

Новый способ анализа неструктуризованных проблем: вербальный анализ решений

Ларичев О. И.

1. Типы проблемы принятия решений

В окружающем нас реальном мире существуют принципиально разные проблемы принятия решений.

Эти принципиальные отличия стремились подчеркнуть авторы различных классификаций проблем принятия решений. Так, в известной классификации, предложенной в 1958 г. в статье Г. Саймона и А. Ньюэлла [1], выделяются так называемые хорошо- и слабоструктуризованные проблемы: хорошо структуризованные, или количественно сформулированные, проблемы — те, в которых существенные зависимости выяснены настолько хорошо, что могут быть выражены в числах или символах, получающих в конце концов численные оценки; слабоструктуризованные, или смешанные, проблемы — те, которые содержат как качественные, так и количественные элементы, причем качественные, малоизвестные и неопределенные стороны проблем имеют тенденцию доминировать.

В типичных задачах исследования операций объективно существует реальность, допускающая строгое количественное описание и определяющая существование единственного и очевидного критерия качества. Изучение реальной ситуации может требовать большого труда и времени. Необходимая информация может быть дорогостоящей (например, требуются специальные исследования, чтобы найти значения ряда параметров). Однако, при наличии средств и хорошей квалификации аналитиков имеются все возможности найти адекватное количественное описание проблемы, определить количественные связи между переменными и критерий качества.

Можно сказать, что типичные проблемы исследования операций являются хорошо структуризованными.

По-иному обстоит дело в многокритериальных задачах. В этих задачах к качеству решения предъявляется несколько требований, представленных несколькими критериями оценки качества. Здесь часть информации, необходимой для полного и однозначного определения требований к решению, принципиально отсутствует. Исследователь часто может определить основные переменные, установить связи между ними, то есть, построить модель, адекватно отражающую ситуацию. Но зависимости между критериями вообще не могут быть определены на основе объективной информации, имеющейся в распоряжении исследователя. Такие проблемы являются слабоструктуризованными: здесь недостаток объективной информации принципиально неустраним на момент принятия решения.

Более того, существуют проблемы, в которых известен только перечень основных параметров, имеющих, как правило, качественный характер. Количественные связи между параметрами определить нельзя, так как нет необходимой информации. Иногда ясно лишь, что изменение параметра в определенных пределах сказывается на решении. В таких случаях структура, понимаемая как совокупность связей между параметрами, не определена, и проблема называется неструктуризованной.

Типичными неструктуризованными проблемами являются проблемы выбора стратегии развития организации, выбора месторасположения предприятия, стратегии проведения реформ и многие другие проблемы выбора. К ним относятся также многие личные проблемы выбора: выбор профессии, выбор места работы и т.д. Слабоструктуризованные и неструктуризованные проблемы исследуются в рамках научного направления, называемого принятием решений при многих критериях.

Какие же методы используются для помощи людям в принятии решений?

2. Существующие методы и их критика

Задача выбора является одной из центральных в экономике. Два основных действующих

лица в экономике — 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 является положение о рациональности человеческого выбора. Говоря о рациональном выборе, предполагают, что решение либо действие человека являются результатом упорядоченного процесса мышления. Понятие «упорядоченный» определяется экономистами в строгой математической форме. Вводится ряд предположений о поведении человека, которые называются аксиомами рационального поведения. Впервые такие аксиомы приведены в книге [2]. При предположении, что эти аксиомы справедливы, доказывается теорема о существовании функции, полезности. Полезностью называют величину, которую в процессе выбора максимизирует личность с рациональным экономическим мышлением. Можно сказать, что полезность — это воображаемая мера психологической ценности различных благ.

Человек как бы взвешивает на некоторых «внутренних весах» различные альтернативы и выбирает из них ту, полезность которой больше.

Задачи принятия решений с оценкой полезностей и вероятностей событий были первыми, которые привлекли внимание исследователей. Постановка таких задач обычно заключается в следующем. ЛПП принимает какие-то решения в мире, где на результат (исход) решения влияют случайные события, неподвластные человеку. Однако, учитывая вероятности этих событий, ЛПП может определить аналитическим путем, наиболее выгодный вариант решения.

Отметим, что при данной постановке задачи, варианты решений обычно не оцениваются по многим критериям, то есть, 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, что какие-то события повлияют на результат (выбранную альтернативу)

При применении теории полезности выяснилось, что часто люди 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 друг другу выбора [3].

Исследования психологов, проведенные в последние 30 лет, показали, что человеческое поведение существенно отличается от рационального [4]. Люди используют в своих суждениях эвристики, которые ведут к ошибкам и противоречиям.

Попыткой построить аксиоматическую теорию, которая учитывает особенности человеческого поведения, является теория проспектов [5]. В теории проспектов вместо вероятностей используется функция от вероятностей, построенная специальным способом.

Теория проспектов позволяет избежать парадокса Алле и ряда других парадоксов. 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 [6].

Точно так же, как и классическая теория полезности, многокритериальная теория полезности (MAUT) имеет аксиоматическое обоснование. Это означает, что выдвигаются некоторые условия (аксиомы), которым должна удовлетворять функция полезности ЛПП. В случае, если условия удовлетворяются, дается математическое доказательство существования функции полезности ЛПП в том или ином виде. В MAUT аксиом больше, и проверка выполнения некоторых из них рассматривается как самостоятельная задача

Если аксиомы выполнены, то из этого следует строгий вывод о существовании многокритериальной функции полезности в определенном виде (например, в аддитивном — сумма полезностей оценок по отдельным критериям). Таким образом, аксиоматические теории имеют строгое математическое обоснование.

Наряду с аксиоматическими широко распространены эвристические методы, помогающие

людям при принятии решений.

Применение аксиоматических методов требует проверки выполнения аксиом. Часто такая проверка является большой самостоятельной задачей. Кроме того, построение функции полезности требует больших затрат времени лицом, принимающим решение, 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. Тем или иным способом для каждого из критериев определяется число — коэффициент важности или вес. Определяется также полезность оценок по отдельным критериям.

Примером широко известного эвристического многокритериального метода является метод аналитической иерархии [7].

