

Содержание

Что нового в десятом издании	18
Благодарности	19
Об авторе	20
Глава 1. Исследование операций: что это такое	21
1.1. Введение	21
1.2. Математические модели исследования операций	21
1.3. Решение моделей исследования операций	24
1.4. Теория массового обслуживания и имитационное моделирование	25
1.5. Искусство моделирования	26
1.6. Больше, чем просто математика	27
1.7. Методология исследования операций	30
1.8. Об этой книге	31
Литература	32
Литература, добавленная при переводе	32
Упражнения	33
Глава 2. Введение в линейное программирование	35
2.1. Модели ЛП с двумя переменными	35
2.2. Графическое решение задачи линейного программирования	38
2.2.1. Нахождение максимума целевой функции	38
2.2.2. Нахождение минимума целевой функции	40
2.3. Компьютерное решение задач ЛП	42
2.3.1. Решение задач ЛП с помощью Excel	43
2.3.2. Решение задач ЛП с помощью AMPL	47
2.4. Примеры моделей ЛП	50
2.4.1. Инвестиции	51
2.4.2. Планирование производства и управление запасами	53
2.4.3. Планирование трудовых ресурсов	59
2.4.4. Планирование развития городской инфраструктуры	61
2.4.5. Перегонка нефти и добавление присадок	64
2.4.6. Дополнительные области приложения ЛП	67
Литература	67
Литература, добавленная при переводе	67
Упражнения	67
Глава 3. Симплекс-метод и анализ чувствительности	93
3.1. Стандартная форма задачи ЛП	93
3.2. Переход от графического решения к алгебраическому	94
3.3. Алгоритм симплекс-метода	98
3.3.1. Итерационная природа симплекс-метода	98
3.3.2. Вычислительный алгоритм симплекс-метода	100
3.3.3. Резюме	106
3.4. Искусственное начальное решение	107
3.4.1. М-метод	108
3.4.2. Двухэтапный метод	110

3.5. Особые случаи применения симплекс-метода	113
3.5.1. Вырожденность	113
3.5.2. Альтернативные оптимальные решения	115
3.5.3. Неограниченные решения	116
3.5.4. Отсутствие допустимых решений	118
3.6. Анализ чувствительности	119
3.6.1. Графический анализ чувствительности	119
3.6.2. Алгебраический метод анализа чувствительности: изменение правых частей неравенств ограничений	124
3.6.3. Алгебраический метод анализа чувствительности: изменение целевой функции	128
3.6.4. Анализ чувствительности с помощью TORA, Excel и AMPL	131
3.7. Вычислительные проблемы в линейном программировании	133
Литература	138
Литература, добавленная при переводе	138
Упражнения	138
Глава 4. Двойственность и анализ чувствительности оптимального решения	163
4.1. Определение двойственной задачи	163
4.2. Соотношения между прямой и двойственной задачами	166
4.2.1. Обзор простых матричных операций	167
4.2.2. Структура симплекс-таблицы	167
4.2.3. Оптимальное решение двойственной задачи	168
4.2.4. Вычисление симплекс-таблиц	172
4.3. Экономическая интерпретация двойственности	173
4.3.1. Экономическая интерпретация переменных двойственной задачи	174
4.3.2. Экономическая интерпретация ограничений двойственной задачи	175
4.4. Разновидности симплекс-метода	177
4.4.1. Двойственный симплекс-метод	177
4.4.2. Обобщенный симплекс-метод	180
4.5. Анализ чувствительности оптимального решения	181
4.5.1. Изменения, влияющие на допустимость решения	182
4.5.2. Изменения, влияющие на оптимальность решения	185
Литература	188
Литература, добавленная при переводе	188
Упражнения	188
Глава 5. Транспортная модель и ее вариации	203
5.1. Определение транспортной модели	203
5.2. Нетрадиционные транспортные модели	207
5.3. Алгоритм решения транспортной задачи	211
5.3.1. Определение начального решения	212
5.3.2. Итерационный алгоритм решения транспортной задачи	216
5.3.3. Интерпретация метода потенциалов как симплекс-метода	222
5.4. Задача о назначениях	223
5.4.1. Венгерский метод	224
5.4.2. Интерпретация венгерского метода как симплекс-метода	227
Литература	228
Литература, добавленная при переводе	228
Упражнения	229
Глава 6. Сетевые модели	239
6.1. Основные определения	239

