

ПРОБЛЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

О.И. Ларичев

Олег Иванович Ларичев, академик, доктор технических наук, заведующий отделом Института системного анализа РАН. Руководитель проектов 96-15-96155, 98-01-00086.

Введение

Принимаемые людьми решения предопределяют и жизнь отдельного человека, и судьбы человеческих цивилизаций.

Жизнь великих полководцев, императоров, царей, ханов предстает в учебниках истории как последовательность успешных или ошибочных решений. Например, судьба России в XXв. во многом определилась неудачными решениями о начале войны с Японией (1905) и о вступлении в первую мировую войну.

Главная трудность в принятии решения — выбор лучшего варианта, лучшей альтернативы, который обычно происходит в условиях неопределенности. Можно строить правдоподобные догадки о будущем, но нельзя точно знать, к чему приведет выбор того или иного варианта. Кроме того, каждый из вариантов решений имеет, как правило, свои привлекательные стороны. Сравнение достоинств и недостатков различных вариантов, их оценок по разным критериям — всегда сложная задача для лица, принимающего решения (ЛПР). Итак, неопределенность и многокритериальность — основные трудности при выборе решений. Можно ли помочь человеку, ЛПР, в преодолении этих трудностей? Могут ли научные методы и компьютерные системы повысить шансы выбора человеком удачных вариантов решений?

Экономико-математический подход к задачам принятия решений

Хотя задачи принятия решений стары как мир, их научное изучение началось лишь в XXв. Первыми за них взялись экономисты. Задача выбора — одна из центральных в экономике [1]. Два основных действующих лица — покупатель и производитель — постоянно вовлечены в процессы выбора. Потребитель решает, что покупать и за какую цену. Производитель решает, во что вкладывать капитал, какие изделия следует производить и продавать.

Одним из оснований экономической теории служит положение о рациональности человеческого выбора. Говоря о рациональном выборе, предполагают, что решение человека — это результат упорядоченного процесса мышления. Понятие «упорядоченный» определяется экономистами в строгой математической форме. Вводится ряд формальных утверждений о поведении человека, которые называются аксиомами рационального поведения [1].

В предположении, что эти аксиомы справедливы, доказывают теорему о существовании функции полезности. Полезностью называют величину, которую в процессе выбора личность с рациональным экономическим мышлением максимизирует. Можно сказать, что полезность — это воображаемая мера психологической ценности различных благ. Человек как бы взвешивает на некоторых «внутренних весах» различные альтернативы и выбирает ту из них, полезность которой больше.

Задачи принятия решений с оценкой полезностей и вероятностей событий были первыми из привлечших внимание исследователей. Постановка таких задач обычно заключается в следующем. ЛПР принимает какие-то решения в мире, где на их результат (исход) влияют случайные события, неподвластные человеку. Однако, зная вероятности этих событий, ЛПР может определить аналитическим путем наиболее выгодный вариант [2]. Отметим, что при данной постановке задачи, варианты обычно не оцениваются по многим критериям, т.е. используется более простое их описание.

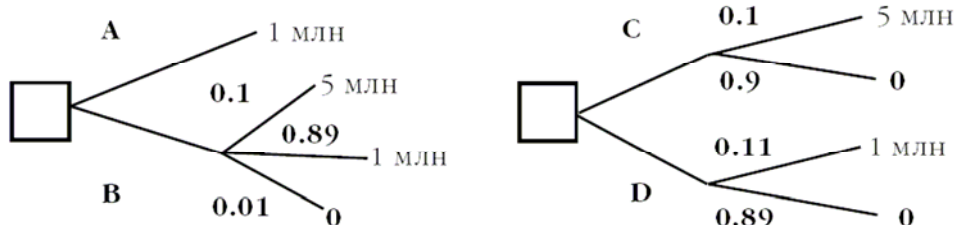
Первоначально вероятности событий рассматривались как объективно существующие. Затем была разработана *теория полезности* при субъективных, определяемых людьми вероятностях — теория субъективной ожидаемой полезности. Люди оценивали вероятность того, как некие события повлияют на результат (выбранную альтернативу).

