

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие к третьему изданию</b>	<b>13</b>
<b>Глава 1. Предварительные сведения</b>	<b>19</b>
1.1. Распределения: нормальное, $t$ и $F$	19
1.2. Доверительные интервалы и $t$ -критерий	23
1.3. Элементы матричной алгебры	25
<b>Глава 2. Подбор прямой методом наименьших квадратов</b>	<b>35</b>
2.1. Введение: потребность в статистическом анализе	35
2.2. Прямолинейная зависимость между двумя переменными	39
2.3. Прямолинейная регрессия: подбор методом наименьших квадратов	42
2.4. Дисперсионный анализ	53
2.5. Доверительные интервалы и проверки для $\beta_0$ и $\beta_1$	60
2.6. $F$ -критерий значимости регрессии	65
2.7. Корреляция между $X$ и $Y$	68
2.8. Резюме к подбору линейной регрессии	73
2.9. Эскурс в историю	74
Приложение 2А. Данные о работе паровой котельни	75
<b>Глава 3. Исследование уравнения регрессии</b>	<b>77</b>
3.1. Неадекватность и чистая ошибка	77
3.2. Проверка однородности чистой ошибки	89
3.3. Исследование остатков: основные графики	93
3.4. Проверка нормальности по остаткам	96
3.5. Проверки временной зависимости, постоянства дисперсии, необходимости преобразования отклика и кривизны	98
3.6. Нестандартные графики остатков	104
3.7. Критерий Дарбина-Уотсона	106
3.8. Список литературы по анализу остатков	107
Приложение 3А. Нормальные графики	108
Приложение 3Б. Команды системы MINITAB	115
<b>Глава 4. Подбор прямой: специальные темы</b>	<b>117</b>
4.1. Краткий обзор главы и начальные сведения	117
4.2. Стандартная ошибка для $\hat{Y}$	118

4.3. Обратная регрессия (случай прямой линии)	122
4.4. Практические планы экспериментов	126
4.5. Случай, когда обе переменные подвержены ошибкам	130
Упражнения к главам 2–4	139
<b>Глава 5. Регрессия в матричных терминах: случай прямой линии</b>	<b>165</b>
5.1. Подбор прямой линии в матричных терминах	165
5.2. Случай вырожденной матрицы $X'X$	177
5.3. Дисперсионный анализ в матричных обозначениях	180
5.4. Дисперсия и ковариация коэффициентов $b_0$ и $b_1$ на основе матричных вычислений	182
5.5. Дисперсия величины $\hat{Y}$ в матричных обозначениях	183
5.6. Резюме для невырожденного случая	184
5.7. Случай общей регрессии	186
Упражнения к главе 5	186
<b>Глава 6. Случай общей регрессии</b>	<b>191</b>
6.1. Общая линейная регрессия	191
6.2. Свойства наименьших квадратов	194
6.3. Свойства наименьших квадратов при $\epsilon \sim N(\mathbf{0}; \mathbf{I}\sigma^2)$	198
6.4. Сравнение доверительных интервалов и областей	200
6.5. Дополнительные аспекты сравнения доверительных интервалов и областей	202
Приложение 6А. Полезные сведения о матрицах	207
<b>Глава 7. Дополнительная сумма квадратов и критерии для нескольких параметров</b>	<b>209</b>
7.1. Принцип дополнительной суммы квадратов	209
7.2. Пример для случая двух предикторов	215
7.3. Сумма квадратов для набора линейных функций откликов	226
Приложение 7А. Ортогональные столбцы в матрице $X$	228
Приложение 7Б. Последовательные суммы квадратов в случае двух предикторов	231
Упражнения к главам 6 и 7	234
<b>Глава 8. Сериальная корреляция остатков и критерий Дарбина-Уотсона</b>	<b>245</b>
8.1. Сериальная корреляция остатков	245

Содержание	7
8.2. Критерий Дарбина-Уотсона для некоторых видов серийной корреляции	248
8.3. Исследование серий на графиках временной последовательности остатков: критерий серий	262
8.4. Литература	268
Упражнения к главе 8	268
<b>Глава 9. Подробнее о проверке подобранных моделей</b>	<b>275</b>
9.1. Матрица-крышечка и различные типы остатков	275
9.2. График включенной переменной и частные остатки	280
9.3. Определение влияющих наблюдений: статистика Кука	281
9.4. Другие статистики для измерения влияния	287
9.5. Литература по анализу остатков	288
Упражнения к главе 9	288
<b>Глава 10. Множественная регрессия: дополнительные вопросы</b>	<b>291</b>
10.1. Проверка общей линейной гипотезы	291
10.2. Обобщенный МНК и взвешенный МНК	297
10.3. Пример использования взвешенного МНК	300
10.4. Численный пример использования взвешенного МНК	302
10.5. МНК при наличии ограничений	306
10.6. Обратная регрессия (случай нескольких предикторов)	306
10.7. Планарная регрессия в случае, когда все переменные подвержены ошибкам	308
Приложение 10А. Метод неопределенных множителей Лагранжа	309
Упражнения к главе 10	311
<b>Глава 11. Смещение регрессионных оценок, математическое ожидание средних квадратов и сумм квадратов</b>	<b>313</b>
11.1. Смещение регрессионных оценок	313
11.2. Влияние смещения на результаты дисперсионного анализа в МНК	317
11.3. Вычисление математического ожидания средних квадратов	319
11.4. Математическое ожидание дополнительной суммы квадратов	320
Упражнения к главе 11	321

