз, реализующие эти методы. Приводятся автоматизированные процедуры для проведения лабораторных работ и информационные технологии работы с процедурами.

В **главе 4** характеризуются технологии обработки численных и символьных данных и пакеты прикладных программ для их реализации: *MATLAB*, *Maple*, *Mathematica (Wolfram)*, *Mathcad*; программные средства для реализации методов математического программирования, применяемые при принятии решений в сложных системах. Лабораторный практикум включает изучение основ работы в среде *MATLAB*; принципы реализации численных методов; ознакомление с пакетами *Optimization toolbox* и *Symbolic Math Toolbox* для решения задач математического программирования.

В **главе 5** приводится лабораторный практикум, включающий технологии установки и настройки *UNIX*-подобной операционной системы, установки Веб-сервера, технологии установки и настройки панели управления хостингом, установки и настройки системы управления контентом, продвижения интернет-сайта в глобальной сети Интернет на основе исследования целевой аудитории и совершенствования структуры и контента сайта. Приводятся практические задания и излагаются методики проведения лабораторных работ по реализации рассматриваемых интернет-технологий.

Глава 6 посвящена моделированию принятия решений в интеллектуальных системах. В параграфе 6.1 дается понятие об интеллектуальном анализе данных, излагаются принципы выполнения лабораторных работ по созданию предметно-ориентированных аналитических систем с применением аналитической платформы *Deductor*. Лабораторный практикум по этой теме включает кластерный анализ в распознавании образов и исследование искусственных нейронных сетей, многослойный перцептрон. В параграфе 6.2 приводится практикум по моделированию нечетких и нейросетевых систем средствами *MATLAB*, включая нечетко-логическое представление функций, нечетко-логическую экспертную систему, нейросетевое представление функций; нейросетевые распознаватели, гибридные нечетко-нейронные системы; экспертную систему на продукционных правилах. Характеризуются технологии работы с конкретными примерами интеллектуальных информационных систем в управлении. В параграфе 6.3 лабораторный практикум включает изучение конкретных примеров экспертных систем, систем поддержки принятия решений и работу в демонстрационных версиях систем.

В **главе 7** характеризуются понятия «имитационное моделирование», «когнитивный подход», «когнитивное моделирование», а также определяются системы: сложная социально-экономическая система, политическая система, экологическая система и др.; ставится задача когнитивного моделирования сложной системы в выбранной студентом предметной области. Приводятся темы семинаров и практических заданий. Лабораторный практикум включает разработку когнитивной карты на примере системы «Спрос-предложение рабочей силы»; исследование свойств когнитивной карты этой системы; примеры построения когнитивных карт по конкрет-

ным заданиям и исследования свойств системы на когнитивной карте с использованием программной системы когнитивного моделирования.

Для выполнения лабораторных работ студенты применяют готовые программные процедуры или разрабатывают собственные. Примеры процедур доступны в Электронной библиотечной системе (ЭБС) издательства Юрайт (biblio-online.ru), куда студенты могут получить доступ в результате приобретения этой книги. Перечень процедур и адресация доступа к ним приведены в приложении.

В результате изучения дисциплины обучаемые должны:

знать

- основные особенности и возможности применения методов моделирования систем различных классов в реальных условиях, возникающих при проведении научных исследований, проектировании технических систем и управлении производственными предприятиями и научно-исследовательскими организациями;
- информационные технологии для реализации методов моделирования систем;
- принципы выбора методов моделирования и информационных технологий для реализации моделирования систем различных классов;
- методические материалы по выполнению приводимых лабораторных работ и практических заданий, в которых применяются методы моделирования систем и средства их реализации;
- технологии обработки численных и символьных данных и пакеты прикладных программ для их реализации при исследовании конкретных задач;
- технологии работы с пакетами прикладных программ для обработки численных и символьных данных;
- методы создания и использования баз данных для систем управления;
- виды и способы реализации основных интернет-технологий (установки *UNIX*-подобной операционной системы; технологию установки и настройки панели управления хостингом; технологию установки системы управления контентом);
- принципы разработки когнитивных моделей сложных систем, проведения сценарного анализа развития сложной системы по когнитивным моделям;
- модели представления знаний в интеллектуальных информационных системах;
- методы разработки и применения интеллектуальных информационных систем;