Применение теории полезности позволило выяснить, что люди часто во все не следуют ее рекомендациям, ведут себя «нерационально» (по отношению к приведенному выше определению рациональности). Повторяющиеся отклонения от «рационального» поведения стали называть парадоксами. Одним из первых широко известных парадоксов является парадокс Алле: люди устойчиво совершают два противоречивых выбора.

Рассмотрим один из парадоксов, который представлен лотереями с двумя возможными выигрышами и вероятностями их получения.

Обозначим: полезность $U(5 \text{ млн.})=1$; $U(1 \text{ млн.})=U$; $U(0)=0$.

В левой лотерее есть выбор между действиями А (получить выигрыш в 1 млн.) и В (согласиться на лотерею, где с указанными на ветвях вероятностями человек получает выигрыши в 5 млн., 1 млн. и ничего). Подавляющее большинство людей выбирает действие А. Из этого следует:



$U > 0, 1 \cdot 1 + 0, 89 \cdot U$; или $U > 10/11$.

В правой лотерее есть выбор между действиями С и D (две лотереи). Подавляющее большинство людей предпочитает действие С (почти та же вероятность проиграть, но выигрыш больше). Тогда:

$1 \cdot 0,1 > 0,11 \cdot U$, т.е. $U < 10/11$. Совершая такой выбор, люди действуют не в соответствии с предположениями экономической теории.

Исследования психологов, проведенные в последние 30 лет, показали, что человеческое поведение существенно отличается от рационального [3]. Люди используют в своих суждениях эвристики, которые ведут к ошибкам и противоречиям. Так, люди пренебрегают малыми значениями вероятностей, по-разному относятся к выигрышам и потерям и т.д.

К попыткам разработать аксиоматическую теорию, которая учитывала бы особенности человеческого поведения, можно отнести *теорию проспектов* [4]. В ней вместо вероятностей используется функция от вероятностей, построенная специальным способом. Теория проспектов позволяет избежать парадокса Алле и ряда других, однако при ее применении возникают новые парадоксы, означающие систематическое отклонение человеческого поведения от поведения, предписанного теорией.

Следующим шагом в развитии теории полезности была *многокритериальная теория полезности* (МКТП) [5]. Как и классическая теория полезности, МКТП имеет аксиоматическое обоснование. Это означает, что выдвигаются некоторые условия (аксиомы), которым должна удовлетворять функция полезности ЛПР. В случае если условия удовлетворяются, дается математическое доказательство существования функции полезности в том или ином виде (например, в аддитивном — сумма полезностей оценок по отдельным критериям). В МКТП аксиом больше, и проверка выполнения некоторых из них рассматривается как самостоятельная задача.

Таким образом, аксиоматические теории имеют строгое математическое обоснование.

Эвристические методы

Применение аксиоматических методов требует проверки выполнения аксиом. Часто такая проверка оказывается большой самостоятельной задачей. Кроме того, построение функции полезности требует огромных затрат времени лица, принимающего решения, и оправдано лишь при наличии значительного количества альтернатив. Эти обстоятельства послужили стимулом для возникновения большого числа нормативных методов принятия решений, не имеющих теоретического обоснования. Для многих из них общим является использование *метода взвешенных сумм оценок критериев*. Этот простой метод заключается в следующем. Тем или иным способом для каждого из критериев определяется коэффициент важности, а также, в количественном виде, полезность оценок по отдельным критериям. Для каждой альтернативы подсчитывается полезность как сумма произведений коэффициентов важности критериев на полезности оценок альтернативы по критериям.