В 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 и коэффициенты важности каждой альтернативы по каждому критерию. Также попарно сравниваются альтернативы по каждому критерию для определения относительной важности каждой из них. 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.

По мере применения аксиоматических и эвристических методов принятия решений стали очевидны их недостатки...

На наш взгляд, центральной проблемой в принятии решений является оказание помощи лицу, принимающему решения, в сложных задачах выбора. Причем эта помощь, 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 является точным измерительным устройством, способным давать безошибочную информацию в количественном виде. В аксиоматических методах проверка согласия человека с аксиомами либо не осуществляется, либо требует от человека точных количественных измерений. Например, при подходе MAUT, общая функция полезности может иметь различный вид в зависимости от значения суммы весов критериев [6]. Значения весов различных критериев получаются путем ряда сложных операций, выполняемых человеком, причем 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. Попытками обоснования являются никак не проверяемые утверждения, что тот или иной метод «применяем», «удобен» для лица, принимающего решения.

Накопившиеся в последние десятилетия факты о поведении людей при переработке информации, а также неудачные попытки применения методов принятия решений привели к ряду паллиативных подходов. Общим для этих подходов является стремление создать для пользователя видимость, что от него требуется лишь более простая, качественная информация.

Так, при подходе аналитической иерархии (см. выше), от человека требуется, например, указать в качественном виде, насколько вес одного критерия больше, чем вес 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, что и подтверждается в экспериментах.

Очень близок к этому подход 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 неустраим. Нет никаких оснований, чтобы полагаться на полученные при этом числа при принятии решений.

Примерами таких проблем являются: выбор стратегии проведения реформ, выбор места расположения промышленного предприятия, выбор лучшего проекта научного исследования, выбор товара при покупке и т. д.

Все сделанные выше замечания особенно существенны при анализе широко распространенных на практике неструктуризованных проблем.

3. Подход вербального анализа решений

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

Попыткой преодоления этих противоречий является подход вербального (порядкового) анализа решений [8, 9]. Методы, основанные на этом подходе, имеют научное обоснование. Это обоснование многодисциплинарное, при этом основными являются психологические критерии.

При подходе вербального анализа решений к методам принятия решений предъявляются следующие требования.

1. Естественный язык описания проблемы, используемый лицом, принимающим решения и его окружением должен сохраняться на всех этапах ее анализа без каких-либо преобразований в числах.
2. Способы получения информации от людей, согласно данным психологических исследований, должны соответствовать возможностям человеческой системы переработки информации.
3. Логические операции преобразования словесных переменных (оценок альтернатив по критериям) должны быть математически корректны. Они определяют тот или иной вид решающего правила.
4. В методах принятия решений должны быть предусмотрены средства проверки информации ЛПР на непротиворечивость получения информации от ЛПР следует помнить о возможности случайных ошибок, об этапах обучения ЛПР. В связи с этим, необходимы процедуры проверки информации на непротиворечивость в ходе ее получения. Кроме того, необходимы методы поиска противоречий в информации ЛПР и исключения этих противоречий. Рассмотрим, как можно построить методы принятия решений, удовлетворяющие этим требованиям.

3.1. Корректные измерения

Использование количественных измерений в методах принятия решений было связано с надеждами, что эти измерения близки к измерениям в естественных науках. Так, в книге [2] утверждается: «Даже если сегодня полезности выглядят неколичественными, 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 они появятся в будущем. Следовательно, необходимо оценить возможности осуществления надежных качественных измерений.

Следуя Р. Карнапу [10], обратимся к способам измерения физических переменных, применявшихся до появления надежных количественных способов измерений. Использовались два отношения: B — отношения эквивалентности и L — отношения превосходства. При этом существуют четыре условия, которым должны удовлетворять E и L :

1. E и L — исключают друг друга;
2. L — транзитивно, то есть из A лучше B и B лучше C , следует A лучше C ;

3. Для двух предметов A и B либо: AEB , либо ALB , либо BLA .

Легко увидеть, что описанная выше схема позволяет производить относительные сопоставления предметов по одному их качеству. Возьмем пример: измерение температуры. Прикладывая ладонь к горячим и холодным предметам, человек также совершал относительные измерения, используя бинарные отношения E и L . Однако следующим этапом была необходимость сопоставлять измерения, сделанные разными людьми и в разное время, а также одним человеком с различными предметами. Это стало возможным тогда, когда люди договорились об общих точках шкалы измерений. Например, при измерении температуры, они могли определить эти точки следующим образом:

1. Так горячо, что едва можно приложить ладонь.
2. Почти не чувствуется разница в температуре (температура тела).
3. Так холодно, что рука сразу замерзает.

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

Сделаем еще два замечания. Ясно, что построенная таким образом порядковая шкала не может иметь много значений, так как они станут плохо различимыми для лиц, производящих измерения. Чтобы легче договориться, надо выделить всем понятные, одинаково ощущаемые точки на этой шкале и подробно объяснить, что они означают. Поэтому, на таких шкалах должны быть детальные словесные формулировки оценок — градаций качества. Кроме того, эти определения (градации качества) выделяют лица, строившие шкалу (например, их интересовали 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 различимостью оценок, возможностью их описания в понятном для всех виде.

Именно такие шкалы можно использовать для измерения субъективных факторов, таких как известные организации, научный задел исполнения работ, новизна фасона одежды и других, типичных для слабоструктуризованных проблем.

3.2. Построение решающего правила

При построении правила оценки альтернатив (решающего правила) необходимо использовать психологически корректные способы выявления предпочтений ЛПР.

Если мы проанализируем аксиоматические и эвристические методы, то можно выделить три группы операций по переработке информации: операции с критериями, операции с оценками альтернатив по критериям, операции с альтернативами.

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

Мы предлагаем следующий подход: необходимо собрать данные психологических исследований, относящихся к тому, насколько уверенно и надежно выполняет человек ту или иную операцию по переработке информации. Если такие данные могут быть собраны, то психологическая корректность того или иного нормативного метода может быть охарактеризована через психологическую корректность входящих в него элементарных операций по переработке информации.

