

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие</b>	16
<b>Об авторе</b>	19
<b>Глава 1. Исследование операций: что это такое</b>	21
1.1. Математические модели исследования операций	21
1.2. Решение моделей исследования операций	24
1.3. Имитационное моделирование	24
1.4. Искусство моделирования	25
1.5. Больше, чем просто математика	26
1.6. Методология исследования операций	28
1.7. Об этой книге	30
<b>Литература</b>	30
Литература, добавленная при переводе	31
<b>Глава 2. Введение в линейное программирование</b>	33
2.1. Модели ЛП с двумя переменными	33
2.2. Графическое решение задачи линейного программирования	36
2.2.1. Нахождение максимума целевой функции	37
2.2.2. Нахождение минимума целевой функции	40
2.2.3. Графическое решение с помощью TORA	43
2.3. Графический анализ чувствительности	46
2.3.1. Изменение коэффициентов целевой функции	46
2.3.2. Доступность ресурсов	51
2.3.3. Стоимость ресурсов	52
2.4. Компьютерное решение задач ЛП	57
2.4.1. Решение задач ЛП с помощью TORA	57
2.4.2. Решение задач ЛП с помощью Excel	60
2.4.3. Решение задач ЛП с помощью LINGO и AMPL	62
2.5. Примеры моделей ЛП	69
<b>Литература</b>	91
Литература, добавленная при переводе	91
<b>Комплексные задачи</b>	91
<b>Глава 3. Симплекс-метод</b>	95
3.1. Стандартная форма задачи ЛП	95
3.1.1. Преобразование неравенств в равенства	95
3.1.2. Свободная переменная	97

Содержание	7
<b>3.2. Переход от графического решения к алгебраическому</b>	99
<b>3.3. Алгоритм симплекс-метода</b>	104
3.3.1. Итерационная природа симплекс-метода	104
3.3.2. Вычислительный алгоритм симплекс-метода	107
3.3.3. Реализация симплекс-метода в системе TORA	116
<b>3.4. Искусственное начальное решение</b>	118
3.4.1. <i>M</i> -метод	118
3.4.2. Двухэтапный метод	123
<b>3.5. Особые случаи применения симплекс-метода</b>	127
3.5.1. Вырожденность	128
3.5.2. Альтернативные оптимальные решения	131
3.5.3. Неограниченные решения	133
3.5.4. Отсутствие допустимых решений	135
<b>Литература</b>	137
Литература, добавленная при переводе	138
<b>Комплексные задачи</b>	138
<b>Глава 4. Двойственность и анализ чувствительности</b>	141
<b>4.1. Определение двойственной задачи</b>	141
<b>4.2. Соотношения между прямой и двойственной задачами</b>	146
4.2.1. Обзор простых матричных операций	146
4.2.2. Структура симплекс-таблицы	147
4.2.3. Оптимальное решение двойственной задачи	148
4.2.4. Вычисление симплекс-таблиц	152
4.2.5. Значения целевых функций прямой и обратной задач	157
<b>4.3. Экономическая интерпретация двойственности</b>	158
4.3.1. Экономическая интерпретация переменных двойственной задачи	158
4.3.2. Экономическая интерпретация ограничений двойственной задачи	161
<b>4.4. Разновидности симплекс-метода</b>	163
4.4.1. Двойственный симплекс-метод	164
4.4.2. Обобщенный симплекс-метод	170
<b>4.5. Анализ чувствительности оптимального решения</b>	171
4.5.1. Изменения, влияющие на допустимость решения	172
4.5.2. Изменения, влияющие на оптимальность решения	183
<b>Литература</b>	190
Литература, добавленная при переводе	190
<b>Комплексные задачи</b>	190
<b>Глава 5. Транспортные модели</b>	193
<b>5.1. Определение транспортной модели</b>	193
<b>5.2. Нетрадиционные транспортные модели</b>	201

