

## ГЛАВА 2

# ЗАЧЕМ НУЖНЫ МОДЕЛИ?

*Познание реальности означает  
построение систем трансформации,  
более-менее адекватно  
соответствующих реальности.*

Жан Пиаже

В этой главе мы определим типы моделей. Модели часто описываются как упрощенное представление мира. Они действительно могут выполнять такую функцию, но могут также выступать в виде аналогий или вымышленных миров, в которых можно найти новые идеи или знания. Кроме того, мы рассмотрим области применения моделей. В учебных заведениях модели служат для объяснения данных. В реальной жизни их можно использовать для прогнозирования, разработки и совершения действий, поиска идей и возможностей, а также распространения идей и представлений.

Ценность моделей — в их способности выявлять условия, при которых достигим тот или иной результат. Бóльшая часть того, что мы знаем, возможна только в определенных случаях: квадрат самой длинной стороны треугольника равен сумме квадратов двух других сторон только в случае, если самая длинная сторона расположена напротив прямого угла. Модели раскрывают аналогичные условия для наших интуитивных выводов. С их помощью мы можем проанализировать, когда распространяются заболевания, когда работают рынки, когда голосование приводит к благоприятным результатам и когда группы людей дают точные прогнозы. На все эти вопросы нет однозначных ответов.

Эта глава состоит из двух частей. В первой описываются три типа моделей, во второй рассматриваются области их применения — рассуждение, объяснение, прогнозирование, разработка, коммуникация, действие и исследование, — которые образуют акроним REDCAPE\* (reason, explain, design, communicate, act, predict, explore), не такой уж тонкий намек на то, что много-модельное мышление наделяет нас сверхспособностями [1].

## ТИПЫ МОДЕЛЕЙ

При построении модели придерживаются одного из трех подходов. Можно использовать *подход максимального воплощения*, стремящийся к максимальной достоверности. Такие модели включают важные детали и либо исключают ненужные параметры и свойства, либо объединяют их. По этому принципу создаются модели экологических ниш, законодательной власти и транспортных систем, а также климатические модели и модели головного мозга. Можно применить *метод аналогий* и абстрагироваться от реальности. Можно смоделировать распространение преступности по аналогии с распространением заболеваний, а выбор политической позиции считать одним из вероятных вариантов в диапазоне между левыми и правыми взглядами. Сферическая корова — излюбленный учебный пример метода аналогий: чтобы рассчитать площадь шкуры животного, мы исходим из того, что корова имеет сферическую форму. И делаем это потому, что таблицы интегралов в конце учебников по матанализу содержат такие значения, как  $\text{tg}(x)$  или  $\text{cos}(x)$ , но не  $\text{cow}(x)$  [2].

Тогда как метод воплощения акцентируется на реалистичности, метод аналогий позволяет уловить суть процесса, системы или явления. Когда физик не учитывает трение, но в остальном исходит из реалистичных предположений, он использует метод воплощения. Когда экономист представляет конкурирующие компании как разные виды и определяет продуктовые ниши, он тоже проводит аналогию. И делает это с помощью модели, разработанной для воплощения другой системы. Четкого разграничения между методом воплощения и методом аналогий нет. Психологические модели процесса познания, в которых альтернативам присваиваются веса,

---

\* Red cape (англ.) — красная накидка. Атрибут Супермена. Прим. ред.

сводят воедино дофаминовую реакцию и другие факторы; кроме того, они используют аналогию с уровнем, на котором мы приводим альтернативы в равновесие.

36

Третий подход, *метод альтернативной реальности*, намеренно не представляет и не отражает реальность. Эти модели работают как аналитические и вычислительные игровые площадки, на которых можно исследовать различные возможности. Метод позволяет обнаружить общие идеи, применимые за пределами физического и социального мира. Такие модели помогают понять последствия ограничений реального мира (а что если бы энергию можно было безопасно и эффективно передавать по воздуху?) или проводить неосуществимые эксперименты (а что если бы мы попытались развить головной мозг?). В книге описывается несколько подобных моделей, в частности игра «Жизнь», которая представляет собой плоскость (нечто вроде шахматной доски), разделенную на живые (черные) и мертвые (белые) клетки, которые переходят из одного состояния в другое согласно установленным правилам. Хотя эта модель нереалистична, она углубляет понимание сути самоорганизации, сложности и, как утверждают некоторые, даже самой жизни.