уметь

- выбирать и предлагать новые методологические подходы к решению задач в профессиональной сфере деятельности, методы моделирования систем различных классов для принятия решений при создании автоматизированных технических комплексов, при разработке систем управления предприятиями и организациями;

- применять автоматизированные диалоговые процедуры для структуризации и анализа целей;
 - применять автоматизированные диалоговые процедуры для реализации методов организации сложных экспертиз;
 - применять технологии обработки численных и символьных данных и пакеты прикладных программ для их реализации при исследовании конкретных задач;
 - применять методы создания и использования баз данных для систем управления;
 - устанавливать и применять основные средства интернет-технологий, использующихся при моделировании систем;
 - использовать методологию когнитивного моделирования для анализа сложных систем и обоснования решений в области объяснения, прогнозирования развития, управления сложными системами;
 - ориентироваться в современных методах и алгоритмах ИАД;
 - разрабатывать аналитические системы с применением аналитической платформы *Deductor* для исследования моделей представления и извлечения знаний;
 - работать с интеллектуальной информационной системой как постановщик задач, инженер-интерпретатор и системный аналитик;
- владеет навыками***
- применения методов моделирования систем и процессов;
 - применения автоматизированных диалоговых процедур для структуризации и анализа целей;
 - применения автоматизированных диалоговых процедур для реализации методов организации сложных экспертиз;
 - выбора технологии обработки численных и символьных данных и пакетов прикладных программ для их реализации при исследовании конкретных задач;
 - работы с пакетами прикладных программ для обработки численных и символьных данных;
 - применения методов создания и использования баз данных для систем управления;
 - установки и настройки виртуализации *UNIX*-подобной операционной системы;
 - управления хостингом;
 - анализа и оценки состояния экономической и социальной среды, деятельности органов и организаций на основе методов когнитивного моделирования;
 - формулирования постановки задачи в терминах ИАД и машинного обучения и выбора программных средств для ИАД;
 - реализации различных стратегий вывода знаний и пояснения полученных результатов при использовании интеллектуальных информационных систем.

Введение, заключение, гл. 1–3 подготовлены В. Н. Волковой (параграф 1.4 — совместно с А. А. Ефремовым, параграф 2.5 — совместно с П. В. Холодных; параграф 3.4 — совместно с А. В. Логиновой); гл. 4 —

А. Н. Кирсяевым; гл. 5 — А. А. Ефремовым (параграф 5.4 — А. В. Логиновой); гл. 6: параграф 6.1 — Н. Б. Паклиным; параграф 6.2 — Л. А. Станкевичем; параграф 6.3 — С. В. Широковой; гл. 7 — Г. В. Гореловой.

Авторы выражают благодарность рецензентам пособия — заведующему кафедрой информационных систем в экономике Санкт-Петербургского государственного университета, доктору экономических наук, профессору Владимиру Георгиевичу Халину и профессору Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета (ЛЭТИ), доктору технических наук, профессору Ирине Александровне Брусаковой.

Практикум предназначен для студентов, обучающихся по направлению «Системный анализ и управление». Он может быть полезным и для студентов других специальностей, связанных с проектированием сложных технических комплексов и разработкой систем управления.

Глава 1

КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

Характеризуются понятия «модель», «моделирование», подходы к моделированию систем, классификации методов моделирования систем и процессов. Приводятся классификации систем и задач принятия решений, классификация информационных технологий. Ставится задача выбора моделирования и информационных технологий для конкретных задач проектирования систем, управления и принятия других решений, рассматриваемых в последующих главах практикума.

В результате изучения данной главы студент должен:

знать

- определения понятий «модель» и «моделирование»;
- классификации проблем и систем;
- подходы к моделированию систем;
- принципы и признаки классификации методов моделирования систем и процессов;
- виды и особенности специальных подходов и методов теории систем и системного анализа;
- классификацию информационных технологий для моделирования систем и процессов;
- принципы выбора методов моделирования и информационных технологий при исследовании проблем и систем различных классов;

уметь

- обосновывать потребность в разработке модели объекта или проблемной ситуации;
- определять класс моделей для исследования или проектирования конкретных объектов, процессов и проблемных ситуаций;
- выбирать подход, методы моделирования и информационные технологии для конкретной задачи или процесса принятия решения;