Примером широко известного эвристического многокритериального метода служит *метод аналитической иерархии* [6]. В этом методе используется попарное сравнение критериев для определения их относительной важности. Результаты сравнения в виде количественных показателей важности заносятся в матрицы, из которых определяются коэффициенты важности критериев. Также попарно сравниваются альтернативы по каждому критерию для определения коэффициентов важности каждой альтернативы по каждому критерию. Далее используется метод взвешенных сумм: коэффициенты важности критериев умножаются на коэффициенты важности оценок альтернатив по критериям и суммируются — так определяется общая полезность альтернативы. Альтернатива с наибольшей полезностью объявляется лучшей.

Недостатки аксиоматических и эвристических подходов к принятию решений

На наш взгляд, центральная проблема в принятии решений — оказание по мощи ЛПР в сложных задачах выбора. Причем эта поддержка должна оказываться не мифическому существу, а именно человеку, с учетом возможностей и ограничений человеческой системы переработки информации. С этой точки зрения оба представленных выше подхода можно подвергнуть основательной критике.

Прежде всего, как в аксиоматических, так и в эвристических методах неявно предполагается, что человек — это точное измерительное устройство, способное давать безошибочную информацию в количественном виде. В аксиоматических методах проверка согласия человека с аксиомами требует от него точных количественных измерений. Например, при использовании МКТП общая функция полезности может иметь различный вид в зависимости от значения суммы важности критериев [5]. Значения важности критериев получают путем сложных операций, выполняемых человеком. При этом из психологических исследований известно, что ошибки человека весьма вероятны, однако никак не оговаривается, при каких возможных ошибках сохраняется тот или иной вид общей функции полезности.

В эвристических методах никак не обоснованы ни преобразования информации, ни вид функции полезности. В крайнем случае, делаются попытки обосновать их никак не проверяемыми утверждениями, что тот или иной метод «удобен» для ЛПР.

При использовании метода не спасают паллиативные подходы, при которых от человека требуется более простая, качественная информация, преобразуемая далее в числа. Так, в методе аналитической иерархии от ЛПР требуется указать в качественном виде, насколько важность одного критерия больше, чем другого («примерно равны», «больше», «намного больше» и т.д.). Этой шкале словарных оценок поставлена в соответствие шкала численных оценок (от 1 до 9), о которой человек не знает. При этом никак не учитывается, что соотношения между словами и числами различны для разных людей, и это подтверждается в экспериментах.

Очень близки к этому методы *теории размытых множеств*. Сами измерения совершаются в качественном виде, но затем, при помощи произвольно заданной функции принадлежности, словам ставятся в соответствие числа. Произвол при совершении подобных преобразований очевиден и неустраним.

Все сделанные выше замечания особенно существенны при анализе широко распространенных на практике слабоструктуризованных [7] проблем, например проблем выбора: стратегии проведения реформ, места расположения промышленного предприятия, лучшего проекта, товара при покупке и т.д.

Вербальный анализ решений

Большинство исследователей в области принятия решений признают глубокие противоречия между требованиями нормативных методов и возможностями человеческой системы переработки информации.

Для преодоления этих противоречий разработан вербальный (порядковый) анализ решений [8, 9]. Методы, основанные на этом подходе, имеют междисциплинарное научное обоснование.

При вербальном анализе к методам принятия решений предъявляются следующие требования:

- естественный язык описания проблемы, используемый ЛПР и его окружением, должен сохраняться на всех этапах ее анализа без каких-либо преобразований в числа;
- способы получения информации от людей должны соответствовать возможностям человеческой системы переработки информации;
- логические операции преобразования словесных переменных (оценок альтернатив по критериям) должны быть математически корректны. Они определяют тот или иной вид решающего правила;
- в методах принятия решений должны быть предусмотрены средства проверки информации на непротиворечивость. Кроме того, необходимы методы поиска противоречий в информации, получаемой от ЛПР, и исключения этих противоречий.

Рассмотрим, как можно построить методы принятия решений, удовлетворяющие этим требованиям.