Что бы ни делала модель — воплощала более сложную реальность, создавала аналогию или выстраивала вымышленный мир для исследования идей, она должна быть *распространяемой* и *разрешимой*, поддающейся описанию формальным языком, таким как математика или машинный код. При описании модели нельзя использовать такие термины, как *убеждения* и *предпочтения*, без их формального определения. Убеждения могут быть представлены в виде распределения вероятностей в пределах множества событий или гипотез. Предпочтения — в виде упорядоченного списка альтернатив или математической функции.

Степень разрешимости чего-либо говорит о том, насколько это поддается анализу. В прошлом анализ опирался на математические или логические рассуждения. Автор модели должен был обосновывать каждый шаг. Такое ограничение привело к формированию эстетики, придававшей особое значение строгим моделям. Английский монах и теолог Уильям Оккам (1287–1347) писал: «Не должно множить сущее без необходимости». Эйнштейн переформулировал этот принцип, известный как «бритва Оккама», так: «*Все следует упрощать до тех пор, пока это возможно, но не более того*». Сегодня, столкнувшись с ограничением в плане аналитической разрешимости, можно прибегнуть к вычислениям. Мы можем создавать сложные модели со множеством

меняющихся частей, не заботясь об их аналитической разрешимости. Ученые придерживаются такого подхода при построении моделей глобальной климатической системы, головного мозга, лесных пожаров и транспортных систем. Они по-прежнему прислушиваются к совету Оккама, но осознают, что принцип «все следует упрощать» может потребовать множества меняющихся параметров.

## СЕМЬ ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ

В научной литературе описаны десятки вариантов применения моделей. Мы же остановимся на семи: *рассуждение, объяснение, прогнозирование, разработка, коммуникация, действие и исследование.*

### Области применения моделей (REDCAPE)

**Рассуждение:** определение условий и вывод логических следствий.

**Объяснение:** предоставление (поддающихся проверке) объяснений эмпирических явлений.

**Разработка:** выбор характеристик институтов, политик и правил.

**Коммуникация:** передача знаний и представлений.

**Действие:** обеспечение выбора политических альтернатив и стратегических действий.

**Прогнозирование:** получение численных и категориальных прогнозов будущих и неизвестных явлений.

**Исследование:** изучение возможностей и гипотез.

### REDCAPE: РАССУЖДЕНИЕ

При построении модели мы выделяем такие важные составляющие, как агенты и объекты, наряду с соответствующими характеристиками, а затем описываем способы взаимодействия и объединения отдельных фрагментов, что позволяет определить, что из чего следует и почему. Такой подход повышает эффективность наших рассуждений. Хотя полученные выводы зависят от исходных предположений, процесс рассуждений раскрывает нечто большее, чем тавтологии. Крайне редко можно получить весь спектр последствий наших предположений только из одного наблюдения — нужна еще

и формальная логика. Логика позволяет раскрыть возможности и невозможности. С ее помощью можно установить точные и порой неожиданные связи. Это позволяет обнаружить обусловленность интуитивных выводов.

38

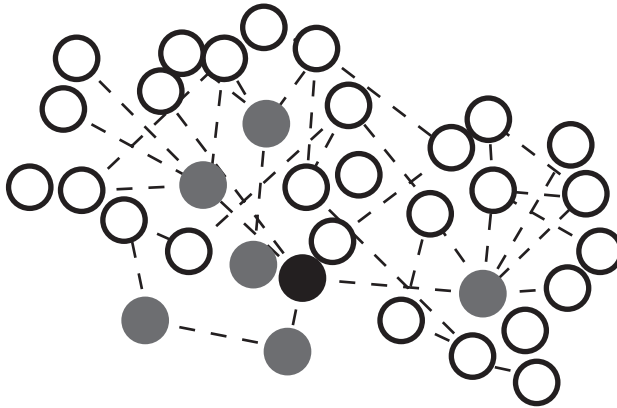
*Теорема Эрроу (теорема невозможности)* — пример того, как логика раскрывает невозможное. Модель рассматривает вопрос о том, приводит ли объединение индивидуальных предпочтений к формированию коллективного предпочтения. Предпочтения представлены в ней в виде упорядоченного списка альтернатив. Применительно к пяти итальянским ресторанам, обозначенным буквами от А до Е, эта модель допускает любой из 120 упорядоченных списков. Согласно введенным Эрроу требованиям, общий упорядоченный список должен быть *монотонным* (если каждый ставит в своем списке А выше В, то же происходит в общем списке), *независимым от посторонних альтернатив* (если относительный ранг А и В в каждом списке остается неизменным, а ранг других альтернатив меняется, то порядок А и В в общем упорядоченном списке не меняется) и *недиктаторским* (ни один человек не должен определять общий упорядоченный список альтернатив). Далее Эрроу доказывает, что если разрешены любые предпочтения, то коллективное упорядочение списка может и не существовать [3].