владеть навыками

- обоснования выбора класса моделей для исследования или проектирования конкретных объектов, процессов и проблемных ситуаций;
 - выбора подхода и методов моделирования для конкретной задачи или процесса принятия решения.
-

1.1. Виды и классификации моделей систем (семинары и дискуссии)

На основе анализа понятий «модель» и «моделирование» в учебнике [14], дополнением к которому является данный практикум, предложено символически отобразить *определение модели как носителя информации об оригинале*

для достижения *цели субъекта* в условиях определенной *инфраструктуры*, обеспечивающей моделирование, т.е. включающей технологии и условия моделирования:

$$\mathbf{M} \stackrel{def}{=} \langle O, N, Z, TECH, COND, L \rangle, \quad (1.1)$$

где O — *оригинал* (моделируемое явление, объект, источник информации); N — *субъект* (наблюдатель, по Эшби), т.е. лицо, которому потребовалась информация об оригинале для достижения своей цели (исследования, принятия решения и т.п.); Z — *цель* или совокупность целей; $TECH = \{meth, means, alg, \dots\}$ — совокупность технологий (*meth* — методы, *means* — средства, *alg* — алгоритмы); $COND = \{\varphi_{ex}, \varphi_{in}\}$ — условия существования модели, т.е. факторы, влияющие на ее создание и функционирование (φ_{ex} — внешние, φ_{in} — внутренние); L — язык для исследования гносеологических аспектов отношения «модель — оригинал».

Процесс формирования или выбора модели всегда связан с содержательным анализом решаемой проблемы, задачи, осуществляемым человеком, субъектом в определении (1.1). Поэтому важно предварительно определить лицо, принимающее решения, цели моделирования, классифицировать проблемы.

Классифицировать модели можно по любому из компонентов определения (1.1).

В учебнике авторов [14] обоснована целесообразность классификации моделей по признаку «методы моделирования».

Первоначально модели делили на две группы — *физические* и *абстрактные (математические)*.

Физическими моделями называют модели, эквивалентные или подобные оригиналу, но имеющие другую физическую природу, и делят их на *натуральные, квазинатуральные, масштабные* и *аналоговые*.

Математические модели представляют собой формализованное отображение системы с помощью абстрактного языка, математических соотношений, отражающих структуру или процесс функционирования системы, и делятся на *аналитические* и *численные*. Аналитические модели, в свою очередь, делятся на *детерминированные* и *вероятностные*.

В последующем в теории систем было осознано, что формализованное отображение системы с помощью абстрактного языка не сводится только к детерминированным и вероятностным моделям. К математическим стали относить *теоретико-множественные модели, модели математической логики, теории графов*.

Была предложена классификация методов моделирования¹, в которой методы разделены на два класса:

1) **методы формализованного представления систем** (МФПС), включающие *модели математической лингвистики* (иногда кратко называемые *лингвистическими*) и *семиотические модели*;

2) **методы активизации интуиции и опыта специалистов** (МАИС).

¹ Волкова В. Н., Денисов А. А. Основы теории систем и системного анализа : учебник. СПб. : Изд-во СПбГПУ, 1997.

При классификации МФПС принята классификация Ф. Е. Темникова¹, в которой выделяются следующие обобщенные группы (классы) методов:

- *аналитические* (методы классической математики, включая интегро-дифференциальное исчисление, методы поиска экстремумов функций, вариационное исчисление, методы математического программирования; методы, описанные в первых работах по теории игр, и т.п.);
- *статистические* (включающие и теоретические разделы математики — теорию вероятностей, математическую статистику, и направления прикладной математики, использующие стохастические представления, — теорию массового обслуживания, методы статистических испытаний (основанные на методе Монте-Карло), методы выдвижения и проверки статистических гипотез А. Вальда и другие методы статистического моделирования);
- *теоретико-множественные*;
- *логические, лингвистические, семиотические* представления (методы *дискретной математики*), составляющие теоретическую основу разработки языков моделирования, автоматизации проектирования, информационно-поисковых языков;
- *графические* (включающие теорию графов и разного рода графические представления информации типа диаграмм, гистограмм и других графиков).

В классификацию МАИС включены методы, которые активно исследовались в начальный период развития теории систем: мозговая атака, или коллективная генерация идей, и другие методы выработки коллективных решений; методы типа сценариев, методы и методики структуризации, методы экспертных оценок, морфологического моделирования и др.