Корректные измерения. Использование количественных измерений в методах принятия решений было связано с надеждами, что они близки к измерениям в естественных науках. Так, в книге [1] утверждается: «Даже если сегодня полезности выглядят не количественными, история с теорией тепла может повториться и, на этот раз, с неожиданными последствиями». На наш взгляд, принятие решений в неструктуризованных проблемах относится к тем областям человеческой деятельности, где количественные, а тем более объективные, способы измерений не разработаны и вряд ли появятся в будущем. Следовательно, необходимо оценить возможности осуществления надежных качественных измерений.

Обратимся к способам измерения физических переменных, применявшихся до появления количественных измерений. Использовались два отношения: E — отношение эквивалентности и L — отношение превосходства. E и L удовлетворяют следующим условиям: 1) E и L — исключают друг друга; 2) L — транзитивно, т.е. из: A лучше B и B лучше C следует: A лучше C ; 3) для двух предметов A и B : либо A эквивалентно B , либо один из них превосходит другой.

Легко увидеть, что такой способ измерений позволяет сопоставлять предметы по одному из их качеств. Например, измерение температуры: прикладывая ладонь к горячим и холодным

предметам, человек совершает относительные измерения; используя бинарные отношения E и L , определяет, какой из них теплее.

Далее возникла необходимость сопоставлять измерения, сделанные разными людьми и в разное время, а также одним человеком с различными предметами. Это стало возможным, когда люди договорились об общих точках шкалы измерений. Например, при измерении температуры тела они мог ли определить эти точки следующим образом: так горячо, что едва можно приложить ладонь; почти не чувствуется разница в температуре; так холодно, что рука сразу замерзает.

Мы видим, что эти определения не очень точны, но они уже создают основу для договоренности. Используя такие или им подобные определения, мы имеем порядковую (оценки упорядочены) шкалу с дискретными оценками. Измерение сводится к классификации, где предмет относится либо к одной из оценок, либо принадлежит интервалу между оценками.

Ясно, что построенная таким образом порядковая шкала не может иметь много значений, так как они станут плохо различимы для лиц, производящих измерения. Чтобы легче договориться, надо выделить всем понятные, одинаково ощущаемые точки на шкале и подробно объяснить, что они означают. Поэтому на шкалах должны быть детальные словесные формулировки оценок — градаций качества. Такие градации определяются лицами, строившими шкалу (например, их интересуют только очень горячие и очень холодные предметы). Таким образом, оценки на порядковой шкале определяются как потребностями лиц, нуждающихся в тех или иных измерениях (в нашем случае — ЛПР), так и возможностью описания оценок в понятном для всех виде.

Именно подобные шкалы можно использовать для измерения субъективных факторов, таких как престиж организации, научный уровень исполнения работ, привлекательность программы реформ и других, типичных для слабоструктуризованных проблем.

Построение решающего правила, или правила оценки альтернатив. В этом случае необходимо использовать психологически корректные способы выявления предпочтений ЛПР. Если мы проанализируем аксиоматические и эвристические методы, то можно выделить три группы операций по переработке информации: с критериями; с оценками альтернатив по критериям; с альтернативами.

Назовем операцию элементарной, если она не может быть разложена на другие, более простые, относящиеся к объектам той же группы (т.е. к критериям, альтернативам и к оценкам альтернатив по критериям).

Нами проведен анализ данных психологических исследований, относящихся к тому, насколько уверенно и надежно выполняет человек ту или иную операцию по переработке информации. Если такие данные имеются, психологическая корректность того или иного метода может быть охарактеризована через психологическую корректность входящих в него элементарных операций по переработке информации.

Этот подход был применен для оценки операций по переработке информации, чаще всего используемых в методах принятия решений. Как показали результаты психологических исследований, при выполнении этих операций ЛПР допускает много противоречий, использует упрощенные стратегии (на пример, исключает часть критериев). Только несколько операций оказались допустимыми в том смысле, что выполнялись ЛПР с малым числом противоречий и с использованием сложных стратегий [8, 9].

Важно отметить, что почти все допустимые операции имели качественный характер, например: сравнение двух оценок на шкалах двух критериев с ответами ЛПР «лучше», «хуже», «эквивалентно». Другой пример — определение качественных сравнительных вероятностей типа «более (или менее) вероятно».