Кроме того, логика раскрывает парадоксы. Применение моделей позволяет продемонстрировать возможность ситуации, когда в каждой подгруппе содержится более высокий процент женщин, чем мужчин, но в общей совокупности наблюдается более высокий процент мужчин. Этот феномен известен как парадокс Симпсона. И он действительно имел место: в 1973 году Калифорнийский университет в Беркли зачислил на большинство факультетов больше студенток, чем студентов. Однако в целом университет принял больше студентов мужского пола. Модели также показывают, что чередование двух проигрышных ставок может обеспечить положительный ожидаемый результат (Парадокс Паррондо); или что включение дополнительной вершины в граф позволяет сократить общую длину ребер, необходимых для соединения всех вершин [4].

Не следует отбрасывать эти примеры как математические новшества. Каждый из них имеет практическое применение: усилия по увеличению численности женщин могут иметь обратный эффект, сочетание проигрышных инвестиций способно обеспечить выигрыш, а общую длину сети электрических линий, трубопроводов, Ethernet-линий или дорог можно сократить путем добавления дополнительных узлов.

Логика также раскрывает математические зависимости. Исходя из аксиом Эвклида, треугольник однозначно определяется любыми двумя углами и стороной или любыми двумя сторонами и углом. Стандартные предположения о поведении потребителей и компаний позволяют сделать вывод, что на рынках с большим количеством конкурентов цена равна предельным издержкам. Некоторые результаты оказываются неожиданными, как в случае *парадокса дружбы*, который гласит, что в любой сети дружеских связей у друзей человека больше друзей, чем у него самого.

Этот парадокс объясняется тем, что у очень популярных людей больше друзей. На рис. 2.1 показана сеть дружеских связей в клубе карате, описанная Уэйном Закари. У человека, представленного черным кружком, шесть друзей, которые обозначены серыми кружками. У его друзей в среднем семь друзей, отмеченных белыми кружками. В целом в сети двадцать девять из тридцати четырех человек имеют друзей, которые пользуются большей популярностью, чем они сами [5]. Далее вы увидите, что если сделать ряд других допущений, то друзья большинства людей в среднем будут также более красивыми, добрыми, богатыми и умными, чем они сами.



**Рис. 2.1.** Парадокс дружбы: у друзей человека больше друзей, чем у него самого

И последнее, самое важное: логика раскрывает обусловленность истины. Политик может утверждать, что снижение налогов увеличивает налоговые поступления в государственный бюджет, стимулируя экономический рост. Простейшая модель, в которой доход исчисляется как произведение

налоговой ставки на уровень дохода, доказывает, что объем налоговых поступлений увеличивается только в случае, если процентный рост дохода превышает процентное сокращение налогов [6]. Следовательно, 10-процентное снижение подоходного налога увеличит объем налоговых поступлений только тогда, когда приведет к повышению уровня доходов более чем на 10 процентов. Логические рассуждения политика верны лишь при некоторых условиях, которые позволяют определить модели.

Сила обусловленности становится очевидной при сопоставлении утверждений, полученных с помощью моделей, и описательных утверждений, пусть и имеющих эмпирическое обоснование. Рассмотрим управленческую поговорку «*в первую очередь самое важное*», смысл которой сводится к тому, что при наличии множества задач прежде всего нужно решать самую важную. Это правило также известно как «*сначала крупные камни*», поскольку, складывая в ведро камни разных размеров, сначала вы должны уложить большие камни, потому что если первыми сложить мелкие камни, то крупные могут не поместиться.

Правило «*сначала крупные камни*», выведенное на основе экспертных наблюдений, может быть верным в большинстве случаев, но оно не безусловно. Подход, основанный на применении моделей, вывел бы оптимальное правило, исходя из конкретных предположений о задаче. В задаче об упаковке в контейнеры множество предметов разных размеров (или с разным весом) необходимо уложить в контейнеры определенного объема, используя при этом как можно меньше контейнеров. Представьте, что вы упаковываете вещи из своей квартиры и складываете их в коробки размером примерно 60×60 сантиметров. Упорядочить вещи по размеру и положить каждую из них в первую коробку с достаточным объемом (метод, известный как *алгоритм первого подходящего*) — весьма эффективный подход. И правило «сначала крупные камни» здесь вполне применимо. Однако предположим, что мы рассматриваем более сложную задачу: выделить место на Международной космической станции для исследовательских проектов. У каждого проекта есть вес полезного груза, размер и требования к системе электропитания наряду с требованиями ко времени и когнитивным способностям астронавтов. Кроме того, каждый исследовательский проект вносит определенный научный вклад. Даже если бы мы установили какой-либо показатель значимости как взвешенное среднее всех этих характеристик, правило «сначала крупные камни» не сработало бы, учитывая размерность взаимозависимостей. В данном случае

гораздо лучше работали бы более сложные алгоритмы и, возможно, рыночные механизмы [7]. Таким образом, при одних условиях правило «сначала крупные камни» эффективно, тогда как при других нет. Применение моделей позволяет выяснить, когда целесообразно сначала складывать крупные камни, а когда нет.