К классу моделей формализованного представления систем относятся и модели, основанные на применении *численных методов*. А в составе численных методов выделяют особый класс *математического программирования*, который первоначально возникал и рассматривался как самостоятельный класс методов моделирования.

К математическим моделям в настоящее время относят также *программные комплексы* — пакеты программ для расчета на компьютере (прикладные, привязанные к предметной области и конкретному объекту, явлению, процессу, и общие, реализующие универсальные математические соотношения, формально-логические модели, созданные на формальном языке).

Разделение методов на МФПС и МАИС находится в соответствии с основной идеей системного анализа, которая состоит в сочетании в моделях и методиках формальных и неформальных представлений, что помогает в разработке методик, выборе методов постепенной формализации отображения и анализа проблемной ситуации.

При моделировании систем применяется широкий спектр символических представлений, использующих язык классической математики. Однако далеко не всегда эти символические представления адекватно отра-

¹ Волкова В. Н., Темников Ф. Е. Методы формализованного представления (отображения) систем : текст лекций. М. : Изд-во ИПКИР, 1974; Волкова В. Н., Денисов А. А., Темников Ф. Е. Методы формализованного представления систем : учеб. пособие. СПб. : Изд-во СПбГТУ, 1993.

жают реальные сложные процессы, и их в этих случаях, вообще говоря, нельзя считать строгими математическими моделями.

Самостоятельными разделами теории моделирования можно также считать специальные методы или подходы, сочетающие средства МАИС и МФПС, — *ситуационное*¹, *структурно-лингвистическое, логико-лингвистическое*², *логико-рефлексивное*³, *лингво-комбинаторное*⁴ моделирование; *когнитивное* моделирование, кратко характеризующее в гл. 7, в которой приводятся лабораторные работы с использованием моделей, разрабатываемых в Южном федеральном университете; моделирование, основанное на *теории информационного поля А. А. Денисова*⁵ и ее дискретном варианте — *информационном подходе к анализу систем*, используемом при разработке методов организации сложных экспертиз, с применением которых проводятся лабораторные работы, приводимые в гл. 3; моделирование путем организации процесса *постепенной формализации с переключением* МАИС и МФПС⁶, обеспечивающее переход от менее формализованной модели к более формализованной; *системно-структурный синтез*⁷.

Учитывая специфику имитационного моделирования, в определенный период развития теории моделирования начали выделять в отдельный класс имитационные модели.

Имитационные модели в исходном понимании — описание системы и внешних воздействий, алгоритмов функционирования системы или правил изменения состояния системы под влиянием внешних и внутренних возмущений в ситуациях, когда алгоритмы и правила не дают возможности использования имеющихся математических методов аналитического

¹ Поспелов Д. А. Ситуационное управление: Теория и практика. М. : Наука, 1986; Клыков Ю. И. Ситуационное управление большими системами. М. : Энергия, 1974; Загадская Л. С., Клыков Ю. И. Практическое применение ситуационной модели управления // Техническая кибернетика. М. : Изд-во АН СССР, 1971. № 2. С. 18–25.

² Кукур Б. Л. Семиотика системного анализа и семантическая система логико-лингвистической модели предметной области // Системный анализ в проектировании и управлении : сб. науч. трудов XIII Междунар. научно-практич. конф. СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2009. Ч. 1. С. 164–169.

³ Арефьев И. Б., Кезлинг Г. Б., Кукур Б. Л. Интегрированные АСУ в машиностроении. Л. : Машиностроение, 1988; Арефьев И. Б. Прогнозирование и контроль состояния объекта управления в среде системы PERT (метод интегральных характеристик). СПб. : Изд-во СЗТУ, 2010; Арефьев И. Б. Логико-рефлексивное моделирование технологии изготовления промышленных деталей. Калининград : Изд-во БФУ им. М. Канта, 2012.

⁴ Игнатев М. Б. Кибернетическая картина мира. Теория сложных систем. СПб., 2011; Ignatyev M. B. Linguo-combinatorial simulation of complex systems // Journal of Mathematics and System Science. January, 2012. Vol. 2. № 1. P. 58–66.

⁵ Денисов А. А. Теоретические основы кибернетики: Информационное поле. Л. : Изд-во ЛПИ, 1975.