<b>5.3. Решение транспортной задачи</b>	206
5.3.1. Определение начального решения	207
5.3.2. Итерационный алгоритм решения транспортной задачи	212
5.3.3. Решение транспортной задачи с помощью TORA	217
5.3.4. Интерпретация метода потенциалов как симплекс-метода	225
<b>5.4. Задача о назначениях</b>	226
5.4.1. Венгерский метод	227
5.4.2. Интерпретация венгерского метода как симплекс-метода	232
<b>5.5. Транспортная модель с промежуточными пунктами</b>	233
<b>Литература</b>	238
Литература, добавленная при переводе	238
<b>Комплексные задачи</b>	238
<b>Глава 6. Сетевые модели</b>	243
<b>6.1. Основные определения</b>	244
<b>6.2. Алгоритм построения минимального остовного дерева</b>	245
<b>6.3. Задача поиска кратчайшего пути</b>	250
6.3.1. Практические примеры задачи поиска кратчайшего пути	251
6.3.2. Алгоритм определения кратчайшего пути	255
6.3.3. Формализация задачи поиска кратчайшего пути как задачи ЛП	265
6.3.4. Решение задачи поиска кратчайшего пути в Excel	268
<b>6.4. Задача о максимальном потоке</b>	269
6.4.1. Перебор разрезов	270
6.4.2. Алгоритм нахождения максимального потока	271
6.4.3. Формализация задачи поиска максимального потока как задачи ЛП	280
6.4.4. Решение задачи определения максимального потока в Excel	281
<b>6.5. Задача нахождения потока наименьшей стоимости</b>	283
6.5.1. Сетевая модель	283
6.5.2. Сетевая модель как задача линейного программирования	285
6.5.3. Симплексный алгоритм для сетей с ограниченной пропускной способностью	291
6.5.4. Решение задачи вычисления потока наименьшей стоимости в Excel	297
<b>6.6. Методы сетевого планирования</b>	299
6.6.1. Построение сети проекта	299
6.6.2. Метод критического пути	305
6.6.3. Построение временного графика	308
6.6.4. Формализация задачи поиска критического пути как задачи ЛП	314
6.6.5. Сети PERT	316
<b>Литература</b>	319
Литература, добавленная при переводе	319
<b>Комплексные задачи</b>	319

<b>Глава 7. Теория линейного программирования</b>	<b>321</b>
<b>7.1. Основы симплекс-метода</b>	<b>321</b>
7.1.1. Базисные решения	323
7.1.2. Матричное представление симплекс-таблиц	327
<b>7.2. Модифицированный симплекс-метод</b>	<b>329</b>
7.2.1. Условия оптимальности и допустимости	330
7.2.2. Вычислительная процедура модифицированного симплекс-метода	333
<b>7.3. Алгоритм решения задач с ограниченными переменными</b>	<b>338</b>
<b>7.4. Метод декомпозиции</b>	<b>346</b>
<b>7.5. Двойственность</b>	<b>355</b>
7.5.1. Матричное представление двойственной задачи	355
7.5.2. Оптимальное решение двойственной задачи	356
<b>7.6. Параметрическое линейное программирование</b>	<b>360</b>
7.6.1. Параметрическое изменение коэффициентов целевой функции	360
7.6.2. Параметрическое изменение правых частей ограничений	363
<b>7.7. Метод Кармаркара</b>	<b>366</b>
7.7.1. Основная идея метода Кармаркара	367
7.7.2. Алгоритм Кармаркара	368
<b>Литература</b>	<b>378</b>
Литература, добавленная при переводе	378
<b>Комплексные задачи</b>	<b>378</b>
<b>Глава 8. Целевое программирование</b>	<b>381</b>
<b>8.1. Формулировка задачи целевого программирования</b>	<b>381</b>
<b>8.2. Алгоритмы целевого программирования</b>	<b>386</b>
8.2.1. Метод весовых коэффициентов	387
8.2.2. Метод приоритетов	390
<b>Литература</b>	<b>395</b>
Литература, добавленная при переводе	395
<b>Комплексные задачи</b>	<b>395</b>
<b>Глава 9. Целочисленное линейное программирование</b>	<b>397</b>
<b>9.1. Примеры задач целочисленного программирования</b>	<b>397</b>
<b>9.2. Методы решения задач целочисленного программирования</b>	<b>410</b>
9.2.1. Метод ветвей и границ	411
9.2.2. Метод ветвей и границ в системе TORA	418
9.2.3. Метод отсекающих плоскостей	422
9.2.4. Вычислительный взгляд на задачи ЦЛП	428

