

С. В. Яковлев

Теория систем и системный анализ

3-е издание, переработанное
и дополненное

*Рекомендовано УМО по образованию в области
Инфокоммуникационных технологий и систем связи в качестве
учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки 11.03.02, 11.04.02 –
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
квалификации (степени) «бакалавр», «магистр» и 11.05.04 –
«Инфокоммуникационные технологии и системы специальной
связи» квалификации «специалист»*

Москва
Горячая линия – Телеком
2015

УДК 303.732.4(076)

ББК з817 я73-5

Я 47

Рецензенты: доктор техн. наук, доцент, зав. кафедрой инфокоммуникаций Северо-Кавказского федерального университета *Г. И. Линец*; доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры «Автоматизированные системы управления» филиала Московского государственного университета приборостроения и информатики в г. Ставрополе *И. А. Калмыков*

Яковлев С. В.

Я 47 Теория систем и системный анализ (лабораторный практикум). Учебное пособие для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Горячая линия — Телеком, 2015. — 320 с.: ил.
ISBN 978-5-9912-0496-5.

Рассмотрены практические вопросы применения методов системного анализа для решения хорошо структурированных, количественно выражаемых проблем. При этом использована методология исследования операций, которая состоит в построении адекватной математической модели (например, задачи линейного, динамического, нелинейного программирования, задачи теории массового обслуживания, теории игр и др.) и отыскании оптимальной стратегии управления целенаправленными действиями.

Для студентов, бакалавров, магистров и аспирантов соответствующих специальностей, а также может быть полезно инженерам и другим научно-техническим работникам.

ББК з817 я73-5

Адрес издательства в Интернет www.techbook.ru

Все права защищены.

Любая часть этого издания не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения правообладателя

© ООО «Научно-техническое издательство «Горячая линия — Телеком»
www.techbook.ru

© С. В. Яковлев

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	6
1.1. Формулировка задачи линейного программирования	8
1.2. Математическая модель задачи линейного программирования	9
1.3. Геометрический метод решения задачи линейного программирования	10
1.4. Симплексный метод решения задачи линейного программирования	13
1.5. Использование среды MS Excel для нахождения оптимального допустимого решения задачи линейного программирования	21
1.6. Использование среды MathCad для решения задачи линейного программирования	32
1.7. Лабораторная работа 1. Решение задач линейного программирования геометрическим методом	34
1.7.1. Цель и содержание	34
1.7.2. Аппаратура и материалы	34
1.7.3. Порядок выполнения работы	34
1.7.4. Вопросы для защиты работы	36
1.8. Лабораторная работа 2. Решение задач линейного программирования симплексным методом	37
1.8.1. Цель и содержание	37
1.8.2. Аппаратура и материалы	37
1.8.3. Порядок выполнения работы	37
1.8.4. Вопросы для защиты работы	39

Глава 2. ДВОЙСТВЕННЫЕ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	40
2.1. Структура и свойства двойственной задачи линейного программирования	40
2.2. Нахождение двойственной задачи линейного программирования	43
2.3. Графический способ решения двойственных задач линейного программирования	44
2.4. Лабораторная работа 3. Исследование двойственных задач линейного программирования	46
2.4.1. Цель и содержание	46
2.4.2. Аппаратура и материалы	46
2.4.3. Порядок выполнения работы	47
2.4.4. Вопросы для защиты работы	48
Глава 3. ТРАНСПОРТНЫЕ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	50
3.1. Формулировка классической транспортной задачи	50
3.2. Математическая модель транспортной задачи	53
3.3. Решение транспортной задачи	54
3.4. Использование среды MS Excel для решения транспортной задачи	60
3.5. Формулировка задачи о назначениях	63
3.6. Математическая модель задачи о назначениях	64
3.7. Венгерский метод решения задачи о назначениях	65
3.8. Использование среды MS Excel для решения задачи о назначениях	70
3.9. Использование среды MathCad для решения задачи о назначениях	71
3.10. Лабораторная работа 4. Определение оптимального распределения поставок и минимальных затрат при решении транспортных задач	73
3.10.1. Цель и содержание	73
3.10.2. Аппаратура и материалы	74
3.10.3. Порядок выполнения работы	74
3.10.4. Вопросы для защиты работы	76
3.11. Лабораторная работа 5. Решение задачи о назначениях венгерским методом	77
3.11.1. Цель и содержание	77
3.11.2. Аппаратура и материалы	77
3.11.3. Порядок выполнения работы	77
3.11.4. Варианты заданий для самостоятельного решения ..	78
3.11.5. Вопросы для защиты работы	90

