

# *Тюнинг систем*

ЭКСПЕРИМЕНТИРОВАНИЕ ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ  
ОТ А/В-ТЕСТИРОВАНИЯ  
ДО БАЙЕСОВСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

ДЭВИД СВИТ



Санкт-Петербург · Москва · Минск

2024

# *Краткое содержание*

---

Предисловие .....	12
Благодарности.....	14
О книге.....	16
Об авторе.....	19
Иллюстрация на обложке .....	20
От издательства .....	21
<b>Глава 1.</b> Оптимизация систем с помощью экспериментов.....	22
<b>Глава 2.</b> А/В-тестирование: оценка изменений в системе.....	39
<b>Глава 3.</b> Многорукие бандиты: максимизация бизнес-метрик в процессе эксперимента .....	70
<b>Глава 4.</b> Методология анализа поверхности отклика: оптимизация непрерывных параметров.....	117
<b>Глава 5.</b> Контекстные бандиты: принятие целевых решений .....	163
<b>Глава 6.</b> Байесовская оптимизация: автоматизируем экспериментальную оптимизацию .....	194
<b>Глава 7.</b> Управление бизнес-метриками .....	230
<b>Глава 8.</b> Практические советы.....	245
<b>Приложение А.</b> Линейная регрессия и нормальные уравнения .....	269
<b>Приложение В.</b> Один параметр за один раз .....	275
<b>Приложение С.</b> Регрессия гауссовского процесса.....	278

# Оглавление

---

<b>Предисловие .....</b>	<b>12</b>
<b>Благодарности .....</b>	<b>14</b>
<b>О книге .....</b>	<b>16</b>
Для кого эта книга .....	16
Структура книги.....	16
О коде в книге.....	17
Форум liveBook .....	18
<b>Об авторе.....</b>	<b>19</b>
<b>Иллюстрация на обложке.....</b>	<b>20</b>
<b>От издательства.....</b>	<b>21</b>
<b>Глава 1. Оптимизация систем с помощью экспериментов.....</b>	<b>22</b>
1.1. Примеры рабочих процессов .....	25
1.1.1. Рабочий процесс в системе машинного обучения.....	25
1.1.2. Рабочий процесс в количественном трейдинге .....	26
1.1.3. Рабочий процесс в разработке ПО .....	28
1.2. Измерение с помощью экспериментов.....	29
1.2.1. Экспериментальные методы .....	30
1.2.2. Практические задачи и подводные камни.....	31

1.3. Почему эксперименты необходимы .....	31
1.3.1. Знание предметной области .....	32
1.3.2. Точность офлайн-модели .....	34
1.3.3. Имитационное моделирование .....	36
Итоги .....	38
<b>Глава 2. А/В-тестирование: оценка изменений в системе .....</b>	<b>39</b>
2.1. Подготовка .....	40
2.1.1. Симулятор торговой системы .....	41
2.1.2. Сравнение издержек исполнения сделки .....	42
2.2. Повышение точности измерений .....	47
2.2.1. Снижение дисперсии результата с помощью многократных измерений .....	47
2.3. Запуск А/В-теста .....	55
2.3.1. Анализ измерений .....	56
2.3.2. Разработка А/В-теста .....	60
2.3.3. Измерения и анализ .....	67
2.3.4. Краткое описание этапов А/В-теста .....	68
Итоги .....	69
<b>Глава 3. Многорукие бандиты: максимизация бизнес-метрик в процессе эксперимента .....</b>	<b>70</b>
3.1. Эпсилон-жадный алгоритм: как процесс оценки версии влияет на бизнес-метрику .....	71
3.1.1. А/В-тестирование как отправная точка .....	73
3.1.2. Эпсилон-жадный алгоритм .....	81
3.1.3. Когда остановиться? .....	87
3.2. Параллельная оценка нескольких версий системы .....	92
3.3. Выборка Томпсона: более эффективный алгоритм МРБ .....	98
3.3.1. Оценка вероятности того, что рука является лучшей .....	100
3.3.2. Случайное сопоставление вероятностей .....	107
3.3.3. Итоговый алгоритм .....	110
Итоги .....	116

<b>Глава 4. Методология анализа поверхности отклика: оптимизация непрерывных параметров</b> .....	<b>117</b>
4.1. Оптимизация одного непрерывного параметра .....	118
4.1.1. Разработка: выбор значений параметра .....	120
4.1.2. Измерения .....	133
4.1.3. Анализ I: интерполяция результатов измерений.....	135
4.1.4. Анализ II: оптимизация бизнес-метрики .....	139
4.1.5. Проверка оптимального значения параметра .....	141
4.2. Оптимизация двух и более непрерывных параметров .....	144
4.2.1. Разработка эксперимента для двух параметров.....	148
4.2.2. Измерения, анализ и проверка для 2D-эксперимента .....	151
Итоги.....	162
<b>Глава 5. Контекстные бандиты: принятие целевых решений</b> .....	<b>163</b>
5.1. Моделируем бизнес-метрику офлайн, чтобы принять решение онлайн.....	164
5.1.1. Моделируем значение бизнес-метрики, полученное в результате принятого решения .....	165
5.1.2. Добавление компонента, принимающего решения.....	170
5.1.3. Запуск и анализ жадной рекомендательной системы.....	172
5.2. Исследование действий с помощью эpsilon-жадного алгоритма .....	174
5.2.1. Отсутствие контрафактов ухудшает предсказания .....	175
5.2.2. Эpsilon-жадное исследование и сбор контрафактов.....	178
5.3. Исследование параметров с помощью выборки Томпсона .....	182
5.3.1. Создание ансамбля предсказательных моделей.....	184
5.3.2. Случайное сопоставление вероятностей .....	188
5.4. Проверка контекстного бандита .....	191
Итоги.....	193
<b>Глава 6. Байесовская оптимизация: автоматизируем экспериментальную оптимизацию</b> .....	<b>194</b>
6.1. Оптимизация одного параметра компилятора: наглядное объяснение .....	195
6.1.1. Моделируем компилятор .....	198
6.1.2. Запускаем первый эксперимент.....	199

6.1.3. Анализ: построение поверхности отклика .....	200
6.1.4. Разработка: выбор значения параметра для следующего измерения .....	201
6.1.5. Планирование: баланс между исследованием и эксплуатацией.....	203
6.2. Моделирование поверхности отклика с помощью регрессии гауссовского процесса .....	207
6.2.1. Оценка ожидаемого процессорного времени.....	208
6.2.2. Оценка неопределенности с помощью GPR.....	216
6.3. Оптимизация функции сбора данных .....	221
6.3.1. Минимизация функции сбора данных .....	222
6.4. Оптимизация семи параметров компилятора.....	224
6.4.1. Случайный поиск.....	224
6.4.2. Полный алгоритм байесовской оптимизации.....	226
Итоги.....	229
<b>Глава 7. Управление бизнес-метриками .....</b>	<b>230</b>
7.1. Сосредоточьтесь на бизнесе.....	231
7.1.1. Не оценивайте модель .....	231
7.1.2. Оценивайте продукт .....	234
7.2. Выбор бизнес-метрик .....	235
7.2.1. Ориентируйтесь на конкретные цели бизнеса.....	235
7.2.2. Периодически пересматривайте бизнес-метрики .....	237
7.2.3. Время действия метрики .....	237
7.3. Сочетание нескольких бизнес-метрик.....	240
7.3.1. Снижение негативных побочных эффектов.....	241
7.3.2. Оценка нескольких метрик.....	242
Итоги.....	244
<b>Глава 8. Практические советы .....</b>	<b>245</b>
8.1. Нарушение статистических гипотез.....	246
8.1.1. Нарушение гипотезы iid .....	246
8.1.2. Нестационарность.....	249
8.2. Не останавливайтесь раньше времени.....	251

8.3. Контролируйте групповую вероятность ошибки .....	255
8.3.1. Избирательный подход увеличивает уровень ложноположительных результатов.....	256
8.3.2. Контроль ложноположительных результатов с помощью поправки Бонферрони.....	258
8.4. Помните о распространенных ошибках .....	260
8.4.1. Ошибка конфаундинга.....	260
8.4.2. Смещение из-за малого размера выборки .....	261
8.4.3. Оптимистическая предвзятость.....	262
8.4.4. Предвзятость экспериментатора .....	263
8.5. Проверяйте результаты с помощью многократных измерений.....	264
8.5.1. Проверяйте сложные эксперименты.....	265
8.5.2. Отслеживайте изменения с помощью обратного А/В-теста .....	265
8.5.3. Оценивайте квартальные изменения с помощью отложенного потока .....	266
8.6. Заключение .....	267
Итоги.....	267
<b>Приложение А. Линейная регрессия и нормальные уравнения .....</b>	<b>269</b>
А.1. Одномерная линейная регрессия .....	269
А.2. Многомерная линейная регрессия.....	272
<b>Приложение В. Один параметр за один раз .....</b>	<b>275</b>
<b>Приложение С. Регрессия гауссовского процесса.....</b>	<b>278</b>