Определим элементарные операции как:

сложные (С),

допустимые (Д),

допустимые при малой размерности (МС), если имеются результаты, показывающие что при небольшом числе объектов (критериев, исходов, альтернатив, многокритериальных оценок) операция выполняется человеком достаточно надежно, но при возрастании их числа она становится сложной;

неопределенные (Н, НС, НД), если недостаточно психологических исследований, относя-

щихся к этим операциям, но, рассуждая по аналогии с уже известными фактами, иногда можно вынести предварительное заключение о допустимости (НД) или сложности (НС) операции. В табл. 1 дано описание трех групп элементарных операций с их оценками.

В работах [11, 12] этот подход был применен для оценки операций по переработке информации, чаще всего используемых в методах принятия решений. Многие из этих операций оказались сложными для человека; как показали результаты психологических исследований, при выполнении этих операций ЛПР допускает много противоречий, использует упрощенные стратегии (например, исключает часть критериев). Только несколько операций оказались допустимыми в том смысле, что выполнялись ЛПР с малым числом противоречий и с использованием сложных стратегий.

Таблица 1

Оценка элементарных операций по переработке информации

Номер операции	Название элементарной операции	Оценка
01	ОПЕРАЦИИ С КРИТЕРИЯМИ	
011	Упорядочение по полезности (ценности)	НД
012	Назначение количественных весов критериев	С
013	Декомпозиция сложного критерия на простые	МР
02	ОПЕРАЦИИ С ОЦЕНКАМИ АЛЬТЕРНАТИВ ПО КРИТЕРИЯМ!	
021	Назначение количественного эквивалента для качественной оценки	НС
022	Определение количественной оценки методом лотерей (построение кривой полезности по критерию)	С
023	Сравнение в качественном виде изменений оценок на шкалах двух критериев	Д
024	Определение количественного эквивалента замещения для пары критериев	НС
025	Определение удовлетворительного значения по одному критерию	НД
03	ОПЕРАЦИИ С АЛЬТЕРНАТИВАМИ	
031	Сравнение двух альтернатив, рассматриваемых как совокупность оценок по критериям и выделение из них лучшей	МР
032	Сравнение двух альтернатив, рассматриваемых как нечто целое, и выделение из них лучшей	НД
033	Нахождение вероятностных оценок альтернатив	С
034	Отнесение альтернатив к классам решений	МР
035	Количественная оценка полезности	С
036	Декомпозиция сложной альтернативы на простые	МР
037	Назначение качественных оценок вероятностей	Д

Важно отметить, что почти все допустимые операции имели качественный характер. Как, например, качественное сравнение двух оценок на шкалах двух критериев с ответами ЛПР «лучше», «хуже», «эквивалентно».

Другой пример — назначение качественных сравнительных вероятностей типа «более вероятно».

В книгах [8, 9] приведены подробные оценки элементарных операций по переработке информации.

Причинами человеческих ошибок и противоречий является, прежде всего, ограниченная емкость кратковременной памяти, в которой осуществляются основные операции сравнения и

выбора [13].

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 человек сталкивался в ходе своего развития. В определенных пределах человек приспособлен и к многофакторным задачам при небольшом числе факторов. Кроме того, человек обладает набором эвристик, позволяющих ему решать задачи любой сложности, предварительно упрощая их и приспособлявая к своим ограниченным возможностям. Но есть задачи, которые сложны для человека. В самом факте существования таких задач нет ничего удивительного. В конце концов, человек — биологическое существо и у него есть свои пределы во всем. Человек не может прыгнуть на 10 метров в высоту, обходиться без воды 5 суток и т. д.

Точно также, человек не может 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, то есть решающее правило. В методах вербального анализа решений предусмотрены способы проверки системы критериев на независимость, также основанные на психологически корректных операциях. В случае выявления зависимости критериев, предлагается изменить вербальное описание проблемы для достижения независимости критериев (см. подробнее в [8, 9]). Логические преобразования, необходимые для сравнения альтернатив, имеют строгое математическое обоснование.

3.3. Проверка на непротиворечивость

Одной из неотъемлемых черт человеческого поведения являются ошибки. При передаче информации, при ее обработке люди ошибаются. Они ошибаются меньше и даже существенно меньше при использовании описанных выше корректных процедур получения информации, но они все равно ошибаются. Следовательно, информацию, получаемую от человека надо подвергать проверке, а не использовать ее бесконтрольно.

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

Приведем простой пример. Пусть мы хотим упорядочить по ценности 4 переменные: А, В, С, D. Парное сравнение каждой переменной с каждой — позволяет получить избыточную информацию, необходимую для проверки на непротиворечивость.

3.4. Обучающие процедуры

Как отмечалось выше, одной из характерных черт человеческого поведения является обучение, которое осуществляется, как правило, методом проб и ошибок. Обучение связано с исследованием многокритериальной задачи, с постепенной выработкой политики ЛПР, его решающего правила. Трудно ожидать, что человек на первых же этапах процесса принятия решений может устойчиво, осмысленно и непротиворечиво определить решающее правило. Мы можем предположить, что у опытного ЛПР (особенно, если он сталкивался раньше с подобной задачей) есть многие элементы решающих правил: перечень критериев (может быть, неполный), сравнительная важность некоторых критериев и оценок. Но обычно все это уточняется в процессе выработки решения. Именно в этом процессе формируются все необходимые компромиссы.

Для того, чтобы существовала возможность проявления человеческой способности к обучению, метод принятия решений должен включать в себя процедуры специального типа, в которых политика ЛПР вырабатывается поэтапно, а не одномоментно. Такие процедуры должны позволять людям ошибаться и исправлять свои ошибки, вырабатывать частичные компромис-

сы и переходить к следующим. Этот процесс должен позволять человеку усомниться в своих решениях и вернуться к началу.