Глава 4. МОДЕЛИ ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	91
4.1. Формулировка задачи коммивояжера	92
4.2. Математическая модель задачи коммивояжера	92
4.3. Решение задачи коммивояжера	93
4.4. Использование среды MS Excel для решения задачи коммивояжера	101
4.5. Лабораторная работа 6. Решение задачи коммивояжера методом ветвей и границ	105
4.5.1. Цель и содержание	105
4.5.2. Аппаратура и материалы	105
4.5.3. Порядок выполнения работы	105
4.5.4. Вопросы для защиты работы	106

Глава 5. ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ	107
5.1. Формулировка оптимизационной задачи в условиях неопределенности	109
5.2. Критерии принятия решений в условиях неопределенности	110
5.3. Принятие решений в условиях неопределенности	111
5.4. Использование среды MS Excel для нахождения оптимальной стратегии	113
5.5. Лабораторная работа 7. Решение оптимизационных задач в условиях неопределенности	117
5.5.1. Цель и содержание	117
5.5.2. Аппаратура и материалы	117
5.5.3. Порядок выполнения работы	117
5.5.4. Вопросы для защиты работы	119

Глава 6. ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ В УСЛОВИЯХ КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЙ	121
6.1. Формулировка игровой задачи	122
6.2. Математическая модель игровой задачи	122
6.3. Итерационный метод решения игровой задачи	124
6.4. Использование среды MS Excel для решения игровых задач методом линейного программирования	128
6.5. Лабораторная работа 8. Решение игровых задач	133
6.5.1. Цель и содержание	133
6.5.2. Аппаратура и материалы	133
6.5.3. Порядок выполнения работы	133
6.5.4. Вопросы для защиты работы	134

Глава 7. МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ	135
7.1. Формулировка задачи с несколькими целевыми функциями	136
7.2. Математическая модель многокритериальной задачи	137
7.3. Методы решения задач с несколькими целевыми функциями	137
7.4. Использование среды MathCad для решения задач с несколькими целевыми функциями	139
7.5. Лабораторная работа 9. Решение многокритериальных задач	143
7.5.1. Цель и содержание	143
7.5.2. Аппаратура и материалы	144
7.5.3. Порядок выполнения работы	144
7.5.4. Вопросы для защиты работы	146
Глава 8. ЗАДАЧИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	147
8.1. Постановка задачи динамического программирования	147
8.2. Формулировка задачи об оптимальной загрузке	149
8.3. Математическая модель задачи об оптимальной загрузке	150
8.4. Решение задачи об оптимальной загрузке	151
8.5. Использование среды MS Excel для решения задачи об оптимальной загрузке	153
8.6. Лабораторная работа 10. Решение задач динамического программирования	160
8.6.1. Цель и содержание	160
8.6.2. Аппаратура и материалы	160
8.6.3. Порядок выполнения работы	161
8.6.4. Вопросы для защиты работы	162
Глава 9. МОДЕЛИ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ	163
9.1. Общие сведения о сетевом планировании и управлении	163
9.2. Формулировка задачи расчета и оптимизации сетевого графика	166
9.3. Решение задачи расчета и оптимизации сетевого графика	169
9.4. Лабораторная работа 11. Расчет и оптимизация сетевого графика	173
9.4.1. Цель и содержание	173
9.4.2. Аппаратура и материалы	175
9.4.3. Порядок выполнения работы	175
9.4.4. Вопросы для защиты работы	175