8 Содержание

6.2. Алгоритм построения минимального остовного дерева	242
6.3. Задача поиска кратчайшего пути	244
6.3.1. Практические примеры задач поиска кратчайшего пути	244
6.3.2. Алгоритм определения кратчайшего пути	247
6.3.3. Формализация задачи поиска кратчайшего пути как задачи ЛП	253
6.4. Задача о максимальном потоке	258
6.4.1. Перебор разрезов	258
6.4.2. Алгоритм нахождения максимального потока	259
6.4.3. Формализация задачи поиска максимального потока как задачи ЛП	264
6.5. Методы сетевого планирования (CPM и PERT)	265
6.5.1. Построение сети проекта	266
6.5.2. Метод критического пути	268
6.5.3. Построение временного графика	270
6.5.4. Формализация задачи поиска критического пути как задачи ЛП	274
6.5.5. Сети PERT	274
Литература	277
Литература, добавленная при переводе	277
Упражнения	277
Глава 7. Теория линейного программирования	295
7.1. Основы симплекс-метода	295
7.1.1. От экстремальных точек к базисным решениям	296
7.1.2. Матричное представление симплекс-таблиц	299
7.2. Модифицированный симплекс-метод	301
7.2.1. Условия оптимальности и допустимости	301
7.2.2. Вычислительная процедура модифицированного симплекс-метода	302
7.2.3. Вычислительные проблемы модифицированного симплекс-метода	305
7.3. Алгоритм решения задач с ограниченными переменными	307
7.4. Двойственность	311
7.4.1. Матричное представление двойственной задачи	312
7.4.2. Оптимальное решение двойственной задачи	312
7.5. Параметрическое линейное программирование	314
7.5.1. Параметрическое изменение вектора коэффициентов целевой функции	315
7.5.2. Параметрическое изменение правых частей ограничений	316
7.6. Дополнительные темы по линейному программированию	318
Литература	319
Литература, добавленная при переводе	319
Упражнения	319
Глава 8. Целевое программирование	331
8.1. Формулировка задачи целевого программирования	331
8.2. Алгоритмы целевого программирования	333
8.2.1. Метод весовых коэффициентов	333
8.2.2. Метод приоритетов	335
Литература	340
Литература, добавленная при переводе	340
Упражнения	340

Глава 9. Целочисленное линейное программирование	345
9.1. Примеры задач целочисленного программирования	345
9.1.1. Распределение капиталовложений	346
9.1.2. Задача о покрытии	347
9.1.3. Задача с постоянными затратами	348
9.1.4. Ограничения типа “или–или” и “если–то”	350
9.2. Алгоритмы целочисленного программирования	352
9.2.1. Метод ветвей и границ	352
9.2.2. Метод отсекающих плоскостей	360
Литература	365
Литература, добавленная при переводе	366
Упражнения	366
Глава 10. Эвристическое программирование	383
10.1. Введение	383
10.2. Жадные алгоритмы	384
10.2.1. Эвристика с дискретными переменными	385
10.2.2. Эвристика с непрерывными переменными	387
10.3. Метаэвристика	390
10.3.1. Алгоритм поиска с запретами	391
10.3.2. Алгоритм имитации отжига	395
10.3.3. Генетический алгоритм	398
10.4. Применение метаэвристик к задачам ЦЛП	403
10.4.1. Целочисленный алгоритм поиска с запретами	404
10.4.2. Целочисленный алгоритм имитации отжига	406
10.4.3. Целочисленный генетический алгоритм	409
10.5. Введение в программирование в ограничениях	411
Литература	413
Литература, добавленная при переводе	413
Упражнения	413
Глава 11. Задача коммивояжера	423
11.1. Общая постановка задачи	423
11.2. Математическая модель задачи коммивояжера	425
11.3. Алгоритмы строгого решения задачи коммивояжера	429
11.3.1. Применение метода ветвей и границ для решения задачи коммивояжера	429
11.3.2. Применение метода отсекающих плоскостей для решения задачи коммивояжера	432
11.4. Эвристические алгоритмы локального поиска	434
11.4.1. Метод ближайшего соседа	434
11.4.2. Алгоритм с перестановкой	435
11.5. Метаэвристические алгоритмы	437
11.5.1. Применение алгоритма поиска с запретами к задаче коммивояжера	438
11.5.2. Применение алгоритма имитации отжига к задаче коммивояжера	440
11.5.3. Применение генетического алгоритма к задаче коммивояжера	443
Литература	447
Литература, добавленная при переводе	448
Упражнения	448