Причины человеческих ошибок и противоречий заключаются, прежде всего, в ограниченной емкости кратковременной памяти, где и осуществляются основные операции сравнения и выбора. Но, говоря о человеческих ошибках и противоречиях, мы никоим образом не считаем, что человек — «интеллектуальный калека». Наоборот, *человеческая система переработки информации* прекрасно приспособлена к решению большинства задач, с которыми он сталкивался в ходе своего развития. В определенных пределах человек приспособлен и к решению многофакторных задач при небольшом числе факторов. Кроме того, человек обладает набором эвристик, позволяющих ему решать задачи любой сложности, предварительно упрощая их и приспособлявая к своим возможностям. Но есть задачи, которые сложны для человека. В самом факте их существования нет ничего удивительного: человек — биологическое существо, и у него есть свои пределы во всем (человек не может прыгнуть на 10 м в высоту, обходиться без воды 5 сут. и т.д.).

Точно так же ЛПР не может одновременно учитывать много факторов без использования эвристик. А все эвристики обладают следующим свойством: они хороши для большинства случаев, но есть случаи, когда они ведут к логическим ошибкам, противоречиям.

Использование качественной информации и качественных операций по переработке информации позволяет путем логических преобразований получить правила оценки и сравнения альтернатив, т.е. решающие правила. Логические преобразования, необходимые для сравнения альтернатив, имеют строгое математическое обоснование.

Проверка на непротиворечивость и получение объяснений. При передаче информации и ее обработке люди ошибаются. Они ошибаются существенно меньше при использовании описанных выше корректных процедур получения информации, но все равно ошибаются. Следовательно, информацию, получаемую от человека, надо подвергать проверке.

Весьма эффективны замкнутые процедуры, в рамках которых полученная ранее информация проверяется не прямо, а косвенно: процедура опроса строится так, что вопросы дублируются, но дублирование осуществляется неявно, через другие вопросы, логически связанные с первыми.

Приведем простой пример. Пусть мы хотим упорядочить по ценности четыре объекта: А, В, С, D. Парное сравнение каждого объекта с каждым позволяет получить информацию, необходимую для проверки сравнений на непротиворечивость.

В методах вербального анализа решений предусматриваются: проверка получаемой от ЛПР информации на непротиворечивость; предъявление ЛПР противоречивой информации; способы анализа и исключения противоречий.

Практическая ценность вербального анализа решений

Методы вербального анализа решений имеют на практике существенные преимущества перед аксиоматическими и эвристическими. При сравнении с эвристическими методами можно утверждать, что все процедуры получения информации от ЛПР психологически обоснованы. Все преобразования информации имеют математическое обоснование. Учтены известные черты поведения человека в организациях при принятии решений — возможность поэтапной выработки решающего правила. Методы вербального анализа решений «незаметны» для ЛПР: он отвечает компьютеру на ряд вопросов, поставленных на привычном для него языке; он может проверить соответствие рекомендаций своим предпочтениям.

Сравнение аксиоматических методов и методов вербального анализа решений проводилось в лабораторных экспериментах [11] и на реальных задачах [12].

В одном из экспериментов, испытуемые (студенты одного из американских университетов) решали задачу выбора места работы по окончании университета. Каждый испытуемый выбирал одну из пяти фирм, причем каждая фирма характеризовалась оценками по четырем критериям: зарплата, местоположение, характер работы, возможность повышения. По каждо-

му из критериев давалась упорядоченная шкала из трех оценок, расположенных от лучшей к худшей.

Для выбора лучшей для себя фирмы испытуемые применяли три компьютерные системы поддержки принятия решений. Две из них представляли собой различные реализации МКТП. Они отличались способами выявления коэффициентов важности критериев и полезности оценок по критериям, причем испытуемые выполняли количественные измерения. Обе системы давали количественные оценки для каждой фирмы. Третья система была основана на методе ЗАПРОС [8, 9] вербального анализа решений. В этом методе от испытуемых требовались только качественные сравнения оценок по критериям. Метод позволял лишь *частично* упорядочить фирмы по их ценности для испытуемых.