⁶ Волкова В. Н. К методике проектирования автоматизированных информационных систем // Автоматическое управление и вычислительная техника. Вып. 11. М. : Машиностроение, 1975. С. 289–300; Волкова В. Н. Постепенная формализация моделей принятия решений. СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2006.

⁷ Растрюгин Л. А. Современные принципы управления сложными объектами. М. : Радио и связь, 1980; Лытарь Ю. И. Теория системного структурного синтеза // В сб. трудов Междунар. научно-практич. конф.: Системный анализ в проектировании и управлении. СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2001. С. 43–45.

и численного решения, но позволяют имитировать процесс функционирования системы и производить вычисления интересующих характеристик. В последующем имитационные модели стали создавать для гораздо более широкого класса объектов и процессов, чем аналитические и численные.

На базе *статистических представлений* разработаны направление имитационного моделирования с целью определения функции распределения случайной величины; моделирование, основанное на методе Монте-Карло; имитационное моделирование в теории массового обслуживания.

Поскольку для реализации имитационных моделей служат вычислительные системы, в качестве средств формализованного описания имитационной модели используют универсальные и специальные языки. Для моделирования могут быть использованы языки имитационного моделирования (ЯИМ).

Для исследования, разработки прогнозов и решения других задач принятия решений разработаны специальные методы имитационного моделирования — имитационное динамическое моделирование Дж. Форрестера¹, имитационное моделирование с использованием автоматизированной системы *PILGRIM*, развиваемое А. А. Емельяновым².

В условиях активного развития компьютерного моделирования формируется самостоятельный класс *моделей представления и извлечения знаний*, в составе которых выделяют модели, развиваемые на базе теории искусственного интеллекта, модели, построенные на принципах, заимствованных у природы, модели интеллектуального анализа данных (ИАД) — *data mining*. Информационные технологии для реализации моделей ИАД и лабораторные работы с их использованием приведены в гл. 7.

На рис. 1.1 приведены укрупненные разделы предлагаемой классификации моделей.

Разумеется, на рис. 1.1 приведены лишь укрупненные группы-направления. Эти направления непрерывно развиваются, и в их рамках появляются методы с расширенными возможностями по сравнению с исходными. Новые методы часто возникают на основе сочетания ранее существовавших.

Практически невозможно создать единую классификацию, которая включала бы все разделы современной математики. В то же время приведенные направления помогают понять особенности конкретных методов, использующих средства того или иного направления или их сочетания, помогают выбирать методы для конкретных приложений.

Классификация методов моделирования, подобная рассмотренной, помогает осознанно выбирать методы моделирования и должна входить в состав методического обеспечения работ по проектированию сложных технических комплексов, управлению предприятиями и организациями. Она может развиваться, дополняться конкретными методами, т.е. аккумулировать опыт, накапливаемый в процессе проектирования и управления.

¹ Форрестер Дж. Мировая динамика. М. : Наука, 1978; Федотов А. В. Моделирование макроэкономических процессов : учеб. пособие. Л. : Изд-во ЛПИ, 1987; Федотов А. В. Моделирование и управление вузом. Л. : Изд-во ЛГУ, 1985.

² Компьютерная имитация экономических процессов / под ред. А. А. Емельянова. М. : Маркет ДС, 2010.