Критики формального подхода заявляют, что модели просто переформатируют то, что нам уже известно, что они наливают старое вино в сверкающие математические бутылки, что нам не нужна модель для понимания того, что две головы лучше одной и что промедление смерти подобно. Мы можем осознать ценность самоотверженности, прочитав историю о том, как Одиссей привязал себя к мачте корабля. Такая критика не признает того факта, что выводы, сделанные с помощью моделей, принимают условную форму: если условие  $A$  выполняется, то наступает следствие  $B$  (например, если вы складываете что-то в контейнеры и размер — единственное ограничение, укладывайте сначала самые крупные предметы). Уроки, почерпнутые из литературы, или общеизвестные советы великих мыслителей во многих случаях не содержат никаких условий. Пытаясь жить или управлять другими людьми согласно безусловным правилам, мы потеряемся в море *противоположных поговорок*. Действительно ли две головы лучше одной? Или у семи нянек дитя без глазу?

### Поговорка

### Противоположная поговорка

Одна голова — хорошо, а две лучше

У семи нянек дитя без глазу

Промедление смерти подобно

Семь раз отмерь, один раз отрежь

Привяжи себя к мачте

Не загоняй себя в угол

Лучшее — враг хорошего

Делай работу хорошо или не делай ее вовсе

Дела говорят громче слов

Перо сильнее меча

Противоположных поговорок множество, а вот противоположных теорем не бывает. С помощью моделей мы делаем предположения и доказываем теоремы. Две теоремы, которые расходятся в отношении оптимальных действий, дают разные прогнозы или предлагают несовпадающие объяснения, скорее всего, исходят из разных предположений.



## REDCAPE: ОБЪЯСНЕНИЕ

42 Модели дают четкое логическое объяснение эмпирических явлений. Экономические модели объясняют динамику цен и рыночной доли. Физические — скорость падающих предметов и форму траекторий. Биологические — распределение видов. Эпидемиологические — скорость и характер распространения заболеваний. Геофизические — распределение очагов землетрясений по размерам.

Модели способны объяснить выраженные в пунктах показатели и изменение их значений. В частности, модель может объяснить нынешнюю цену фьючерсов на свиную грудинку и причины роста цен на нее за последние шесть месяцев. Модель может также объяснить, почему президент назначает на должность судьи Верховного суда человека с умеренными взглядами и почему тот или иной кандидат склоняется в сторону левых или правых. Кроме того, модели объясняют форму: модели распространения идей, технологий и болезней дают S-образную кривую принятия (или распространения).

Модели, которые мы изучаем в рамках курса физики, такие как закон Бойля-Мариотта (модель, которая гласит, что произведение давления газа на его объем есть величина постоянная  $PV = k$ ), объясняют различные явления непостижимо хорошо [8]. Зная начальные объем и давление, мы можем вычислить постоянную  $k$ , а затем объяснить или спрогнозировать давление  $P$  как функцию  $V$  и  $k$ :  $P = k/V$ . Точность модели обусловлена тем фактом, что газы состоят из огромного количества простых частиц, которые следуют фиксированным правилам: любые две молекулы газа, помещенные в идентичную среду, подчиняются одним и тем же физическим законам. Таких молекул настолько много, что статистическое усреднение исключает любую случайность. Большинству социальных явлений не свойственна ни одна из этих характеристик: социальные агенты неоднородны, взаимодействуют в небольших группах и не подчиняются твердым правилам. К тому же люди умеют думать. Более того, они попадают под влияние социальной среды, а значит, вариации их поведения могут не быть взаимно скомпенсированы. По этой причине социальные явления гораздо менее предсказуемы, чем физические [9].