3.5. Получение объяснений

С поведенческой точки зрения, одним из требований к результатам применения любого метода является их объяснимость. Например, при принятии ответственного решения ЛПР хочет знать, почему альтернатива А оказалась лучше чем В и обе они лучше С. Это требование является вполне обоснованным. Этапы измерений и получения информации от ЛПР и этап представления конечных результатов разделены этапом логических преобразований информации. Поэтому, ЛПР хочет убедиться, что именно его предпочтения (без каких-либо искажений) положены в основу оценки альтернатив. Чтобы удовлетворить этому требованию, метод принятия решений должен обладать «прозрачностью» — он должен позволять находить взаимно однозначное соответствие между информацией, полученной от ЛПР и окончательными оценками альтернатив. Только тогда появляется возможность получения объяснений.

4. Основные черты методов вербального анализа решений

Методы вербального анализа решений [3] учитывают когнитивные и поведенческие аспекты поведения ЛПР.

Во-первых, качественные измерения позволяют получить описание неструктуризованной проблемы, близкое к реальному.

Во-вторых, использование способов построения решающего правила, соответствующих возможностям человеческой системы переработки информации, позволяет обосновать методы с психологической точки зрения.

В-третьих, специальные процедуры проверки информации на непротиворечивость обеспечивают надежность получаемой информации и создают для ЛПР возможности постепенной выработки решающего правила.

В-четвертых, возможность получения объяснений увеличивает шансы методов вербального анализа решений на успешное практическое применение.

В качестве примера одного из методов вербального анализа решений мы дадим далее описание метода ЗАПРОС [14, 15].

5. Метод ЗАПРОС (Замкнутые Процедуры у Опорных Ситуаций)

5.1. Постановка задачи

Пусть заданы критерии оценки качества альтернатив с вербальными оценками на шкалах. Они являются основой построения решающего правила ЛПР.

Предполагается, что реальные альтернативы, которые будут оцениваться по этим критериям, станут известны после построения решающего правила. Предполагается также, что число таких альтернатив может быть достаточно велико и эти альтернативы могут иметь любые оценки по критериям.

Требуется построить правило упорядочения многокритериальных альтернатив на основе предпочтений ЛПР. Формально эта задача может быть представлена следующим образом:

Дано:

1) N критериев оценки качества альтернатив.

2) n_j — число вербальных оценок на порядковой шкале j -го критерия, $j = 1, 2, \dots, N$.

3) $X_j = \{x_j^1, x_j^2, \dots, x_j^{n_j}\}$ — оценки на шкале j -го критерия, упорядоченные от лучшей к худшей.

4) Множество всех возможных векторов: $Y = \{X_1 \otimes X_2 \otimes \dots \otimes X_N\}$, состоящих из оценок вида $y_i = \{x_1^k, x_2^l, \dots, x_N^m\}$. Каждый вектор y_i имеет одну из оценок по шкале каждого из критериев.

Запись $Y = \{X_1 \otimes X_2 \otimes \dots \otimes X_N\}$, определяет N -мерную сетку, каждая точка которой является одним из возможных сочетаний оценок по критериям.

5) Заданные альтернативы из множества $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ имеют оценки, представленные векторами: y_1, y_2, \dots, y_n .

Требуется: на основе предпочтений ЛПР построить правило упорядочения многокритериальных альтернатив (решающее правило) и на основе этого правила упорядочить заданные альтернативы.

5.2. Пример: как оценить проекты?

Пусть группа частных лиц решила организовать фонд для вложения средств в научно-технические проекты прикладного характера. Известно, что подобные фонды существуют во многих странах и что именно наукоемкие проекты могут привести к большим финансовым успехам. Организатор фонда был заинтересован в эффективной системе отбора проектов. Для разработки этой системы был приглашен консультант по принятию решений.

Консультант совместно с организатором фонда (далее будем называть последнего ЛПР) разработал анкету для оценки проектов. В анкете нашла отражение политика ЛПР в виде перечня основных, важных для него критериев оценки проектов со шкалой возможных значений по ним (оценки по каждому критерию расположены от лучших к худшим).

Критерии оценки проектов

А. Степень проверенности замысла:

- 1) созданы единичные изделия;
- 2) разработана технология;
- 3) имеется лишь идея.

Б. Окупаемость проекта:

- 1) менее полугода после начала производства;
- 2) год после начала производства;
- 3) два года и более.

В. Трудности организации производства (при наличии денежных ресурсов):

- 1) малые;
- 2) средние;
- 3) большие.

Г. Наличие спроса на продукт (изделие):

- 1) большой спрос;
- 2) достаточный спрос;
- 3) неопределенный спрос.

Заранее неизвестно, какие проекты поступят в фонд. Но известно, что необходимо отобрать для инвестирования группу лучших проектов, суммарные ресурсные потребности которых не превосходят возможности фонда.

Консультант предложил заранее договориться с группой экспертов об их участии в оценке проектов. Каждый из приглашенных экспертов должен был выбрать для поступившего проекта одну из оценок на шкале каждого из критериев. Еще до поступления проектов необходимо было определить способ расположения проектов по качеству от лучших к худшим. Что такое лучшее — понятие субъективное. Кто-то должен померить качества по разным критериям, сопоставить их между собой. Так как ЛПР отвечает за фонд, его предпочтения должны быть в основе оценки качества проектов. Нужно измерить эти предпочтения и построить решающее правило.

5.3. Выявление предпочтений ЛПР

5.3.1. Единая порядковая шкала для двух критериев

При любой совокупности критериев мы можем предположить, что существует идеальная альтернатива, имеющая лучшие оценки по всем критериям. Будем рассматривать идеальную альтернативу как *опорную ситуацию*, ориентируясь на которую мы будем сравнивать между собой понижения качества вдоль шкал двух критериев.

Покажем, какая информация в данном случае требуется от ЛПР.

Пусть оценки по (N-2) критериям имеют лучшие (первые) значения, а по двум критериям i и j могут изменяться. Переход от лучших оценок к худшим связан с понижением качества. Поставим ЛПР следующий вопрос:

Что Вы предпочитаете:

Альтернатива 1 с оценками $x_1^i x_2^j$

Альтернатива 2 с оценками $x_2^i x_1^j$

Выберите один из возможных ответов:

Альтернатива 1 лучше альтернативы 2.

Альтернативы 1 и 2 равноценны.

Альтернатива 2 предпочтительней альтернативы 1.