Глава 12. Детерминированное динамическое программирование	461
12.1. Рекуррентная природа вычислений ДП	461
12.2. Рекуррентные алгоритмы прямой и обратной прогонки	465
12.3. Некоторые приложения ДП	466
12.3.1. Задача о загрузке	467
12.3.2. Задача планирования рабочей силы	472
12.3.3. Задача замены оборудования	474
12.3.4. Задача инвестирования	477
12.3.5. Модели управления запасами	480
12.4. Проблема размерности	480
Литература	481
Литература, добавленная при переводе	482
Упражнения	482
Глава 13. Модели управления запасами (с введением в цепи поставок)	489
13.1. Управление запасами: введение в цепи поставок	489
13.1.1. Показатели хранения запасов в цепях поставок	490
13.1.2. Элементы модели управления запасами	492
13.2. Значение спроса при разработке моделей управления запасами	493
13.3. Статические модели управления запасами	495
13.3.1. Классическая задача экономичного размера заказа	495
13.3.2. Задача экономичного размера заказа с разрывами цен	499
13.3.3. Многопродуктовая статическая модель с ограниченной вместимостью склада	502
13.4. Динамические задачи экономичного размера заказа	504
13.4.1. Модель при отсутствии затрат на оформление заказа	505
13.4.2. Модель с затратами на оформление заказа	508
13.5. Сложные моменты в моделях управления запасами	517
Литература	518
Литература, добавленная при переводе	518
Упражнения	519
Глава 14. Основы теории вероятностей	525
14.1. Законы теории вероятностей	525
14.1.1. Закон сложения вероятностей	526
14.1.2. Условные вероятности	526
14.2. Случайные величины и распределения вероятностей	527
14.3. Математическое ожидание случайной величины	529
14.3.1. Математическое ожидание и дисперсия случайной величины	530
14.3.2. Совместные распределения вероятностей	531
14.4. Четыре основных распределения вероятностей	534
14.4.1. Биномиальное распределение	534
14.4.2. Распределение Пуассона	534
14.4.3. Отрицательное экспоненциальное распределение	535
14.4.4. Нормальное распределение	536
14.5. Эмпирические распределения	538
Литература	543
Литература, добавленная при переводе	543
Упражнения	544

Глава 15. Теория игр и принятия решений	551
15.1. Принятие решений в условиях определенности — метод анализа иерархий	551
15.2. Принятие решений в условиях риска	558
15.2.1. Критерий ожидаемого значения на основе дерева решений	559
15.2.2. Другие критерии ожидаемого значения	560
15.3. Принятие решений в условиях неопределенности	566
15.4. Теория игр	569
15.4.1. Оптимальное решение игры двух лиц с нулевой суммой	570
15.4.2. Решение игр в смешанных стратегиях	571
Литература	576
Литература, добавленная при переводе	577
Упражнения	577
Глава 16. Вероятностные модели управления запасами	593
16.1. Модель с непрерывным контролем уровня запаса	593
16.1.1. “Рандомизированная” модель экономического размера заказа	593
16.1.2. Стохастический вариант модели экономического размера заказа	595
16.2. Одноэтапные модели	599
16.2.1. Модель при отсутствии затрат на оформление заказа	599
16.2.2. Модель при наличии затрат на оформление заказа	602
16.3. Многоэтапные модели	604
Литература	605
Литература, добавленная при переводе	606
Упражнения	606
Глава 17. Цепи Маркова	609
17.1. Определение цепей маркова	609
17.2. Абсолютные и n -шаговые переходные вероятности	612
17.3. Классификация состояний марковской цепи	613
17.4. Вероятности устойчивого состояния и среднее время возвращения эргодических цепей	615
17.5. Время первого достижения	617
17.6. Анализ поглощающих состояний	620
Литература	622
Литература, добавленная при переводе	622
Упражнения	623
Глава 18. Системы массового обслуживания	633
18.1. Что такое очередь	633
18.2. Элементы моделей массового обслуживания	634
18.3. Экспоненциальное распределение в системах массового обслуживания	636
18.4. Модели чистого рождения и гибели (связь между экспоненциальным и пуассоновским распределениями)	638
18.4.1. Модель чистого рождения	638
18.4.2. Модель чистой гибели	641
18.5. Общая модель системы массового обслуживания	642
18.6. Специализированные системы обслуживания с пуассоновским распределением	645
18.6.1. Функциональные характеристики стационарных систем обслуживания	648