Наиболее эффективные модели объясняют как очевидные, так и неожиданные результаты. Классические модели рынков могут объяснить, почему непредвиденное повышение спроса на обычный товар, такой как обувь или картофельные чипсы, приводит к росту цен в краткосрочной перспективе — это интуитивно понятный результат. Эти же модели объясняют, почему

увеличение спроса в долгосрочной перспективе меньше сказывается на ценах, чем предельные издержки производства товара. Увеличение спроса может даже привести к снижению цен вследствие повышения рентабельности за счет роста масштабов производства — более неожиданный результат. Те же модели могут объяснить парадоксы, например, почему алмазы, не представляющие большой практической ценности, настолько дороги, а вода, столь необходимая для выживания, такая дешевая.

Что касается утверждения, что модели могут объяснить все что угодно, то это правда, так и есть. Вместе с тем объяснение, полученное на основе модели, включает исходные предположения и четко обозначенные причинно-следственные связи, которые могут быть преобразованы в данные. Модель, гласящая, что высокий уровень преступного поведения можно объяснить низкой вероятностью разоблачения, поддается проверке.

#### REDCAPE: РАЗРАБОТКА

Модели облегчают процесс разработки, обеспечивая концептуальные схемы, в рамках которых можно проанализировать последствия сделанного выбора. Инженеры используют модели для проектирования цепей поставок. Программисты — для разработки интернет-протоколов. Социологи — для создания институтов.

В июле 1993 года группа экономистов собралась в Калифорнийском технологическом институте в Пасадене для подготовки аукциона по распределению радиочастот для мобильной связи. В прошлом правительство предоставляло право на использование радиочастотного спектра крупным компаниям за умеренную плату. Всеобщий закон об урегулировании бюджетных противоречий 1993 года включал положение, разрешавшее проводить такие аукционы с целью сбора средств.

Учитывая, что радиосигнал с вышки охватывает определенную территорию, правительство намеревалось продавать лицензии по конкретным регионам: Западная Оклахома, Северная Калифорния, Массачусетс, Восточный Техас и так далее. Это вызвало вопросы к формату проведения аукциона. Стоимость любой лицензии для компании зависела от других полученных ею лицензий. Например, лицензия на частоты в Южной Калифорнии обошлась бы компании, имеющей лицензию на частоты в Северной Калифорнии, дороже. Экономисты называют такие взаимозависимые оценки *экстерналиями*, или *внешними эффектами*. В данном примере у экстерналий были две

основные причины: строительство и реклама. Владение лицензиями на частоты в соседних регионах означало снижение затрат на строительство и возможность использования перекрывающихся медиарынков.

Экстерналии создавали проблему с проведением одновременных аукционов. Компания, пытающаяся получить пакет лицензий, могла проиграть одну лицензию другому участнику аукциона, соответственно, утратить экстерналии и в результате отказаться от своих заявок на другие лицензии. У последовательных аукционов был другой недостаток. На первых аукционах участники торгов могли предлагать заниженную цену, чтобы застраховаться от потери лицензий на следующих аукционах.

Предполагалось, что эффективный формат проведения аукциона должен обеспечивать выгодный результат, быть защищенным от стратегических манипуляций и понятен участникам торгов. Экономисты использовали модели теории игр, чтобы определить, могут ли стратегически действующие участники торгов использовать свойства аукциона в своих интересах, модели компьютерной симуляции для сравнения эффективности различных форматов аукциона и статистические модели для выбора параметров экспериментов с реальными людьми. Окончательный формат (многоаундовый аукцион, который позволял его участникам отзываться заявки и запрещал пропускать первые этапы, чтобы скрыть свои намерения) оказался успешным. На протяжении последних тридцати лет Федеральная комиссия по средствам связи собрала на аукционах такого типа почти 60 миллиардов долларов [10].

#### REDCAPE: КОММУНИКАЦИЯ

Создавая общее представление, модели улучшают коммуникацию. Модели требуют формального описания соответствующих характеристик и их взаимосвязей, что обеспечивает точную передачу информации. Модель  $F = ma$  соотносит три измеримые величины — силу ( $F$ ), массу ( $m$ ) и ускорение ( $a$ ), делая это в форме уравнения, каждый член которого выражен в измеримых единицах, информацию о которых можно распространять, не опасаясь ошибочного толкования. Напротив, утверждение, что «более крупные, быстрые объекты генерируют больше мощности», обеспечивает гораздо более низкую степень точности. Многое теряется при переводе. Более крупный означает вес или размер? Более быстрый — имеется в виду скорость или ускорение? Мощность — это энергия или сила? И как соединяется более крупное и быстрое, чтобы генерировать мощность? Попытки формализовать это утверждение

могут привести к получению ряда формул; при этом мощность может быть некорректно описана как вес плюс скорость ( $P = w + v$ ), как вес умножить на скорость ( $P = wv$ ) или как вес плюс ускорение ( $P = w + a$ ).