После получения ответа ЛПР ставится следующий вопрос в зависимости от полученного ответа. Пусть для ЛПР альтернатива $x_1^i x_2^j$ предпочтительней. Тогда следующий вопрос состоит в сравнении альтернатив $x_2^i x_1^j$ (худшая в первой паре) и $x_1^i x_3^j$ (которая получается из лучшей в первой паре путем понижения второй оценки на одну градацию).

Общее правило таково: худшая альтернатива в первой паре сравнивается с альтернативой, получаемой из лучшей путем понижения на одну градацию худшей оценки.

Нетрудно убедиться, что проведенные сравнения позволяют упорядочить оценки двух шкал и построить объединенную шкалу. Назовем ее единой порядковой шкалой (ЕПШ) двух критериев.

Покажем на приведенном выше примере процедуру построения ЕПШ для двух критериев у опорной ситуации.

Обратимся к списку критериев (см. выше). Представим себе идеальный проект состоящий из лучших оценок по всем критериям. В жизни такое почти не встречается, и мы будем использовать этот образ только как точку отсчета. Отходя от этого идеала будем понижать оценки по двум критериям А (степень проверенности) и Б (окупаемость).

Вопрос.

Что Вы предпочитаете: проект с разработанной технологией и сроком окупаемости в полгода или проект, где уже выпущены единичные изделия, но срок окупаемости — год?

Ответ ЛПР.

Проект, для которого срок окупаемости год, но уже есть единичные изделия.

Вопрос.

Что Вы предпочитаете: проект со сроком окупаемости полгода и с разработанной технологией или проект, где уже имеются единичные изделия, но срок окупаемости — 2 года и более?

Ответ ЛПР.

Проект с разработанной технологией и сроком окупаемости полгода.

Вопрос.

Что Вы предпочитаете: проект, где уже есть единичные изделия, но с большим (2 года и более) сроком окупаемости или проект, где малый срок окупаемости, но есть лишь идея изготовления?

Ответ ЛПР.

Оба варианта плохи, но лучше проект, где есть единичные изделия, хотя и большой срок окупаемости.

На рис. 1 представлены вопросы и ответы, с использованием обозначений критериев (направленная стрелка означает предпочтение).

Первое и второе сравнения показывают, что оценка А2Б1 может быть помещена между оценками А1Б2 и А1Б3. Все оценки, представленные на рис. 1, можно представить располо-

женными на единой шкале, где качество убывает слева направо:

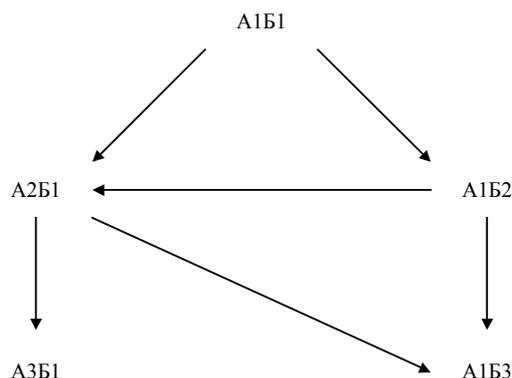


Рис. 1. Сравнения оценок на шкалах двух критериев у первой опорной ситуации

$$\dot{x} A1B1 \Rightarrow A1B2 \Rightarrow A2B1 \Rightarrow A1B3 \Rightarrow A3B1.$$

Эту единую шкалу можно представить в более простом виде, если учесть, что по одному из критериев А и В — лучшая оценка, и что оценки, не указанные рядом с каждой из приведенных на шкале, являются лучшими. Иными словами вместо А1В2 будем указывать лишь В2 как оценку, отличающуюся от лучшей. Тогда построенная порядковая шкала может быть представлена в виде:

$$\dot{x} A1B1B1Г1 \Rightarrow B2 \Rightarrow A2 \Rightarrow B3 \Rightarrow A3.$$

Таким образом, ответы на приведенные выше вопросы позволили объединить в единую шкалу шкалы критериев А и В. Точно также можно объединить шкалы критериев А и В при предположении, что по критериям В и Г будут лучшие оценки и т. д.

Иными словами, берутся все пары критериев (сочетания по два из четырех критериев) при предположении, что два не входящих в пару, имеют лучшие оценки.

Приведем простые правила, определяющие в приведенном примере, как задавать вопросы при объединении двух шкал:

- 1) сравниваются две средние оценки; одна из них становится лучшей, другая худшей;
- 2) худшая при сравнении оценка сопоставляется с нижней оценкой шкалы второго критерия. (На рис. 1 видно, что при сравнении средних оценок В2 является лучшей, а А2-худшей. Следовательно, вторым вопросом А2 сравнивается с В3).
- 3) худшая во втором сравнении оценка сопоставляется с нижней оценкой второго критерия (так, В3 сравнивается с А3 на рис. 1) и т. д.

5.3.2. Проверка условия независимости для двух критериев

Единая порядковая шкала содержит ценную информацию о предпочтениях ЛПР. Однако, использование этой информации возможно при независимости сравнений ЛПР от изменения опорной ситуации.

Определение.

Назовем два критерия независимыми по изменению качества, если ЕПШ, построенная для оценок этих критериев, останется неизменной при любых оценках по другим критериям.

Проверка условия независимости по изменению качества осуществляется следующим образом.

Повторим опрос ЛРП по сравнению оценок на шкалах двух критериев при предположении, что по прочим критериям имеются худшие оценки. При таком опросе предполагается, что первоначально по всем критериям имеются худшие оценки, а затем осуществляются сравнения улучшений по шкалам двух критериев. При этом осуществляется именно проверка путем

сравнения улучшений от худших до ближайших к ним лучших оценок.

В результате получаем часть ЕПШ для этой же пары критериев, построенную уже у второй опорной ситуации.

Если две ЕПШ непротиворечивы, то можно принять, что два критерия независимы по изменению качества.

Каждое сочетание оценок критериев представляет для ЛПР образ определенной альтернативы. Наиболее яркими, «контрастными» для ЛПР являются два образа, соответствующие сочетаниям лучших и худших оценок по всем критериям (*опорные ситуации*).