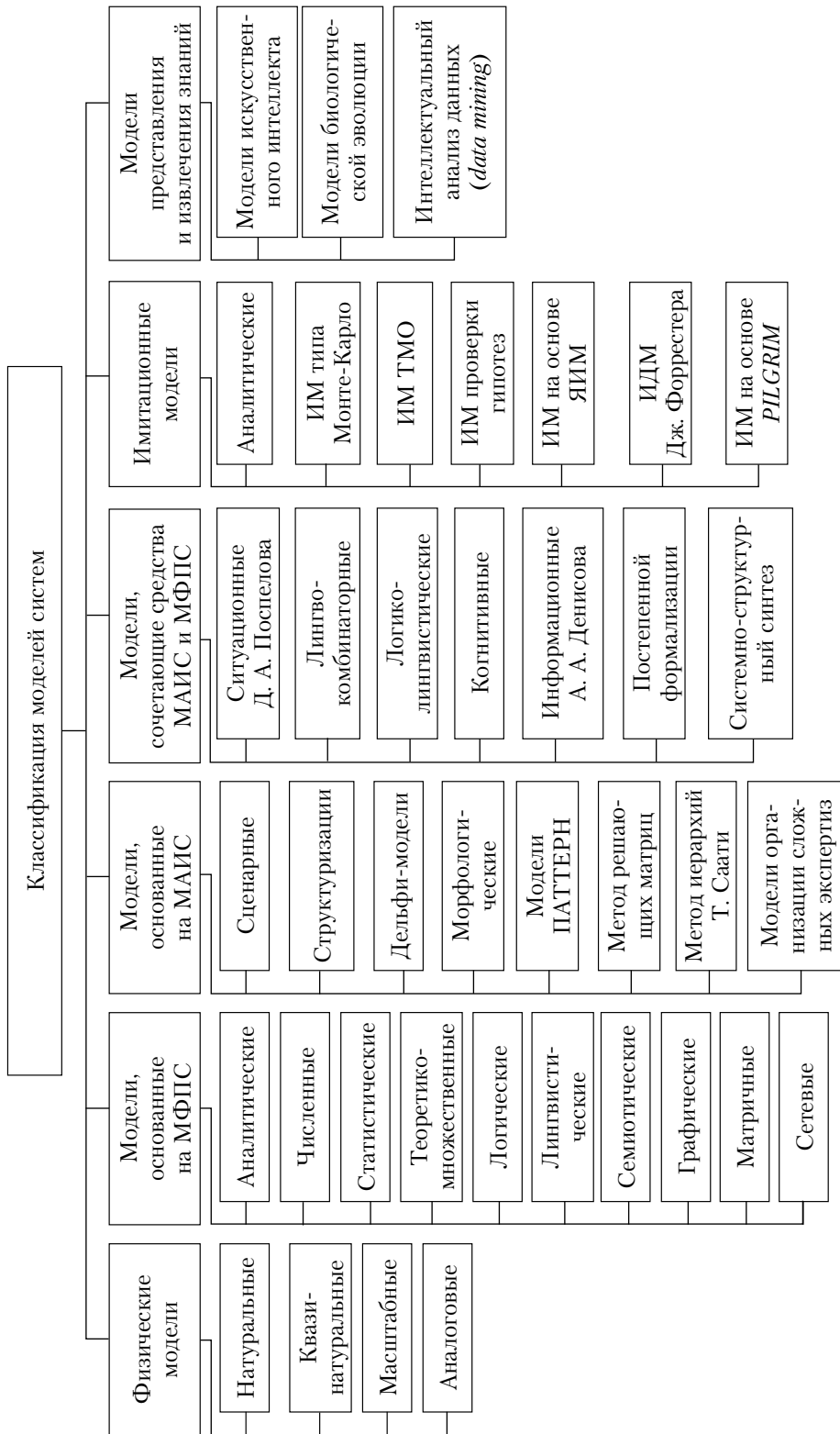


Рис. 1.1. Классификация моделей

При выборе метода моделирования удобно вначале определить подход к моделированию.

1.2. Подходы к моделированию систем (семинары и дискуссии)

На протяжении всей истории развития теории систем предлагались и применялись различные подходы к представлению (отображению), анализу и проектированию систем.

Традиционный подход, применяющийся в математических исследованиях, состоит в том, чтобы определить элементы (переменные, константы) и связать их соответствующим соотношением (формулой, уравнением, системой уравнений), отображающим принцип взаимодействия элементов.

Когда задачи усложнились и такое соотношение не удавалось сразу получить, предлагалось формировать пространство состояний элементов и вводить меры близости между элементами этого пространства.

Однако первые же попытки применить такой подход к исследованию систем управления предприятиями и организациями показали, что это не всегда удается сделать, трудно определить все необходимые элементы системы, или, как говорили — «перечислить систему». Предлагались различные подходы, с различными названиями.

Применение философских категорий — индуктивный и дедуктивный подходы, анализ и синтез — позволяет определить основные принципы исследования. Однако эти категории могут трактоваться и реализовываться по-разному.