12 Содержание

18.6.2. Модели с одним сервисом	650
18.6.3. Модели с параллельными сервисами	655
18.6.4. Модель обслуживания станков: $(M/M/R) : (GD/K/K)$ при $R < K$	660
18.7. Модель $(M/G/1) : (GD/\infty/\infty)$. Формула Поллачека–Хинчина	662
18.8. Другие модели массового обслуживания	663
18.9. Модели принятия решений в теории массового обслуживания	664
18.9.1. Модель со стоимостными характеристиками	664
18.9.2. Модель предпочтительного уровня обслуживания	666
Литература	668
Литература, добавленная при переводе	668
Упражнения	668
Глава 19. Имитационное моделирование	689
19.1. Метод Монте-Карло	689
19.2. Типы имитационных моделей	693
19.3. Элементы дискретного моделирования	693
19.3.1. Общее определение событий	693
19.3.2. Генерирование выборочных значений	694
19.4. Генерирование случайных чисел	698
19.5. Механика дискретной имитации	700
19.5.1. Ручная имитация модели очереди с одним сервисом	700
19.5.2. Имитация модели очереди с одним сервисом в электронной таблице	704
19.6. Методы сбора статистических данных	705
19.6.1. Метод подынтервалов	706
19.6.2. Метод повторения	708
19.7. Языки имитационного моделирования	708
Литература	710
Литература, добавленная при переводе	710
Упражнения	710
Глава 20. Классическая теория оптимизации	719
20.1. Экстремальные задачи без ограничений	719
20.1.1. Необходимые и достаточные условия существования экстремума	720
20.1.2. Метод Ньютона–Рафсона	722
20.2. Задачи на экстремум при наличии ограничений	724
20.2.1. Ограничения в виде равенств	724
20.2.2. Ограничения в виде неравенств: условия Каруша–Куна–Таккера	731
Литература	735
Литература, добавленная при переводе	735
Упражнения	735
Глава 21. Алгоритмы нелинейного программирования	739
21.1. Алгоритмы решения задач без ограничений	739
21.1.1. Методы прямого поиска	739
21.1.2. Градиентный метод	742
21.2. Алгоритмы решения задач с ограничениями	745
21.2.1. Сепарабельное программирование	746
21.2.2. Квадратичное программирование	752

21.2.3. Стохастическое программирование	756
21.2.4. Метод линейных комбинаций	759
21.2.5. Алгоритм последовательной безусловной максимизации	761
Литература	762
Литература, добавленная при переводе	762
Упражнения	763
Глава 22. Дополнительные темы по теории сетей и линейному программированию	767
22.1. Задача нахождения потока наименьшей стоимости	767
22.1.1. Сетевая модель	767
22.1.2. Сетевая модель как задача линейного программирования	768
22.1.3. Симплексный алгоритм для сетей с ограниченной пропускной способностью	772
22.2. Метод декомпозиции	779
22.3. Метод Кармаркара	786
22.3.1. Основная идея метода Кармаркара	786
22.3.2. Алгоритм внутренней точки Кармаркара	787
Литература	795
Литература, добавленная при переводе	795
Упражнения	795
Глава 23. Методы прогнозирования	805
23.1. Прогнозирование с использованием скользящего среднего	805
23.2. Экспоненциальное сглаживание	807
23.3. Регрессионный анализ	808
Литература	812
Литература, добавленная при переводе	812
Упражнения	812
Глава 24. Вероятностное динамическое программирование	815
24.1. Азартная игра	815
24.2. Задача инвестирования	817
24.3. Максимизация вероятности достижения цели	819
Литература	822
Литература, добавленная при переводе	822
Упражнения	822
Глава 25. Марковские процессы принятия решений	825
25.1. Марковская задача принятия решений	825
25.2. Модель динамического программирования с конечным числом этапов	826
25.3. Модель с бесконечным числом этапов	829
25.3.1. Метод полного перебора	829
25.3.2. Метод итераций по стратегиям без дисконтирования	832
25.3.3. Метод итераций по стратегиям с дисконтированием	835
25.4. Применение методов линейного программирования	837
Литература	840
Литература, добавленная при переводе	840
Упражнения	840