При формальном описании абстрактных концепций (таких как политическая идеология) с помощью воспроизводимой методики они приобретают некоторые свойства, аналогичные физическим параметрам, таким как масса и ускорение. Мы можем использовать ту или иную модель, чтобы сказать, что один политик более либерален, чем другой, на основании их голосования. Затем можем точно сформулировать и распространить это утверждение. Либеральность хорошо поддается определению и количественному измерению. Кто-то может применить аналогичный метод для сравнения других политиков. Безусловно, данные о результатах голосования не единственный показатель либеральности. Мы можем сконструировать еще одну модель, определяющую идеологию на основе текстового анализа речей. В комбинации с первой она позволит четко обозначить, что мы имеем в виду, говоря о более либеральных взглядах.

Многие недооценивают влияния коммуникации на прогресс. Идея, которую нельзя распространить, подобна упавшему дереву в лесу, где этого никто не заметит. Поразительный экономический рост в эпоху Просвещения был в значительной мере обусловлен возможностью передачи знаний, нередко в форме моделей. Фактически данные указывают на то, что возможность передачи идей скорее объяснялась экономическим ростом, чем уровнем образования: развитие городов во Франции XVIII столетия в большей степени соотносится с количеством подписок на «Энциклопедию» Дидро, чем с уровнем грамотности [11].

## REDCAPE: ДЕЙСТВИЕ

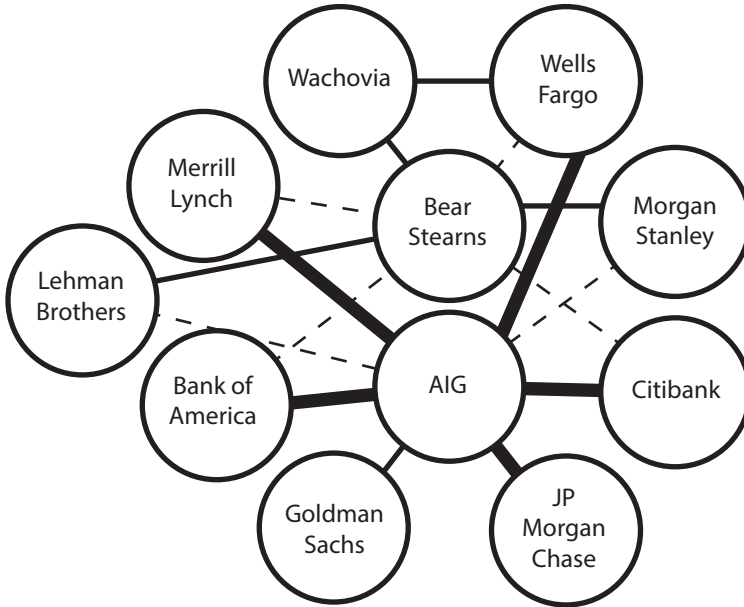
Фрэнсис Бэкон писал: «Величайший итог жизни — не знание, а действие». Эффективные действия требуют эффективных моделей. Все правительства, корпорации и некоммерческие организации используют модели в качестве руководства к действию. Будь то повышение или снижение цен, открытие нового магазина, поглощение компании, обеспечение всеобщего доступа к медицинскому обслуживанию или финансирование программы внеклассного обучения — во всех этих случаях лица, принимающие решения, полагаются на модели. Для самых важных действий ответственные за принятие решений используют модели высокой сложности. Модели связаны с данными.

В 2008 году в рамках программы по спасению проблемных активов (Troubled Asset Relief Program, TARP) Федеральная резервная система США выделила 182 миллиарда долларов финансовой помощи на спасение транснациональной страховой компании American International Group (AIG) от банкротства. По данным министерства финансов США, правительство предпочло стабилизировать ситуацию в AIG, «поскольку ее банкротство во время финансового кризиса имело бы катастрофические последствия для нашей финансовой системы и экономики» [12]. Целью этой финансовой помощи было не спасение компании AIG как таковой, а поддержка финансовой системы в целом. В конце концов, компании терпят крах каждый день, но правительство не вмешивается [13].

Конкретные решения, принятые в рамках программы TARP, основывались на моделях. На рис. 2.2 представлен один из вариантов сетевой модели, разработанной Международным валютным фондом. Вершины графа (кружки) представляют финансовые учреждения. Ребра графа (линии между кружками) отражают корреляцию между стоимостью активов этих учреждений. Цвет и ширина ребра соответствуют степени корреляции между учреждениями: более темные и широкие линии означают более высокую степень корреляции [14].