<b>Глава 12. Полезность регрессионных уравнений, большие значения <math>F</math> и <math>R^2</math></b>	<b>323</b>
12.1. Полезно ли выбранное уравнение?	323
12.2. Некоторые свойства статистики $R^2$	326
Приложение 12А. Насколько значимой должна быть регрессия?	328
Упражнения к главе 12	332
<b>Глава 13. Модели, содержащие различные функции предикторов. Полиномиальные модели</b>	<b>335</b>
13.1. Более сложные модельные функции	335
13.2. Примеры подбора поверхностей второго порядка для трех и двух предикторов	339
13.3. Сохранение членов в полиномиальной модели	353
Упражнения к главе 13	360
<b>Глава 14. Преобразование переменной отклика</b>	<b>365</b>
14.1. Введение и предварительные замечания	365
14.2. Семейство степенных преобразований отклика: метод Бокса-Кокса	369
14.3. Второй метод оценивания $\lambda$	378
14.4. Преобразования отклика: другие интересные и полезные графики	382
14.5. Другие виды преобразований отклика	383
14.6. Стабилизация дисперсии путем преобразования отклика	385
Упражнения к главе 14	388
<b>Глава 15. Фиктивные переменные</b>	<b>395</b>
15.1. Фиктивные переменные, разделяющие блоки данных с различными свободными членами в единой модели	396
15.2. Члены взаимодействия, содержащие фиктивные переменные	406
15.3. Фиктивные переменные в сегментированных моделях	411
Упражнения к главе 15	419
<b>Глава 16. Выбор наилучшего регрессионного уравнения</b>	<b>431</b>
16.1. Введение	431
16.2. Все возможные регрессии и «лучшие подмножества» регрессий	434
16.3. Шаговый метод построения регрессии	442

<i>Содержание</i>	<b>9</b>
16.4. Метод исключения	448
16.5. Уровни значимости в процедурах отбора	451
16.6. Модификации процедур и заключение	454
16.7. Применение процедур отбора к данным про пар	457
Приложение 16А. Данные задачи Хальда, корреляционная матрица и все 15 возможных регрессий	460
Упражнения к главе 16	468
<b>Глава 17. Плохо обусловленные данные регрессии</b>	<b>487</b>
17.1. Введение	487
17.2. Центрирование данных регрессии	489
17.3. Центрирование и масштабирование данных регрессии	493
17.4. Измерение мультиколлинеарности	495
17.5. Метод Белсли для выявления мультиколлинеарности	497
Приложение 17А. Преобразование матрицы $X$ с целью ортогонализации столбцов	505
Упражнения к главе 17	508
<b>Глава 18. Гребневая регрессия</b>	<b>511</b>
18.1. Введение	511
18.2. Базовая форма гребневой регрессии	511
18.3. Применение гребневой регрессии к данным Хальда	514
18.4. В каких случаях следует использовать гребневую регрессию	517
18.5. Интерпретация с точки зрения фиктивных данных	521
18.6. Заключительные замечания	522
18.7. Литература	523
Приложение 18А. Связь гребневых оценок с МНК-оценками	523
Приложение 18Б. Гребневая регрессия и среднеквадратичная ошибка	524
Приложение 18В. Каноническая форма гребневой регрессии	525
Упражнения к главе 18	528
<b>Глава 19. Обобщенные линейные модели (GLIM)</b>	<b>529</b>
19.1. Введение	529
19.2. Семейство экспоненциальных распределений	530
19.3. Подбор обобщенной линейной модели	533
19.4. Пример вычислений	536
19.5. Литература	538
Упражнения к главе 19	539