<b>9.3. Задача коммивояжера</b>	428
9.3.1. Применение метода ветвей и границ для решения задачи коммивояжера	432
9.3.2. Применение метода отсекающих плоскостей для решения задачи коммивояжера	435
<b>Литература</b>	437
Литература, добавленная при переводе	437
<b>Комплексные задачи</b>	437
<b>Глава 10. Детерминированные модели динамического программирования</b>	441
<b>10.1. Рекуррентная природа вычислений ДП</b>	441
<b>10.2. Рекуррентные алгоритмы прямой и обратной прогонки</b>	444
<b>10.3. Приложения динамического программирования</b>	446
10.3.1. Задача о загрузке	447
10.3.2. Задача планирования рабочей силы	455
10.3.3. Задача замены оборудования	458
10.3.4. Задача инвестирования	462
10.3.5. Модели управления запасами	465
<b>10.4. Проблема размерности</b>	465
<b>Литература</b>	468
Литература, добавленная при переводе	468
<b>Комплексная задача</b>	468
<b>Глава 11. Детерминированные модели управления запасами</b>	471
<b>11.1. Общая модель управления запасами</b>	471
<b>11.2. Статические модели управления запасами</b>	472
11.2.1. Классическая задача экономического размера заказа	472
11.2.2. Задача экономического размера заказа с разрывами цен	478
11.2.3. Многопродуктовая статическая модель с ограниченной вместимостью склада	482
<b>11.3. Динамические задачи экономического размера заказа</b>	486
11.3.1. Модель при отсутствии затрат на оформление заказа	487
11.3.2. Модель с затратами на оформление заказа	492
<b>Литература</b>	504
Литература, добавленная при переводе	504
<b>Комплексные задачи</b>	504
<b>Глава 12. Основы теории вероятностей</b>	507
<b>12.1. Законы теории вероятностей</b>	507
12.1.1. Закон сложения вероятностей	508
12.1.2. Условные вероятности	510

Содержание	11
<b>12.2. Случайные величины и распределения вероятностей</b>	511
<b>12.3. Математическое ожидание и моменты случайной величины</b>	514
12.3.1. Математическое ожидание и дисперсия случайной величины	515
12.3.2. Совместные распределения вероятностей	517
<b>12.4. Некоторые распределения вероятностей</b>	520
12.4.1. Биномиальное распределение	520
12.4.2. Распределение пуассона	522
12.4.3. Отрицательное экспоненциальное распределение	523
12.4.4. Нормальное распределение	524
<b>12.5. Эмпирические распределения</b>	527
<b>Литература</b>	536
Литература, добавленная при переводе	536
<b>Глава 13. Методы прогнозирования</b>	537
<b>13.1. Прогнозирование с использованием скользящего среднего</b>	537
<b>13.2. Экспоненциальное сглаживание</b>	541
<b>13.3. Регрессионный анализ</b>	544
<b>Литература</b>	548
Литература, добавленная при переводе	548
<b>Глава 14. Теория игр и принятия решений</b>	549
<b>14.1. Принятие решений в условиях определенности — Метод анализа иерархий</b>	549
<b>14.2. Принятие решений в условиях риска</b>	560
14.2.1. Критерий ожидаемого значения	560
14.2.2. Другие критерии ожидаемого значения	566
<b>14.3. Принятие решений в условиях неопределенности</b>	575
<b>14.4. Теория игр</b>	580
14.4.1. Оптимальное решение игры двух лиц с нулевой суммой	581
14.4.2. Решение матричных игр в смешанных стратегиях	584
<b>Литература</b>	591
Литература, добавленная при переводе	592
<b>Комплексные задачи</b>	592
<b>Глава 15. Вероятностное динамическое программирование</b>	595
<b>15.1. Азартная игра</b>	595
<b>15.2. Задача инвестирования</b>	598
<b>15.3. Максимизация вероятности достижения цели</b>	602
<b>Литература</b>	605
Литература, добавленная при переводе	605
<b>Комплексная задача</b>	606

<b>Глава 16. Вероятностные модели управления запасами</b>	607
<b>16.1. Модель с непрерывным контролем уровня запаса</b>	607
16.1.1. “Рандомизированная” модель экономичного размера заказа	607
16.1.2. Стохастический вариант модели экономичного размера заказа	610
<b>16.2. Одноэтапные модели</b>	615
16.2.1. Модель при отсутствии затрат на оформление заказа	616
16.2.2. Модель при наличии затрат на оформление заказа	619
<b>16.3. Многоэтапные модели</b>	622
<b>Литература</b>	624
Литература, добавленная при переводе	624
<b>Комплексные задачи</b>	624
<b>Глава 17. Системы массового обслуживания</b>	629
<b>17.1. Что такое очередь</b>	629
<b>17.2. Основные компоненты моделей массового обслуживания</b>	631
<b>17.3. Экспоненциальное распределение в системах массового обслуживания</b>	633
<b>17.4. Модели рождения и гибели (связь между экспоненциальным и пуассоновским распределениями)</b>	637
17.4.1. Модель чистого рождения	637
17.4.2. Модель чистой гибели	641
<b>17.5. Общая модель системы массового обслуживания</b>	644
<b>17.6. Специализированные системы обслуживания с пуассоновским распределением</b>	650
17.6.1. Функциональные характеристики стационарных систем обслуживания	651
17.6.2. Модели с одним сервисом	655
17.6.3. Модели с параллельными сервисами	666
17.6.4. Модель $(M/M/R) : (Gd/K/K)$ при $R < K$	676
<b>17.7. Модель <math>(M/G/1) : (GD/\infty/\infty)</math>. Формула Поллачека–Хинчина</b>	680
<b>17.8. Другие модели массового обслуживания</b>	683
<b>17.9. Модели принятия решений в теории массового обслуживания</b>	683
17.9.1. Модель со стоимостными характеристиками	683
17.9.2. Модель предпочтительного уровня обслуживания	689
<b>Литература</b>	692
Литература, добавленная при переводе	692
<b>Комплексные задачи</b>	692
<b>Глава 18. Имитационное моделирование</b>	697
<b>18.1. Метод Монте-Карло</b>	698
<b>18.2. Типы имитационных моделей</b>	703