Поэтому с самого начала возникновения системных теорий предлагались различные подходы, краткая характеристика которых приведена в учебниках [2, 14, 19]: бихевиористский подход (*behavior* — поведение), основанный на исследовании поведения (т.е. функционирования) систем; *целенаправленный* и *терминальный* (от понятия «терм» — элементарной частицы, интересующей исследователя) (М. Месарович¹); *декомпозиция* и *композиция* системы (Р. Куликовски²); *морфологический подход* (Ф. Цвикки³); подход к созданию сложных программ и проектов, названный *деревом целей*, предложенный корпорацией *RAND*⁴.

В практике проектирования сложных технических комплексов возникли термины язык моделирования, язык автоматизации проектирования, применяющиеся для отображения взаимосвязей между компонентами проекта; при разработке языков моделирования применяют *математическую логику*

¹ Месарович М. Общая теория систем и ее математические основы // Исследования по общей теории систем : Сб. переводов / под ред. В. Н. Садовского и Э. Г. Юдина. М. : Прогресс, 1969.

² Куликовски Р. Оптимальные и адаптивные процессы в системе автоматического регулирования. М. : Наука, 1967.

³ Zwicky F. Morphological astronomy. Berlin : Springer-Verlag, 1957.

⁴ Лопухин М. М. ПАТТЕРН — метод планирования и прогнозирования научных работ. М. : Советское радио, 1971.

и *математическую лингвистику*, в которой есть удобный термин для описания структуры языка — *тезаурус*, и подход называют иногда *лингвистическим* или *тезаурусным*. При исследовании и формировании структур были предложены следующие подходы: путем поиска связей между элементами или, напротив, путем устранения лишних связей [2, 3, 20].

На основе анализа подходов и обобщения предшествующего опыта сформировалось два основных подхода к отображению систем, первоначально предложенных для формирования структур целей¹: а) «сверху» — методы *структуризации* или *декомпозиции, целевой, или целенаправленный*, подход; б) «снизу» — подход, который называют *морфологическим* (в широком смысле), *лингвистическим, тезаурусным, терминальным*, методом языка системы. С помощью этого подхода определяется пространство состояний системы и реализуется поиск взаимосвязей (мер близости) между элементами.

В 1970—1980-е гг. при проектировании организационных структур были предложены три подхода к решению этой проблемы²: *нормативно-функциональный*, направленный на унификацию организационных форм и функций управления; *функционально-технологический*, основанный на рационализации потоков информации и технологии ее обработки, на формировании и анализе организационно-технологических процедур подготовки и реализации управленческих решений; *системно-целевой*, реализующийся путем построения структуры целей, определении на ее основе функций управления и их организационном оформлении.

В результате в настоящее время сложились следующие подходы.

Обобщающий подход («сверху»), называемый *целевым, целенаправленным, системно-целевым*, основан на структуризации или декомпозиции системы в пространстве. Этот подход позволяет расчленить исходную большую неопределенность на более обозримые и выбрать методы их анализа и проектирования, сохраняя целостность представления об исследуемой системе или решаемой проблеме на основе иерархической структуры (древовидной, стратифицированной).

Подход («снизу»), основанный на анализе пространства состояний, поиске мер близости между компонентами с помощью различных, в том числе статистических, методов, морфологического моделирования, отличается большой трудоемкостью. В настоящее время для анализа пространства состояний разработаны методы представления и извлечения знаний, основанные на применении статистических методов, математической логики и математической лингвистики. Этот подход можно реализовать, применяя не только комбинаторные приемы (морфологический и т.п.), но и модели структуризации во времени, которые удобнее считать самостоятельным подходом, называемым *процессным*.

Процессный подход можно считать развитием *бихевиористского* и *функционально-технологического подходов*, основанных на структуризации во времени, представлении процессов в форме графов.

¹ Волкова В. Н. и др. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи. М. : Радио и связь, 1983.

² Мильнер Б. З., Евенко Л. И., Рапопорт В. С. Системный подход к организации управления. М. : Экономика, 1983.