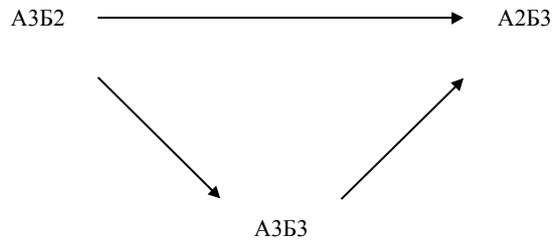


Рис. 2. Сравнения ЛПР у второй опорной ситуации

Можно принять, что условия независимости выполняются, если эти образы не влияют на сравнения, совершаемые ЛПР.

Обратимся опять к нашему примеру. Повторяем сравнения оценок по критериям А и Б при предположении, что по критериям В и Г имеются худшие оценки. Возможный результат таких сравнений представлен на рис. 2.

Нетрудно убедиться, что результаты сравнений можно представить в виде отрезка ЕПШ.

$$\dot{x} B2 \Rightarrow A2 \Rightarrow A3B3B3G3.$$

Критерии А и Б независимы по изменению качества, так как ЕПШ, построенные у двух опорных ситуаций, непротиворечивы.

5.3.3. Независимость по изменению качества для группы критериев

Поиск условий независимости группы критериев от остальных является предметом исследования во многих работах в области принятия решений. Так, например, если пары критериев независимы по предпочтению, то доказан факт независимости любой группы критериев от остальных [6].

В статьях и книгах по принятию решений не встречаются примеры, когда зависимость между несколькими критериями не проявлялась бы в группе из трех критериев.

Мы можем сослаться на мнение известных ученых Д. Фон Винтерфельда и Г. Фишера [16], что групповая зависимость критериев «неопределена по природе и труднообнаружима» в случае, когда все критерии попарно независимы.

Легко увидеть, что введенное выше условие независимости по изменению качества близко к известному условию независимости по предпочтению.

Мы можем сделать следующее утверждение.

Утверждение 1.

В случае, когда все пары критериев независимы по изменению качества, любая группа критериев независима по понижению качества.

Действительно, предложенная выше проверка для всех пар критериев является достаточно полной. При этой проверке рассматриваются все возможные тройки критериев. Трудно предположить о существовании зависимости более сложного характера.

В случаях, когда обнаружена зависимость критериев, рекомендуется изменить описание проблемы для исключения этой зависимости. В книге [8] даны примеры изменения описания проблемы с целью получения независимой системы критериев.

5.3.4. Единая порядковая шкала для оценок всех критериев

В методе ЗАПРОС опрос ЛПР у двух опорных ситуаций осуществляется для всех $0,5N(N-1)$ пар критериев. Непротиворечивые ЕПШ для пар критериев можно объединить. Алгоритм построения общей ЕПШ для оценок всех критериев на основе парных ЕПШ у первой опорной ситуации состоит в следующем. Парные ЕПШ имеют единую начальную точку — сочетание лучших оценок по всем критериям. Совокупность парных ЕПШ с единой начальной точкой может быть представлена в виде графа. Для построения общей ЕПШ может использоваться стандартная процедура, так называемая «разборка» графа. Поместим на общей ЕПШ сочетание всех лучших оценок как начальную точку и удалим ее из графа. Далее определяется недоминируемая оценка на парных ЕПШ. Она помещается на общую ЕПШ, удаляется из графа и т. д. до переноса всех оценок на общую ЕПШ. Так как при построении парных ЕПШ все критериальные оценки сравниваются, то на общей ЕПШ все оценки упорядочены.

Обратимся к приведенному выше примеру. Предположим, что задавая похожие вопросы и проводя такие же сравнения мы построили единые шкалы оценок для всех пар критериев (парные ЕПШ).

$$\begin{aligned} A_1B_1 &\Rightarrow B_2 \Rightarrow A_2 \Rightarrow B_3 \Rightarrow A_3 \\ A_1B_1 &\Rightarrow A_2 \Rightarrow B_2 \Rightarrow A_3 \Rightarrow B_3 \\ A_1\Gamma_1 &\Rightarrow A_2 \Rightarrow \Gamma_2 \Rightarrow A_3 \Rightarrow \Gamma_3 \\ B_1B_1 &\Rightarrow B_2 \Rightarrow V_2 \Rightarrow B_3 \Rightarrow V_3 \\ B_1\Gamma_1 &\Rightarrow B_2 \Rightarrow \Gamma_2 \Rightarrow B_3 \Rightarrow \Gamma_3 \\ V_1\Gamma_1 &\Rightarrow V_2 \Rightarrow \Gamma_2 \Rightarrow V_3 \Rightarrow \Gamma_3 \end{aligned}$$

Рис.3. ЕПШ для всех пар критериев

Используя приведенный выше алгоритм построим ЕПШ для оценок всех критериев:

$$\dot{x} A_1B_1V_1\Gamma_1 \Rightarrow B_2 \Rightarrow A_2 \Rightarrow V_2 \Rightarrow \Gamma_2 \Rightarrow B_3 \Rightarrow A_3 \Rightarrow V_3 \Rightarrow \Gamma_3$$

5.3.5. Проверка информации ЛПР на непротиворечивость

В процессе сравнений ЛПР может делать ошибки. Следовательно, необходимы процедуры проверки информации на непротиворечивость.

В методе ЗАПРОС предусмотрены так называемые *замкнутые процедуры*, позволяющие осуществить такую проверку [8].

В методе ЗАПРОС предлагается строить ЕПШ для всех $0,5(N-1)$ пар критериев. Нетрудно убедиться, что из ЕПШ для 1-го и 2-го критериев и ЕПШ для 2-го и 3-го критериев можно частично упорядочить оценки всех трех критериев. Сравнение 1-го и 3-го критериев позволяет не только построить ЕПШ для трех критериев, но и частично проверить информацию ЛПР на непротиворечивость, так как часть информации дублируется. Нетранзитивность результатов сравнений означает наличие противоречивых ответов ЛПР.