Компания AIG занимает центральное место в этой сети, поскольку предоставляла услуги страхования другим компаниям и обязывалась им заплатить в случае, если их активы потеряют стоимость. Из-за падения курса акций AIG была бы должна этим компаниям деньги. Следовательно, ее банкротство повлекло бы за собой и банкротство связанных с ней компаний, что могло привести к каскаду банкротств. Стабилизация положения AIG позволила правительству поддержать рыночную стоимость активов других компаний, входящих в сеть [15].

Рис. 2.2 также помогает объяснить, почему правительство допустило банкротство Lehman Brothers. Lehman Brothers не занимала центрального места в сети. Повернуть историю вспять невозможно, поэтому нам не дано знать, предприняла ли Федеральная резервная система правильные действия. Однако мы знаем, что банкротство Lehman Brothers не привело к коллапсу всей финансовой отрасли. Нам также известно, что правительство заработало 23 миллиарда долларов прибыли на займе компании AIG. Следовательно, мы можем сделать вывод, что выбор политики (основанный на многомодельном мышлении) не был провальным.



**Рис. 2.2.** Граф корреляций между финансовыми учреждениями

Модели, выступающие в качестве руководства к действию (такие как модели политики), часто полагаются на данные, но это касается не всех моделей. В большинстве моделей политики также используется математика, хотя так было не всегда. В прошлом политические деятели создавали и физические модели. Гидравлическая модель британской экономики Филлипса использовалась для анализа политических альтернатив в середине XX века, а физическая модель залива Сан-Франциско сыграла ключевую роль в решении об отказе от строительства в нем дамбы для создания резервуара пресной воды [16]. Модель экспериментальной станции водных путей площадью около 80 гектаров в бассейне реки Миссисипи возле города Клинтон — миниатюрная копия бассейна реки, построенная в горизонтальном масштабе 1:100. Эта модель позволяет проверить воздействие строительства новых плотин и резервуаров на территорию вверх и вниз по течению реки. В пределах этой физической системы сбрасываемая вода подчиняется физическим законам. В таких физических моделях объекты сами по себе являются аналогами объектов реального мира. Подобные модели логичны, поскольку подчиняются законам физики.

Во всех представленных примерах речь шла об организациях, использующих модели в качестве руководства к действию. Но люди могут делать

то же самое. При принятии важных решений в личной жизни мы тоже должны применять модели. В ходе размышлений о покупке дома, переходе на новую работу, поступлении в магистратуру, покупке или аренде автомобиля мы можем использовать модели как основу. И хотя эти модели будут скорее качественными, чем опирающимися на данные, они все равно заставят нас задавать правильные вопросы.

#### REDCAPE: ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

Модели давно используются для прогнозирования. Метеорологи, консультанты, гандикаперы и руководители центральных банков составляют с их помощью прогнозы. Полиция и спецслужбы используют их для прогнозирования преступного поведения. Эпидемиологи — для прогнозирования того, какой штамм гриппа получит самое широкое распространение в предстоящем эпидемическом сезоне. Поскольку данные стали доступнее и детализированнее, эта область применения моделей расширилась. Ленты в Twitter и инструменты поиска в интернете применяются для прогнозирования предпочтений потребителей и социальных волнений.

Модели позволяют прогнозировать как отдельные события, так и общие тенденции. Первого июня 2009 года самолет авиакомпании Air France, выполнявший рейс AF447 по маршруту Рио-де-Жанейро — Париж, потерпел крушение над Атлантическим океаном. В следующие нескольких дней после катастрофы спасатели находили плавающие обломки авиалайнера, но не смогли обнаружить фюзеляж. В июле аккумуляторы акустических маяков самолета разрядились, и поиски были прекращены. Проведенная год спустя вторая поисковая операция, организованная Океанографическим институтом Вудс-Хоул с участием кораблей ВМФ США, оборудованных гидролокаторами бокового обзора, а также автономных глубоководных аппаратов, тоже не дала результатов. В итоге французское бюро по расследованию и анализу безопасности гражданской авиации обратилось к моделям. Специалисты бюро применили вероятностные модели для анализа океанических течений и обнаружили небольшую прямоугольную область, где с наибольшей вероятностью мог находиться фюзеляж. С помощью прогноза, составленного на основании этой модели, поисковые команды в течение недели нашли обломки самолета [17].