Применение функционально-технологического подхода долгое время было практически нереализуемым из-за большой трудоемкости, отсутствия правил и средств автоматизации формирования графов, отображающих процессы в системах. В 1990-е гг. была разработана методология *SADT (structured analysis and design* — структурный анализ и проектирование, предложена Дугласом Россом¹), представляющая собой совокупность методов, правил и процедур, предназначенных для построения функциональной модели объекта какой-либо предметной области. На ее основе разработаны и стали широко применяться функционально-ориентированные и объектно-ориентированные *CASE*- и *RAD*-технологии. Компьютерная реализация методологии *SADT* получила название *IDEF (icam definition)*. Основными структурными моделями являются модели процессов *IDEF0* и *IDEF3*, модель данных *IDEF1X*². Созданы стандарты *IDEF* и *DFD*, ориентированные на анализ процессов (в том числе бизнес-процессов). Для реализации моделей применяются автоматизированные средства — *BPWin*, *ARIS*, язык *UML (unified modeling language* — унифицированный язык моделирования)³. Популярность *CASE*-методологии и *RAD*-технологий базируется на разработке принципов и автоматизации формирования процессов, на развитии методов их формирования (на основе анализа жизненного цикла производства, обслуживания или других процессов, причинно-следственных связей и т.п., что и обеспечило развитие процессного подхода, преимущества которого заключаются в возможности учитывать особенности конкретного объекта и условий его деятельности.

1.3. Выбор методов моделирования (семинары и дискуссии)

Для выбора методов моделирования целесообразно вначале классифицировать системы и решаемые проблемы.

В первый период развития теории принятия решений и теории систем широко распространено было выделение классов проблем по степени неопределенности: с *достаточной определенностью*, с *неопределенностью* и с *большой начальной неопределенностью*. А. Ньюэлл и Г. Саймон⁴ предложили делить проблемы и системы по принципу структурированности: *хорошо структуризованные*, *плохо структуризованные* и *неструктуризованные*. По аналогии с этой классификацией В. В. Налимовым⁵ было предложено ввести понятия *хорошо организованных*, применяющихся в тех случаях, когда может быть предложено детерминированное описа-

¹ Ross D. Applications and extension of SADT // IEEE. Computer. April, 1995.

² См., например: Черемных С. В., Семёнов И. О., Ручкин В. С. Структурный анализ систем: *IDEF*-технологии. М.: Финансы и статистика, 2003.

³ См., например: Фаулер М., Скотт К. *UML* в кратком изложении: Применение стандартного языка объектного моделирования / пер. с англ. М.: Мир, 1996.

⁴ Ньюэлл А., Шоу Дж., Саймон Г. Разновидности интеллектуального обучения «вычислителя для решения задач общего типа» // Самообучающиеся системы. М.: Мир, 1964.

⁵ Методологические проблемы кибернетики: В 2 т. М.: Изд-во МГУ, 1970.

ние и экспериментально доказана *адекватность* модели реальному объекту или процессу, и *плохо организованных*, или *диффузных*, систем, исследуемых с помощью определения закономерностей и макропараметров, которые выявляются на основе исследования достаточно представительной (репрезентативной) выборки компонентов и распространяются на поведенные системы в целом с какой-то вероятностью.

Позднее, в первой коллективной монографии по теории систем¹ к этим двум классам был добавлен еще класс *самоорганизующихся*, или *развивающихся*, систем, который характеризуется рядом признаков, особенностей, приближающих их к реальным развивающимся объектам: способность адаптироваться к изменяющимся условиям среды и помехам, принципиальная неравновесность, способность противостоять энтропийным (разрушающим систему) тенденциям и проявлять неэнтропийные тенденции, способность вырабатывать варианты поведения и изменять свою структуру, способность и стремление к целеобразованию.

Для объяснения этих особенностей предлагают и исследуют *закономерности систем* (см., например, работы [2, 3, 19, 20]). При исследовании этих особенностей выявлено важное отличие развивающихся открытых систем с активными элементами от закрытых — *принципиальная ограниченность их формализованного описания*, что приводит к необходимости сочетания формальных методов и методов качественного анализа.

Рассмотренным классам могут быть поставлены в соответствие виды моделей и соответствующие им методы моделирования (приведены в последнем столбце в табл. 1.1).

Таблица 1.1

Классификации проблем и систем и соответствующие им виды моделей

Признаки классификации			Виды моделей
Степень неопределенности	Структурированность	Степень организованности	
С достаточной определенностью	Хорошо структуризованные	Хорошо организованные	Физические модели Математические модели: аналитические; численные; математической логики; теории графов
С неопределенностью	Плохо структуризованные	Плохо организованные, или диффузные	Статистические модели: модели математической статистики; статистическое имитационное моделирование; методы выдвижения и проверки статистических гипотез

¹ Волкова В. Н. и др. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи.