

Содержание

Четыре способа	11
Начало путешествия	17

КЛАСС I: статистическое мышление

Молодые умники	21
Среднестатистические друзья	26
Правдоподобный ответ	33
Сила статистики	38
Двенадцать дополнительных лет	42
Чай в молоко или молоко в чай?	46
Счастливый мир	53
Счастливый человек	61
Злобный старик	68
Лес и дерево	75
Многое другое	80

КЛАСС II: интерактивное мышление

Жизненный цикл	85
Кролики и лисы	89
Социальная химия	95
Социальная эпидемия	98
Больше, чем сумма частей	110
Увлечь всех фитнесом	116

Третий закон	121
Клеточные автоматы	125
Искусство спора	134
Сверху вниз или снизу вверх	143

КЛАСС III: хаотическое мышление

Всегда знать следующий шаг	149
Курс на стабильность	153
“Эль Фароль”	157
Шоколадный хаос	162
Ошибка	169
Эффект бабочки	172
Ночное небо: часть 1	176
Ночное небо: часть 2	179
Идеальная свадьба	185
Клеточный хаос	190
Сообщение от <i>B</i> к <i>K</i>	195
Информация равна случайности	200
Двадцать вопросов	206
Хороший слушатель всегда задает вопросы	212
Энтропия никогда не уменьшается	215
Распределения в жизни	219
Игры в слова	225
Выбор дороги	229
Море слов	233

КЛАСС IV: сложное мышление

Международный конгресс	241
Матрица	245
Четверо в машине	250

Не сложнее кратчайшего описания	252
Улицы Лондона	257
I, II, III, IV	261
Вся жизнь	267
Социальные барьеры	279
Человек существует только во взаимосвязях с другими людьми	287
Вот он!	292
Это сложно	296
Почти всегда сложно	298
Кто я такой?	301
Жизнь в коротких зарисовках	308
Неописуемое объяснение	316
Кратко, но емко	323
Четыре способа	326
Интересная жизнь	328
<i>Благодарности</i>	331
<i>Примечания и ссылки</i>	333

**КЛАСС I:
статистическое
мышление**

Молодые умники

После вводной лекции доктора Джен нас направляют в общежитие, где нам предстоит жить ближайшие четыре недели.

К тому времени, как я нахожу свою комнату, мой новый сосед, Руперт, успел уже распаковать свои вещи. Он занял левую кровать, у окна, и положил аккуратные стопки научных статей и рукописных заметок на единственный письменный стол.

Руперт говорит, что пишет диссертацию по экономике в Оксфордском университете.

— Думаю, поэтому нас и поселили вместе, — предполагает он, узнав, что и я британец.

— Было бы неплохо пожить с одним из этих гарвардских умников. Расширить горизонты, — говорит он, улыбаясь. — Но, пожалуй, и ты сойдешь.

Руперта тоже послал в Санта-Фе научный руководитель, но инструкции он получил другие: “разузнать, что там происходит”, но самому не увлекаться. Руперта такой подход устраивал, потому что его мало интересовала “вся эта болтовня о сложных системах”: он явно не собирался тратить на нее много времени. Он планировал просто ходить на лекции, стараясь усвоить основы, а во второй половине дня заниматься в нашей общей комнате. Потому-то ему и нужен стол. И желательно, чтобы его пореже беспокоили.

Выступление доктора Джен его не особо впечатлило.

— Типичная американская реклама. Обычные духоподъемные речи.

Идея общаться с другими слушателями и учиться у них тоже не привлекала Руперта. Далекое не все эти люди были ему интересны.

— Тут наверняка собралась куча самых разных ученых, — рассуждал он. — Биологов, историков и прочих социологов. А то и философов. В таком месте всякого можно ожидать... Их-то, конечно, воодушевит идея “сложных систем”, — он изобразил пальцами кавычки. — Я хочу сказать, что для них это что-то вроде каникул, понимаешь? Развлечение. А вот мы с тобой не должны дать заморочить себе голову.

Руперт полагал, что у многих наших соучеников нет такой серьезной подготовки, как у нас с ним. Что им не хватает неких базовых знаний. И потому наша задача — повысить их уровень. Руперт был нацелен не столько на то, чтобы задавать вопросы, как советовал мне мой руководитель, сколько на то, чтобы деликатно просвещать остальных.

— Мы здесь представляем рациональное начало, — объявил он. — Мы из тех, кто отстаивает опору на факты. Уверен, что многие слушатели вообще не знакомы со статистикой.

С этими словами он сел за стол и принялся проглядывать статьи. Разговор был явно окончен.

Я отправился искать других участников летней школы. Не могут же все быть такими, как Руперт.

В коридоре мне встретился американский физик-теоретик, который представился Максом. Я спросил, не знает ли он, где тут ближайший паб, надеясь, что он меня туда отведет.

Он сказал, что пабы в Америке называют барами, а порой — спортбарами. Тут поблизости как раз есть одно чудесное местечко, и он охотно составит мне там компанию.

Когда мы уселись, Макс пояснил, что американцам нужна постоянная стимуляция, и указал на телеэкраны, которыми

были увешены стены. Им, мол, недостаточно делать одну-две вещи зараз — например, пить пиво и беседовать, — им нужно при этом смотреть баскетбол или футбол и еще чтоб перед каждым матчем орала музыка, а экран заполнялся информацией об игроках. Я же сообщил Макс, что в английских пабах обычно нет телевизоров, а те, что есть, как правило, выключены.

— Не успеешь оглянуться, как у вас будет то же самое, — пообещал Макс.

Он объяснил, что эволюция американского общества может быть смоделирована в терминах постоянно возрастающей энтропии¹.

— Ты же все знаешь про энтропию? — спросил Макс и, не дожидаясь ответа, продолжил: — После войны американские ученые изобрели методы обработки и восприятия информации, и теперь мы старательно скармливаем энтропию массам.

И он улыбнулся с видом знатока.

Я ответил нервной усмешкой, отметив про себя, что мне нужно побольше узнать об энтропии... и чем скорее, тем лучше.

Как оказалось, Макс разбирался не только в спортбарах и энтропии. Он знал буквально все на свете. Защитившись в Принстоне, он теперь занимался научными исследованиями в области статистической физики в Стэнфорде. Я рассказал ему об отсутствии у Руперта особого интереса к учебному курсу. Это у него от недостатка образования, отозвался Макс. По его словам, английские Оксфорд и Кембридж погрязли в прошлом, не осознавая важности хаоса и нелинейности (еще два термина, о которых я имел слабое представление). *Оксбридж*, конечно, силен своими фундаментальными ис-

¹ Термин “энтропия” в разных науках означает разное. Наиболее популярно его значение, используемое в физике; в этой же книге речь идет о так называемой “информационной энтропии”. — *Здесь и далее, если не указано иное, — примечания переводчика.*

следованиями, но слишком уж консервативен. Теоретически обосновывает сложившийся в науке статус кво.

Вот почему Институт Санта-Фе так важен, продолжал Макс. Не то чтобы тут проводились самые лучшие исследования (они-то в основном делаются в Принстоне и Стэнфорде), но Санта-Фе — пункт общего сбора. И мой собеседник перечислил громкие имена: Филип Андерсон, Марри Гелл-Манн, Кеннет Эрроу, Брайан Артур, Кристофер Лэнгтон и Стивен Вольфрам. Половина из них получила нобелевские премии, остальные считались гениальными оригиналами. Все они прошли через Санта-Фе. И европейцы не могли не обратить на это внимания.

— До Руперта тоже скоро дойдет, — заверил Макс.

К этому времени за нашим столом собрались и другие участники летней школы.

На дальнем его конце доминировал Антонио, эколог из Бразилии. Он в быстром темпе излагал свою новую теорию о видообразовании и экологических нишах. В конце концов Мадлен, биолог из Австралии, явно устав от этой мини-лекции, предложила всем нам по очереди представиться.

Представление шло по кругу. Рядом с Мадлен тихо сидела Замия, философ из Франции. Она стремилась связать постмодернистские работы Жака Деррида с трудами Людвиг Витгенштейна. Следующим был Алекс из Австрии, только что купивший всем нам пива. Он сообщил, что работает над теорией хаоса в химических реакциях. Эстер, скандинавский компьютерный специалист, рассказала, что начала изучать сетевую структуру Всемирной паутины. Я не все понял в их историях об исследованиях и слыхом не слыхивал о Деррида и Витгенштейне, но, улыбаясь, объявил, что я прикладной математик и ищу проблему, к которой можно было бы приложить мою математику.

После того как все кратко сообщили о своих научных интересах, Мадлен улыбнулась и с сильным австралийским акцентом заявила:

— Ну что ж, ваши исследования впечатляют, однако я изучаю самую важную вещь в мире — то, как муравьи формируют свои дорожные сети. Более сложных систем на свете не существует!

Антонио тут же снова взял слово и принялся рассказывать Мадлен о ключевой роли муравьев. У меня все смешалось: выпитое пиво, звучащие в голове слова, спортивные комментарии, попытки понять то, что говорил Макс и остальные, самое мое пребывание в Санта-Фе...

Руперт был прав: коллектив оказался весьма смешанным — он состоял из представителей разных наук, обладавших разным образованием. Не та группа чокнутых математиков, с которыми я привык встречаться на занятиях в своем университете, а люди со всего света. Выдающиеся аспиранты, посвятившие себя философии, биологии, химии, физике, экономике и информатике.

Лучшего места я и представить не мог.

Среднестатистические друзья

Оставим моих новых друзей 90-х годов в Санта-Фе и вернемся в сегодняшний Лондон. В столице стоит среднестатистический облачный апрельский день, 15°C, небольшие осадки. Дорога на работу занимает у лондонца в среднем 42 минуты, а его медианная зарплата составляет около 40 тысяч фунтов в год. Вернувшись сегодня вечером домой, он потратит в среднем 183 минуты на просмотр телепередач (меньше, чем те 242 минуты, что он тратил в 2011-м). Около 51 % жителей Лондона зайдет сегодня в соцсети более одного раза, 2 % съедят рекомендованные пять овощей в день, а 64 % на этой неделе выпьют что-нибудь алкогольное. У лондонских гетеросексуальных пар секс бывает обычно раз в неделю, а его медианная продолжительность составляет 7,6 минуты. Мужские пары занимаются сексом немного чаще — полтора раза в неделю, а свежие данные по женским парам найти сложнее. За свою жизнь, которая продлится в среднем восемьдесят лет, современная лондонка родит 1,6 ребенка. Удовлетворенность жизнью в целом лондонцы оценивают в 6,94 по 10-балльной шкале.

Я легко могу заполнить несколько страниц статистическими данными и результатами опросов лондонцев или жителей любого другого региона мира. К моим услугам Национальная статистическая служба Великобритании, публикации проекта “Мир в цифрах” (*Our World in Data*), интерактивный

сервис *Gapminder*, Всемирный банк, бюро переписи населения разных стран, публикации исследовательского центра *Pew*, Институт Гэллапа, экономические анализы ОЭСР (Организации экономического сотрудничества и развития), “Всемирный доклад о счастье”¹ (*World Happiness Report*), а также бесчисленные опросы различных университетов, касающиеся нашего здоровья, благосостояния, поведения и удовлетворенности жизнью. В этих документах отражаются статистические закономерности, которые принимают в расчет при принятии решений не только правительства, компании и различные организации, но и обычные люди. Мы руководствуемся научными рекомендациями абсолютно во всем: что нам есть, как заниматься спортом, как получить максимум удовольствия от жизни и как лучше готовиться к экзаменам.

Применяя статистический подход к своей жизни, важно понимать не только то, что дают статданные, но и то, чего они дать не могут. Какие из многочисленных научных исследований действительно имеют отношение к вам лично? Обнаружена ли в них причинно-следственная связь или речь идет о простой корреляции? Насколько стоит позволять статданным влиять на наш взгляд на мир? Когда статистику следует игнорировать и обращаться к другим источникам информации?

Чтобы ответить на эти вопросы, нам придется пройти краткий курс статистики и вычислений — только тогда мы сможем понять, как используются статданные и как ими иногда злоупотребляют.

Для начала оцените тот факт, что я, просто перечислив средние данные по Лондону, сумел нарисовать узнаваемую картинку столицы и ее обитателей. Я отметил погоду, пассажиропоток, зарплаты, модели поведения, сексуальную активность. Каждое число — часть общего представления о жизни в Лондоне. Среднестатистические данные — самый мощный инструмент статистики. Они говорят правду о городе.

¹ Это неудачный перевод, потому что речь в докладе идет об уровне удовлетворенности жизнью, но название настолько устоялось, что я не решаюсь его менять.

Статданные характеризуют и меньшие группы людей. Для иллюстрации разных видов мышления я буду в своей книге периодически ссылаться на десятку лондонских друзей. Это вымышленные персонажи, и я не стану описывать их внешность и род занятий, а лишь приведу некоторые статистические данные (тоже вымышленные). См. таблицу ниже.

Имя	Возраст	Годовой доход	Количество стаканов латте с овсяным молоком, выпитых на прошлой неделе	Любит ли маринованные огурцы?
Энтони	34	£12 000	7	Да (1)
Айша	31	£36 000	12	Нет (0)
Чарли	29	£52 000	0	Да (1)
Бекки	29	£23 000	0	Нет (0)
Дженнифер	28	£22 000	0	Да (1)
Ричард	36	£62 000	0	Нет (0)
Ниа	35	£106 000	15	Нет (0)
Джон	34	£40 000	0	Да (1)
Софи	31	£31 000	5	Нет (0)
Сьюки	30	£34 000	0	Нет (0)

Если бы я хотел словесно охарактеризовать этих людей, то мог бы написать что-то вроде: “Ниа по дороге на работу в центре Лондона покупает латте с овсяным молоком, а ее помощник приносит ей еще одно латте ровно в десять”, или: “Дженнифер — вечная студентка, она подрабатывает, чтобы оплачивать учебу. Ее представление о роскоши: баночка маринованных огурцов и сериал *Netflix*”. Числа не столь красочны, как слова, но дают на удивление хорошее представле-

ние о конкретном человеке. Позволяют вообразить себе его работу, стиль жизни и любовь к мариандам.

Числа многое говорят и о группе в целом. Средний возраст участников:

$$\frac{34 + 31 + 29 + 29 + 28 + 36 + 35 + 34 + 31 + 30}{10} = 31,7$$

Ричард, Джон, Ниа и Энтони — чуть постарше. Бекки, Дженнифер и Чарли — чуть помоложе. Но все они родились примерно в начале 90-х, поэтому их можно назвать миллениалами.

В отношении доходов принято использовать не среднее арифметическое значение, а медиану. Для определения медианы надо расположить числа по возрастанию. Вот так:

£12 000, £22 000, £23 000, £31 000, £34 000, £36 000, £40 000,
£52 000, £62 000, £106 000

А потом отметить, что в середине находятся числа £34 000 и £36 000. Их среднее арифметическое дает медиану: £35 000 в год. Это немного ниже, чем медианное значение по Лондону в целом, но, учитывая, что большинство друзей находится в начале своей карьеры, их, тем не менее, можно считать достаточно обеспеченными. Хотя некоторым из них и сложно карабкаться наверх, никого из десятки нельзя назвать бедным. И не удивляйтесь тому, что Энтони с его доходом в £12 000 может позволить себе ежедневно пить латте, — просто я забыл упомянуть, что Энтони женат на Ниа, которая зарабатывает больше всех. В целом у этой группы друзей есть средства к существованию и перед ними открываются в жизни определенные возможности¹.

¹ Для этого и других разделов, содержащих математические рассуждения, я создал онлайн-урок, где вопросы среднего арифметического, медианы и пропорций рассматриваются подробнее. См. <https://www.fourways.readthedocs.io/> — Прим. автора.

Относительно того, когда нужно использовать среднее арифметическое, а когда медиану, жестких правил не существует (говоря о “среднем”, статистики имеют в виду среднее арифметическое, а не медиану). Возраст друзей хорошо характеризуется средним арифметическим, потому что тут разброс невелик. А если речь идет о доходах, то логичнее говорить о медиане, потому что зарплата Ниа в £106 000 существенно увеличивает среднее арифметическое. По данным *Forbes*, в Лондоне живет шестьдесят три миллиардера. Если при вычислении среднего дохода учесть этих сверхбогатых людей, то результат окажется значительно выше медианы (для крупных городов увеличение может составить от 20 % до 50 %) и все мы почувствуем себя бедняками. Поэтому выбор между средним арифметическим и медианой определяется тем, что именно мы хотим подчеркнуть. Медиана позволяет игнорировать немногочисленных миллиардеров.

Яркий пример различия между средним арифметическим и медианой дает столбец про латте. Медиана здесь равна нулю (большинство не пьет латте вовсе), а среднее арифметическое — 3,9. Чтобы правильно охарактеризовать членов нашей группы, тут важны и медиана, и среднее: неверно, что они не любят латте, но и то, что они пьют в среднем почти четыре латте в неделю, тоже неверно!

Различие между средним арифметическим и медианой показывает, что статистика позволяет характеризовать данные по-разному. Однако значит ли это, что с числами можно делать что угодно?

Нет, не значит: статистику можно использовать правильно и неправильно. Но как определить, правильно ли мы делаем, когда вычисляем средний возраст друзей, сложив их возрасты и разделив на десять? Я сделал так, как нас учили в школе, но почему это правильно? В основе статистического мышления лежит анализ именно подобных вопросов — вопросов о том, как проводить вычисления.

Рассмотрим с этой точки зрения статистику о любви к огурцам. Ответам “да” и “нет” можно поставить в соответствие единицы и нули. Перепишем теперь ответы друзей так:

Энтони	Айша	Чарли	Бекки	Дженнифер	Ричард	Ниа	Джон	Софи	Сьюки
1	0	1	0	1	0	0	1	0	0

Исходя из этих данных, как часто в Лондоне встречаются миллениалы, которые любят маринованные огурцы?

Интуитивно кажется, что верный ответ $4/10$, или 40% . Он получается, если взять среднее арифметическое приведенных в этой таблице нулей и единиц:

$$\frac{(1 + 0 + 1 + 0 + 1 + 0 + 0 + 1 + 0 + 0)}{10} = \frac{4}{10}$$

Откуда мы знаем, что ответ верный? Предположим, что некоторые из друзей на основании сомнительных аргументов возражают против такого подхода. Энтони мог заявить, что ответы первых пяти опрошенных имеют больший вес, потому что “это оригиналы”. Он сложил $2 + 0 + 2 + 0 + 2 = 6$ для первых пяти ответов и $0 + 0 + 1 + 0 + 0 = 1$ для пяти последних и получил $(6 + 1) / 15 = 7/15$.

Услышав рассуждение Энтони, Айша возразит, что лучше спросить у пятерых, а остальных игнорировать. Она берет только ответы каждого второго, выясняет, что из этой группы лишь один человек (а именно Джон) любит маринованные огурцы, и делает вывод, что правильный ответ $1/5$. И наконец, Чарли предлагает: “А давайте просто послушаем ответ первого из нас и его-то и посчитаем верным. Тогда и спорить будет не о чем”.

Чарли объявляет: “Энтони любит маринованные огурцы? Значит, все любят маринованные огурцы!”

Бекки разводит руками. “Я совсем запуталась с этими огурцами! Чарли твердит одно, Энтони и Айша — каждый

свое, да еще и непонятное. Почему бы просто не сойтись на том, что нам не договориться? Мы не можем предсказать, любит человек маринованные огурцы или нет”.

Бекки неправа. То есть она права в том, что друзьям надо перестать спорить. Но неправа, утверждая, будто полученные данные не дают нам возможности сделать выводы о любви к огурцам. У друзей разные взгляды, однако их мнения не равноценны.

Как же убедить Бекки, Энтони, Айшу и Чарли, что долю людей, которые любят маринованные огурцы, можно вычислить только одним способом, и доля эта составляет 40%? Мы знаем, что друзья выдвигают спорные возражения, так как же доказать им, что 40% — это наилучшая оценка?

Для этого нам придется вернуться в прошлое и встретиться с человеком, который первым осознал необходимость определить, как лучше всего проводить измерения.