Содержание	13
<b>18.3. Элементы дискретного моделирования</b>	704
18.3.1. Общее определение событий	704
18.3.2. Генерирование выборочных значений	706
<b>18.4. Генерирование случайных чисел</b>	716
<b>18.5. Механика дискретной имитации</b>	718
18.5.1. Ручная имитация модели очереди с одним сервисом	718
18.5.2. Имитация модели очереди с одним сервисом в электронной таблице	723
<b>18.6. Методы сбора статистических данных</b>	726
18.6.1. Метод подынтервалов	727
18.6.2. Метод повторения	729
18.6.3. Метод циклов	730
<b>18.7. Языки имитационного моделирования</b>	732
<b>Литература</b>	735
Литература, добавленная при переводе	735
<b>Глава 19. Марковские процессы принятия решений</b>	737
<b>19.1. Марковская задача принятия решений</b>	737
<b>19.2. Модель динамического программирования с конечным числом этапов</b>	739
<b>19.3. Модель с бесконечным числом этапов</b>	743
19.3.1. Метод полного перебора	743
19.3.2. Метод итераций по стратегиям без дисконтирования	746
19.3.3. Метод итераций по стратегиям с дисконтированием	750
<b>19.4. Применение методов линейного программирования</b>	752
<b>19.5. Приложение: обзор теории цепей Маркова</b>	756
19.5.1. Марковские процессы	756
19.5.2. Цепи Маркова	757
<b>Литература</b>	764
Литература, добавленная при переводе	764
<b>Глава 20. Классическая теория оптимизации</b>	765
<b>20.1. Экстремальные задачи без ограничений</b>	765
20.1.1. Необходимые и достаточные условия существования экстремума	766
20.1.2. Метод Ньютона–Рафсона	770
<b>20.2. Задачи на экстремум при наличии ограничений</b>	773
20.2.1. Ограничения в виде равенств	773
20.2.2. Ограничения в виде неравенств	789
<b>Литература</b>	796
Литература, добавленная при переводе	796
<b>Глава 21. Алгоритмы нелинейного программирования</b>	797
<b>21.1. Алгоритмы решения задач без ограничений</b>	797
21.1.1. Методы прямого поиска	797
21.1.2. Градиентный метод	801



<b>21.2. Алгоритмы решения задач с ограничениями</b>	805
21.2.1. Сепарабельное программирование	805
21.2.2. Квадратичное программирование	815
21.2.3. Геометрическое программирование	820
21.2.4. Стохастическое программирование	825
21.2.5. Метод линейных комбинаций	829
21.2.6. Алгоритм последовательной безусловной максимизации	832
<b>Литература</b>	833
Литература, добавленная при переводе	833
<b>Приложение А. Краткий обзор теории матриц</b>	837
<b>А.1. Векторы</b>	837
А.1.1. Определение вектора	837
А.1.2. Сложение и вычитание векторов	837
А.1.3. Умножение вектора на скаляр	837
А.1.4. Линейная независимость векторов	838
<b>А.2. Матрицы</b>	838
А.2.1. Определение матриц	838
А.2.2. Типы матриц	838
А.2.3. Арифметические операции над матрицами	839
А.2.4. Определитель квадратной матрицы	840
А.2.5. Невырожденная матрица	841
А.2.6. Обратная матрица	842
А.2.7. Методы вычисления обратных матриц	843
<b>А.3. Квадратичные формы</b>	847
<b>А.4. Выпуклые и вогнутые функции</b>	848
<b>Литература</b>	849
Литература, добавленная при переводе	849
<b>Задачи</b>	849
<b>Приложение Б. TORA. Краткое описание</b>	849
Б.1. Главное меню	849
Б.2. Режим ввода данных и форматы чисел	850
Б.3. Окно ввода данных	850
Б.4. Меню Solve/Modify	851
Б.5. Формат результата	852
Б.6. Выходные результаты	852
<b>Приложение В. Статистические таблицы</b>	855
<b>Приложение Г. Частичные ответы к некоторым упражнениям</b>	859
<b>Предметный указатель</b>	893