Глава 10. СТРУКТУРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ	176
10.1. Общие сведения о сетевых моделях	177
10.2. Формулировка алгоритма нахождения минимального остовного дерева	178
10.3. Решение задачи поиска минимального остовного дерева	179
10.4. Использование среды MS Excel для решения задачи поиска минимального остовного дерева	179
10.5. Формулировка задачи поиска кратчайшего пути	183
10.6. Решение задачи поиска кратчайшего пути	184
10.7. Использование среды MS Excel для решения задачи поиска кратчайшего пути	189
10.8. Лабораторная работа 12. Исследование алгоритма нахождения минимального остовного дерева	192
10.8.1. Цель и содержание	192
10.8.2. Аппаратура и материалы	192
10.8.3. Порядок выполнения работы	193
10.8.4. Вопросы для защиты работы	200
10.9. Лабораторная работа 13. Решение задачи определения кратчайшего пути	200
10.9.1. Цель и содержание	200
10.9.2. Аппаратура и материалы	200
10.9.3. Порядок выполнения работы	201
10.9.4. Вопросы для защиты работы	208
Глава 11. МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА В СЕТЕВЫХ МОДЕЛЯХ	209
11.1. Формулировка задачи поиска максимального потока и минимального разреза в сети	210
11.2. Решение задачи поиска максимального потока и минимального разреза	212
11.3. Использование среды MS Excel для решения задачи поиска максимального потока	216
11.4. Лабораторная работа 14. Решение задачи о максимальном потоке и минимальном разрезе в сети	218
11.4.1. Цель и содержание	218
11.4.2. Аппаратура и материалы	219
11.4.3. Порядок выполнения работы	219
11.4.4. Вопросы для защиты работы	226
Глава 12. МАРКОВСКИЕ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ	228
12.1. Понятие марковского случайного процесса	229
12.2. Составление модели технической системы	232
12.3. Моделирование технической системы	234

12.4. Моделирование технических систем в среде MathCad с использованием аппарата марковских случайных процессов	235
12.5. Лабораторная работа 15. Исследование марковских моделей принятия решений	239
12.5.1. Цель и содержание	239
12.5.2. Аппаратура и материалы	239
12.5.3. Порядок выполнения работы	239
12.5.4. Вопросы для защиты работы	242
Глава 13. МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ	243
13.1. Классификация систем массового обслуживания и их основные характеристики	243
13.2. Формулировка задачи моделирования системы массового обслуживания с отказами	247
13.3. Решение задач моделирования системы массового обслуживания с отказами	248
13.4. Использование среды MathCad для исследования задач принятия решений при анализе системы массового обслуживания с отказами	249
13.5. Формулировка задачи моделирования системы массового обслуживания с очередью	252
13.6. Решение задачи моделирования системы массового обслуживания с очередью	253
13.7. Использование среды MathCad для исследования задач принятия решений при анализе многоканальной системы массового обслуживания с очередью	254
13.8. Лабораторная работа 16. Исследование задач принятия решений при анализе систем массового обслуживания с отказами	257
13.8.1. Цель и содержание	257
13.8.2. Аппаратура и материалы	257
13.8.3. Порядок выполнения работы	258
13.8.4. Вопросы для защиты работы	262
13.9. Лабораторная работа 17. Исследование задач принятия решений при анализе систем массового обслуживания с очередью	263
13.9.1. Цель и содержание	263
13.9.2. Аппаратура и материалы	263
13.9.3. Порядок выполнения работы	263
13.9.4. Вопросы для защиты работы	268
Глава 14. МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ	269
14.1. Основные понятия модели управления запасами	269
14.2. Формулировка задачи управления запасами с фиксированным интервалом времени между заказами	272

14.3. Решение задачи управления запасами с фиксированным интервалом времени между заказами	273
14.4. Использование среды MS Excel для решения задачи управления запасами с фиксированным интервалом времени между заказами	275
14.5. Многопродуктовая статическая модель с ограниченной вместимостью склада	278
14.6. Использование среды MS Excel для решения многопродуктовой статической задачи управления запасами с ограниченной вместимостью склада	279
14.7. Формулировка стохастической задачи управления запасами	283
14.8. Использование среды MS Excel для моделирования системы «магазин—склад» со случайным спросом и случайным временем задержки поставки	284
14.9. Лабораторная работа 18. Исследование детерминированной модели управления запасами	289
14.9.1. Цель и содержание	289
14.9.2. Аппаратура и материалы	289
14.9.3. Порядок выполнения работы	289
14.9.4. Вопросы для защиты работы	298
14.10. Лабораторная работа 19. Исследование стохастической задачи управления запасами	299
14.10.1. Цель и содержание	299
14.10.2. Аппаратура и материалы	299
14.10.3. Порядок выполнения работы	299
14.10.4. Вопросы для защиты работы	301

Глава 15. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

302

15.1. Формулировка задачи нелинейного программирования	302
15.2. Математическая модель задачи нелинейного программирования	303
15.3. Использование среды MS Excel для решения задачи нелинейного программирования	305
15.4. Использование среды MathCad для решения задачи нелинейного программирования	307
15.5. Лабораторная работа 20. Решение задач нелинейного программирования	308
15.5.1. Цель и содержание	308
15.5.2. Аппаратура и материалы	308
15.5.3. Порядок выполнения работы	308
15.5.4. Вопросы для защиты работы	310

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

311