<b>Глава 20. Ингредиенты смеси в качестве предикторов</b>	<b>541</b>
20.1. Эксперименты со смесями: пространства решений	541
20.2. Модели для экспериментов со смесями	545
20.3. Эксперименты по составлению смесей в ограниченной допустимой области	550
20.4. Пример 1	552
20.5. Пример 2	554
20.6. Литература	557
Приложение 20А. Переход от $q$ переменных смешивания к $q - 1$ рабочей переменной	557
Упражнения к главе 20	560
<b>Глава 21. Геометрия метода наименьших квадратов</b>	<b>563</b>
21.1. Основы геометрии	563
21.2. Теорема Пифагора и дисперсионный анализ	565
21.3. Дисперсионный анализ и $F$ -критерий для всей регрессии	570
21.4. Случай вырожденной матрицы $\mathbf{X}'\mathbf{X}$ : пример	572
21.5. Ортогонализация в случае общей регрессии	574
21.6. Образ и ядро матрицы $\mathbf{M}$	576
21.7. Алгебра и геометрия чистой ошибки	578
Приложение 21А. Обобщенные обратные матрицы	582
Упражнения к главе 21	585
<b>Глава 22. Больше о геометрии метода наименьших квадратов</b>	<b>589</b>
22.1. Геометрия нуль-гипотезы: простой пример	589
22.2. Общий случай $H_0: \mathbf{A}\boldsymbol{\beta} = \mathbf{c}$ . Алгебра проекторов	590
22.3. Геометрические иллюстрации	592
22.4. Геометрия проверки нуль-гипотезы при помощи $F$ -критерия	593
22.5. Геометрия критерия $R^2$	594
22.6. Изменение $R^2$ при наличии условия $\mathbf{A}\boldsymbol{\beta} = \mathbf{0}$ , не включающего $\beta_0$	595
22.7. Множественная регрессия с двумя оцениваемыми параметрами как последовательность прямолинейных регрессий	597
Упражнения к главе 22	603

Содержание	11
<b>Глава 23. Ортогональные полиномы и сводные данные</b>	<b>607</b>
23.1. Введение	607
23.2. Ортогональные полиномы	608
23.3. Регрессионный анализ сводных данных	615
Упражнения к главе 23	616
<b>Глава 24. Приложение множественного регрессионного анализа к задаче анализа дисперсии</b>	<b>621</b>
24.1. Введение	621
24.2. Односторонняя классификация: стандартный анализ и пример	623
24.3. Регрессионный подход к односторонней классификации: пример	626
24.4. Регрессионный подход к односторонней классификации с использованием исходной модели	631
24.5. Регрессионный подход к односторонней классификации: независимые нормальные уравнения	636
24.6. Двусторонняя классификация с равным количеством наблюдений в ячейках: пример	638
24.7. Регрессионный подход к двусторонней классификации: пример	640
24.8. Двусторонняя классификация с равным количеством наблюдений в ячейках	643
24.9. Регрессионный подход к двусторонней классификации с равным количеством наблюдений в ячейках	644
24.10. Двусторонняя классификация: пример	648
24.11. Выводы и комментарии	650
Упражнения к главе 24	650
<b>Глава 25. Введение в нелинейное оценивание</b>	<b>657</b>
25.1. Метод наименьших квадратов для нелинейных моделей	657
25.2. Оценивание параметров нелинейной системы	661
25.3. Пример	674
25.4. Несколько слов о репараметризации модели	688
25.5. Геометрия метода наименьших квадратов в линейном случае	689
25.6. Геометрия метода наименьших квадратов в нелинейном случае	702
25.7. Нелинейные модели роста	706

25.8. Нелинейные модели: другие работы	715
25.9. Литература	718
Упражнения к главе 25	718
<b>Глава 26. Робастная регрессия</b>	<b>733</b>
26.1. Регрессия наименьших абсолютных отклонений ( $L_1$ -регрессия)	733
26.2. M-оценки	734
26.3. Пример: занятость в сталелитейной промышленности	740
26.4. Пример исследования роста деревьев	743
26.5. Метод наименьшей медианы квадратов	746
26.6. Робастная регрессия с ранжированием остатков	746
26.7. Другие методы	749
26.8. Мнения и комментарии	750
26.9. Литература	751
Упражнения к главе 26	755
<b>Глава 27. Процедуры тиражирования выборки (бутстреп)</b>	<b>757</b>
27.1. Процедуры тиражирования выборки для регрессионных моделей	757
27.2. Пример: подбор прямой линии	758
27.3. Пример: планарное уравнение, три предиктора	761
27.4. Литература	761
Приложение 27А. Пример программы для системы MINITAB: бутстреп с использованием остатков	762
Приложение 27Б. Пример программы для системы MINITAB: бутстреп с использованием пар	763
Дополнительные замечания	764
Упражнения к главе 27	765
<b>Литература</b>	<b>767</b>
<b>Контрольные вопросы</b>	<b>787</b>
<b>Ответы к упражнениям</b>	<b>793</b>
<b>Таблицы</b>	<b>887</b>
<b>Список сокращений</b>	<b>897</b>
<b>Предметно-именной указатель</b>	<b>899</b>