В прошлом объяснение и прогнозирование, как правило, были тесно связаны. Электротехнические модели, которые объясняют картину распределения

напряжения, также могут прогнозировать напряжение. Пространственные модели, объясняющие результаты прошлых голосований, позволяют прогнозировать результаты будущих голосований. В, пожалуй, самом знаменитом примере использования объяснительной модели для прогнозирования французский математик Урбен Леверье применил законы Ньютона, объясняющие движение планет, для анализа отклонений орбиты Урана. И пришел к выводу, что орбиты планет указывают на присутствие большой планеты во внешней области Солнечной системы. Леверье отправил свой прогноз в Берлинскую обсерваторию 18 сентября 1846 года, а через пять дней астрономы обнаружили планету Нептун именно там, где и предсказывал математик.

Вместе с тем прогнозирование отличается от объяснения. Модель может прогнозировать, но не объяснять. Алгоритмы глубокого обучения позволяют прогнозировать продажи продуктов, погоду на завтра, тенденции изменения цен и некоторые показатели состояния здоровья, но мало что предлагают в плане объяснения. Такие модели напоминают собак, вынюхивающих бомбы. Хотя обонятельная система собаки способна определить, есть ли взрывчатые вещества в пакете, не стоит искать объяснений у собаки, почему бомба там оказалась, как она работает и как ее обезвредить.

Обратите также внимание, что другие модели, наоборот, могут давать объяснения, но не представлять особой ценности с точки зрения прогнозирования. Модели тектоники плит объясняют, как возникают землетрясения, но не предсказывают, когда они произойдут. Модели динамических систем объясняют возникновение ураганов, но не позволяют успешно прогнозировать, когда сформируется ураган и каким будет его траектория движения. А экологические модели, хотя и могут объяснить закономерности видообразования, не способны прогнозировать появление новых видов [18].

#### REDCAPE: ИССЛЕДОВАНИЕ

И наконец, модели можно использовать для проверки интуитивных выводов и возможностей. Такие исследования могут быть связаны с курсом действий: а что если сделать все городские автобусы бесплатными? Что если позволить студентам выбирать, от каких заданий будет зависеть их итоговая оценка за курс обучения? Что если установить на газонах таблички с указанием их энергопотребления? Каждое из этих гипотетических предположений можно проанализировать с помощью моделей. Кроме того, модели будут полезны при изучении нереальной среды. Что если бы Ламарк



был прав и приобретенные признаки могли передаваться потомству, чтобы детям родителей, прошедших ортодонтическую коррекцию зубов, не нужны были брекеты? Как был бы устроен такой мир? Постановка этого вопроса и анализ вытекающих из него следствий позволяет определить границы эволюционных процессов. Устранение ограничений реальности может стимулировать креативность. По этой причине сторонники движения критического дизайна прибегают к умозрительным построениям для генерации новых идей [19].

Иногда исследование сводится к сопоставлению распространенных допущений в разных областях. Для того чтобы понять сетевой эффект, специалист по моделированию может сформировать совокупность условных сетевых структур, а затем выяснить, влияет ли сетевая структура на кооперацию, распространение болезней или социальные волнения, и если да, то каким образом. Кроме того, он может применить совокупность моделей обучения к процессу принятия решений и играм с двумя или несколькими участниками. Цель таких действий не в объяснении, прогнозировании или разработке, а в изучении и обучении.

Применять ту или иную модель на практике можно любым из нескольких способов. Одна и та же модель может объяснять, прогнозировать и выступать в качестве руководства к действию. Рассмотрим следующий пример: 14 августа 2003 года обвисшие ветви склонившихся над линиями электропередач возле Толедо (штат Огайо) деревьев стали причиной локального прекращения подачи электроэнергии, которое распространилось, когда из-за сбоя программного обеспечения техники не смогли передать предупреждение о необходимости перераспределения электроэнергии. В тот день более 50 миллионов жителей северо-восточных районов США и Канады остались без электричества. В том же году буря вывела из строя линию электропередач между Италией и Швейцарией, оставив без электричества 60 миллионов европейцев. Инженеры и ученые обратились к моделям, в которых энергосистема представлена как сеть. И эти модели помогли объяснить, как происходили сбои, позволили составить прогнозы, в каких регионах сбои наиболее вероятны, и стали руководством к действию, определив места, где новые линии электропередач, трансформаторы и электростанции могли повысить надежность электросети. Использование одной модели для множества целей станет лейтмотивом этой книги. Как мы увидим далее, этот принцип дополняет ее основную тему: использование множества моделей для осмысления сложных явлений.



СКОТТ ПЕЙДЖ

# МОДЕЛЬНОЕ МЫШЛЕНИЕ

КАК АНАЛИЗИРОВАТЬ СЛОЖНЫЕ  
ЯВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ  
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