Можно было ожидать, что два метода, основанных на одном подходе — МКТП, дадут близкие результаты. Однако результаты эксперимента показали, что оценки фирм и коэффициенты важности критериев, полученные двумя первыми методами, плохо согласуются между собой. Метод ЗАПРОС в общем случае не давал возможности испытуемым полностью упорядочить по предпочтительности оцениваемые места работы. Но те отношения, которые удалось установить с помощью этого метода, оказались самыми надежными, так как хорошо совпадали с результатами двух методов, основанных на подходе МКТП.

Итак, системы, основанные на МКТП, дали точные количественные, но несовпадающие рекомендации. Люди допускают много неточностей при количественных измерениях, что и приводит к данному результату. Качественные и непротиворечивые сравнения дают надежные результаты.

Сравнение аксиоматического подхода с вербальным анализом решений проводилось тоже на реальных задачах. В двух странах (США и России) решались похожие задачи: выбор трассы газо- или нефтепровода в Арктике. При этом число альтернатив составляло 2—4, критериев 7—10 (стоимость, воздействие на окружающую среду, вероятность аварии и т.д.). Сложность задачи была обусловлена значительной неопределенностью в оценках альтернатив, участием активных групп (местного населения, строительных кампаний и т.д.), заинтересованных в результатах выбора [12].

Сравнение показало, что ЛПР предпочитали вербальный анализ решений. Он позволял быстрее и надежнее проводить анализ, находить новые, более предпочтительные альтернативы.

Заключение

В реальном мире существует множество различных задач принятия решений. Многие нормативные методы предлагались ранее как универсальное средство решения всех задач. Теперь настало время подробных классификаций, как проблем, так и методов.

На наш взгляд, методы вербального анализа решений имеют значительные преимущества по сравнению с другими методами применительно к слабоструктуризованным проблемам, в которых оценки могут быть получены только от людей (ЛПР и экспертов), и решающие правила должны отражать предпочтения лиц, принимающих решения.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Моргеништерн О., Нейман Д.фон. *Теория игр и экономическое поведение*. М., 1970.
- 2 Райфа Г. *Анализ решений*. М., 1977.
- 3 *Judgment under uncertainty: heuristics and biases* / Eds D.Kahneman, P.Slovic, A.Tversky. Cambridge: Univ. Press, 1982.
- 4 Kahneman D., Tversky A. *Prospect theory: an analysis of decisions under risk* // *Econometrica*. 1979. №47. P.263—291.
- 5 Кини Р.Л., Райфа Г. *Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения*. М.: Радио и связь, 1981.
- 6 Саати Т., Кернс К. *Аналитическое планирование. Организация систем*. М.: Радио и связь, 1991.

- 7 Simon H., Newell A. *Heuristic problem solving: the next advance in operations research* // *Operations Research*. 1958. V.6.
- 8 Ларичев О.И., Мошкович Е.М. *Качественные методы принятия решений*. М.: Физмат лит, 1996.
- 9 Larichev O.I., Moshkovich H.M. *Verbal decision analysis for unstructured problems*. Kluwer Academic Publishers. Boston, 1997.
- 10 Карнап Р. *Философские основания физики*. М.: Прогресс, 1971.
- 11 Larichev O.I., Olson D.L., Moshkovich H.M., Mechitov A.I. *Numerical Vs. Cardinal measurements in multiattribute decision making: How exact is exact enough?* // *Organizational behavior and human decision processes*. 1995. V.64. №1. P.9—21.
- 12 Flanders N.E., Brown R.V., Andreeva Y., Larichev O. *Justifying public decisions in Arctic oil and gas development: American and Russian approaches*. P. // *Arctic*. 1998. V.51. №3. P.262—279.