При построении единой ЕПШ для оценок всех критериев информация ЛПР проверяется на непротиворечивость.

Если на каком-то этапе разборки графа нельзя выделить недоминируемую критериальную оценку, то это свидетельствует о противоречии в информации ЛПР. Противоречивые сравнения предъявляются ЛПР для анализа.

Заметим, что с ростом N (усложнением задачи) количество дублирующей информации увеличивается.

Конечно, такая проверка не является исчерпывающей, но она представляется достаточно полной.

Обратимся к приведенному выше примеру. Сравнения оценок для одной пары критериев при построении парной ЕПШ, могут противоречить сравнениям, сделанным при построении ЕПШ для другой пары критериев. Так, предположим, что единая шкала критериев Б и В, вместо представленной на рис. 3 имеет иной вид: $\dot{x} B_1V_1 \Rightarrow V_2 \Rightarrow B_2$.

Тогда при попытке построения единой шкалы всех критериев, мы сталкиваемся с противоречием. Из единой шкалы для критериев А и Б следует, что B_2 предпочтительнее A_2 , из еди-

ной шкалы для критериев А и В — A_2 предпочтительнее B_2 (см. рис. 3). Следовательно,

$$\dot{x} B_2 \Rightarrow A_2 \Rightarrow B_2 \Rightarrow B_2$$

Возникающее противоречие не дает возможности разместить оценки A_2 , B_2 и B_2 на единой шкале. Обычно, такое противоречие является результатом непоследовательности в суждениях. Необходимо разобраться в проведенных сравнениях и изменить противоречивые решения.

Итак, при построении единой шкалы оценок критериев осуществляется проверка предпочтений на непротиворечивость. Возможность соединения нескольких парных шкал в единую шкалу является подтверждением непротиворечивости предпочтений ЛПР.

Вопросы, необходимые для построения общей ЕПШ и составляют весь диалог с ЛПР. Больше информации от ЛПР не требуется. В нашем случае (4 критерия) ЛПР должен ответить на 24 вопроса (если он отвечает непротиворечиво). По опыту использования системы ЗАПРОС известно, что этот диалог занимает 10-15 мин.

5.3.6. Психологическая корректность процедуры выявления предпочтений ЛПР

Процедура выявления предпочтений ЛПР в методе ЗАПРОС является корректной с психологической точки зрения. Ее проверка производилась неоднократно в различных экспериментах [17]. Каждый из испытуемых был поставлен в положение ЛПР, объекты оценивались по нескольким критериям с качественными шкалами. Проверка по группе испытуемых показала, что при 5 критериях они допускали не более 1-2 противоречивых ответа из 34 (для одной опорной ситуации). Данная замкнутая процедура выявления предпочтений и построения единой шкалы оценок критериев неоднократно проверялась в экспериментах и на практике (при работе с ЛПР).

Информация, получаемая от ЛПР, была почти всегда непротиворечива. Так, при опросе разных ЛПР по 4 критериям с 3-5 оценками на шкалах не наблюдалось ни одного нарушения транзитивности. При опросе по 6 и 7 критериям с 3-6 оценками на шкалах наблюдались 1-3 противоречивых ответа из 50-70. Повторный опрос ЛПР позволил сразу же устранить эти противоречия. Можно предположить, что при 3-4 оценках на шкалах критериев небольшое число противоречий сохранится до $N=10$.

5.4. Сравнение альтернатив

5.4.1. Сравнение двух альтернатив

Утверждение 2.

Упорядоченность оценок на парной ЕПШ определяется либо посредством попарных сравнений, производимых ЛПР, либо получается из распространения по транзитивности, следующего из порядковых шкал критериев.

Действительно, в тех случаях, когда оценки не сравнены непосредственно ЛПР их положение на ЕПШ определяется либо:

- а) упорядочением оценок на шкалах критериев, если они принадлежат одной шкале;
- б) транзитивным распространением результатов сравнения ЛПР на основе порядковости шкал критериев.

Обратимся к примеру: ЕПШ для критериев А и Б. Оценки $\dot{x} A_2$ и $\dot{x} B_2$ сравнивались ЛПР. Превосходство оценки $\dot{x} A_2$ над оценкой $\dot{x} B_3$ следует из превосходства $\dot{x} B_2$ над $\dot{x} B_3$ (порядковая шкала).

Утверждение 3.

Упорядоченность оценок на общей ЕПШ следует либо из прямых сравнений ЛПР либо из свойства упорядочения оценок на шкалах критериев.

Доказательство очевидно.

Введем функцию качества альтернативы $V(y_i)$ и сделаем следующие предположения относительно свойств этой функции:

— Существуют максимальное и минимальное значения $V(y_i)$.

— При независимых критериях значение $V(y_i)$ возрастает с улучшением оценок по каждому из критериев.

Присвоим каждой оценке на единой ЕПШ ранг, начиная с лучших оценок. Так, для ЕПШ в приведенном выше примере сочетанию лучших оценок соответствует ранг 1, оценке Б2-ранг 2, оценке А2-ранг 3 и так далее.

Рассмотрим две альтернативы α и β , представленные в виде векторов оценок по критериям. Можно определить ранги для всех компонент векторов α и β .

Упорядочим ранги компонент (оценок по критериям) альтернатив от лучших к худшим. Тогда каждой альтернативе можно поставить в соответствие вектор рангов оценок на ЕПШ, причем качество альтернативы определяется этим вектором:

$$\begin{aligned} V(\alpha) &\Leftrightarrow V(R) = V(r_i, r_j, r_k, \dots, r_l) \\ V(\beta) &\Leftrightarrow V(Q) = V(q_s, q_t, q_u, \dots, q_f) \end{aligned}$$

где: $r_i, r_j, r_k, \dots, r_l$ — ранги оценок на ЕПШ оценок альтернативы α

$q_s, q_t, q_u, \dots, q_f$ — ранги оценок на ЕПШ оценок альтернативы β

Утверждение 4.