14 Содержание

Глава 26. Развернутые комплексные задания	843
Задание 1. Компания Frontier Airlines: экономичные схемы заправки самолетов топливом	844
Задание 2. Оптимизация производства сердечных клапанов	852
Задание 3. Планирование встреч на австралийских торговых мероприятиях	855
Задание 4. Оптимизация дорожных расходов федеральных служб США	860
Задание 5. Оптимизация маршрутов доставки призывников на базы ВМС Таиланда	864
Задание 6. Распределение операционного времени в больнице “Гора Синай”	872
Задание 7. Оптимизация полезной загрузки трейлеров в компании PFG Building Glass	876
Задание 8. Оптимизация распила древесных стволов на бревна в лесозаготовительной компании Weyerhaeuser	884
Задание 9. Планирование размещения участков лаборатории компьютеризированного интегрированного производства	888
Задание 10. Ввод ограничений на бронирование номеров в отеле	895
Задание 11. Задача Кейси: интерпретация и оценка новых тестовых данных	898
Задание 12. Составление списка игроков для проведения матчей в последний день соревнований по гольфу	902
Задание 13. Компания Kroger улучшает управление аптечными складами	904
Задание 14. Оптимизация управления запасами в системе снабжения корпорации DELL	909
Задание 15. Предсказание изменений в лесном покрове с использованием модели на основе цепей Маркова	913
Задание 16. Изучение работы внутренней транспортной системы предприятия	915
Задание 17. Определение штата работников кол-центра в компании Qantas Airways	918
Приложение А. Статистические таблицы	925
Приложение Б. Ответы к некоторым упражнениям	929
Глава 1	929
Глава 2	929
Глава 3	933
Глава 4	936
Глава 5	938
Глава 6	940
Глава 7	941
Глава 8	943
Глава 9	943
Глава 10	946
Глава 11	946
Глава 12	947
Глава 13	948
Глава 14	948
Глава 15	949
Глава 16	951
Глава 17	951
Глава 18	953

Глава 19	955
Глава 20	956
Глава 21	957
Приложение В. Язык моделирования AMPL	959
В.1. Элементарная AMPL-модель	959
В.2. Компоненты AMPL-модели	960
В.3. Математические выражения и вычисляемые параметры	967
В.4. Подмножества и индексированные множества	970
В.5. Доступ к внешним файлам	971
В.5.1. Простое чтение файлов	971
В.5.2. Вывод на печать или распечатка выходных данных	972
В.5.3. Чтение файлов с таблицами	973
В.5.4. Вывод табличных файлов	976
В.5.5. Ввод-вывод электронных таблиц	977
В.6. Интерактивные команды	978
В.7. Итеративное и условное выполнение команд AMPL	980
В.8. Анализ чувствительности с использованием AMPL	981
В.9. Примеры AMPL-моделей	982
Литература	994
Упражнения	994
Приложение Г. Краткий обзор теории матриц	997
Г.1. Векторы	997
Г.1.1. Определение вектора	997
Г.1.2. Сложение и вычитание векторов	997
Г.1.3. Умножение вектора на скаляр	997
Г.1.4. Линейная независимость векторов	997
Г.2. Матрицы	998
Г.2.1. Определение матриц	998
Г.2.2. Типы матриц	998
Г.2.3. Арифметические операции над матрицами	998
Г.2.4. Определитель квадратной матрицы	1000
Г.2.5. Невырожденная матрица	1001
Г.2.6. Обратная матрица	1001
Г.2.7. Методы вычисления обратных матриц	1002
Г.2.8. Операции с матрицами в Excel	1006
Г.3. Квадратичные формы	1007
Г.4. Выпуклые и вогнутые функции	1009
Литература	1009
Литература, добавленная при переводе	1009
Упражнения	1009
Приложение Д. Комплексные задания к отдельным главам	1011
Комплексные задания к главе 2	1011
Комплексные задания к главе 3	1013
Комплексные задания к главе 4	1015
Комплексные задания к главе 5	1016
Комплексные задания к главе 6	1020
Сложные упражнения к главе 7	1022
Комплексные задания к главе 8	1023
Комплексные задания к главе 9	1024

16 Содержание

Комплексное задание к главе 12	1032
Комплексные задания к главе 13	1032
Комплексные задания к главе 15	1034
Комплексные задания к главе 16	1037
Комплексные задания к главе 18	1039
Комплексное задание к главе 22	1042
Комплексное задание к главе 23	1042
Комплексное задание к главе 24	1043

Предметный указатель	1045
-----------------------------	-------------