Если условие независимости по понижению качества выполнено для всех пар критериев и ранги оценок альтернативы α , следующие из ЕПШ, не хуже чем ранги оценок для β , а ранг хотя бы одной оценки лучше то: альтернатива α в соответствии с предпочтениями ЛПР превосходит альтернативу β и функция качества

$$V(\alpha) \succ V(\beta).$$

Доказательство. При выполнении условия независимости по падению качества:

$$V(R) = V(r_i, r_j, r_k, \dots, r_l) \geq V(q_s, r_j, r_k, \dots, r_l).$$

Продолжая заменять по одной оценки альтернативы α на оценки альтернативы β , получим:

$$V(q_s, r_j, r_k, \dots, r_l) \geq V(q_s, q_t, r_k, \dots, r_l)$$

.....

.....

$$V(q_s, q_t, q_u, \dots, r_l) \geq V(q_s, q_t, q_u, \dots, q_f) = V(Q).$$

Суммируя левые и правые части, получим:

$$V(\alpha) \succ V(\beta)$$

что и требовалось доказать. ■

Не требуют доказательства следующие утверждения.

Утверждение 5. *Альтернатива α эквивалентна альтернативе β , если их оценки в соответствии с ЕПШ имеют одинаковые ранги.*

Утверждение 6. *Во всех случаях, когда не выполняются условия превосходства одной альтернативы над другой или их эквивалентности, альтернативы α и β несравнимы.*

Следовательно, попарное сравнение упорядоченных по ЕПШ оценок дает возможность непосредственно по информации ЛПР сделать вывод о превосходстве одной альтернативы над другой либо их эквивалентности. Если информации ЛПР недостаточно, то альтернативы несравнимы

5.4.2. Упорядочение группы заданных альтернатив

Все реальные альтернативы, представленные их векторами критериальных оценок сравни-

ваются попарно приведенным выше способом. При этом легко устанавливается существование одного из трех отношений: превосходства ($O1$), эквивалентности ($O2$) или несравнимости ($O3$).

Пусть задана группа альтернатив и выявлены все попарные отношения между ними. Тогда отношения на совокупности альтернатив можно представить графом, вершины которого соответствуют альтернативам, направленная дуга — отношению $O1$, двунаправленная дуга — отношению $O2$, а отсутствие связи между вершинами — отношению $O3$. Применим к этому графу описанную выше процедуру «разборки».

Выделим на основе бинарного отношения в исходном множестве альтернатив все неподчиненные альтернативы (доминирующие над другими или несравнимые) и назовем их первым ядром. Среди альтернатив, оставшихся после удаления первого ядра, выделим второе ядро и т. д. Альтернативе, входящей в i -е ядро, присвоим i -й ранг, если над ней доминирует какая-либо альтернатива из $(i-1)$ -го ядра и она сама доминирует над какой-либо альтернативой из $(i+1)$ -го ядра. Если j -я альтернатива подчинена альтернативе из k -го ядра и доминирует над альтернативой из $(k+p)$ -го ядра, то ее ранг находится в пределах от $(k+1)$ до $(k+p-1)$.

Полученные таким образом совокупность ядер и ранги альтернатив могут использоваться для построения частичного (так как не все альтернативы сравнимы) упорядочения. Покажем эту процедуру на нашем примере.

Компьютер сравнивает попарно проекты с помощью единой шкалы оценок критериев. Пусть один из поступивших проектов имеет такие оценки: $A2$ (разработана технология), $B2$ (окупаемость происходит за год), $B1$ (малые трудности организации производства), $\Gamma1$ (большой спрос).

Второй проект имеет оценки: $A1$ (есть единичные изделия), $B2$ — срок окупаемости — полгода), $B2$ (средние трудности организации производства), $\Gamma2$ (достаточный спрос).

Сравнивая оценки проектов по единой шкале, находим, что $B2$ лучше $B2$ и $A2$ лучше $\Gamma2$. Следовательно, первый проект лучше второго (по мнению ЛПР).

Отметим, что единая порядковая шкала не всегда позволяет сравнить проекты. Так, проекты с оценками $A3B2B3\Gamma2$ и $A2B3B2\Gamma3$ не сравнимы, так как $B2$ лучше $A2$ и $B3$ лучше $\Gamma3$, но $B2$ лучше $\Gamma2$ и $B3$ лучше $A3$.

Компьютер проводит таким образом сравнения для всех пар объектов, а затем упорядочивает их по качеству.

5.5. Преимущества метода ЗАПРОС

Преимущества метода ЗАПРОС заключаются в следующем:

- 1) все вопросы просты и понятны для ЛПР, они сформулированы на языке оценок критериев;
- 2) отвечая на вопросы ЛПР должен быть логичным и последовательным, компьютер проверяет его предпочтения на непротиворечивость;
- 3) любые сравнения качества альтернатив могут быть объяснены на этом же языке.

5.6. Практическое применение метода ЗАПРОС

Метод ЗАПРОС неоднократно применялся при решении практических задач. Одной из наиболее важных была задача формирования 5-летнего плана прикладных научных исследований и разработок [18]. Число оцениваемых проектов составляло от нескольких сотен до нескольких тысяч. Была разработана анкета для экспертов, включающая 8 критериев с вербальными порядковыми шкалами: масштаб проекта, новизна ожидаемых результатов, квалификация исполнителя и т. д.

Разработанное решающее правило использовалось для упорядочения проектов и отбора лучших.

Проверка прогностических возможностей метода ЗАПРОС была осуществлена по результатам выполнения 5-летнего плана НИР для 750 проектов. Частичный порядок, построенный на этапе планирования, был использован для деления принятых проектов на три группы по их

качеству. Оценка качества выполненных проектов также проводилась с помощью метода ЗАПРОС, но использовались уже другие критерии. Выполненные проекты также были разделены на три группы по их качеству. Анализ показал, что на множестве из 750 проектов была корреляция 82 % между оценками на этапе планирования и оценками выполненных проектов [19], что можно считать хорошим результатом при пятилетнем сроке выполнения проектов.

6. Сравнение трех систем поддержки принятия решений

В работе [20] проводилось сравнение трех систем поддержки принятия решений (СППР): DECAID [21], Logical Decision [22] и ЗАПРОС. Две первые системы основаны на многокритериальной теории полезности — MAUT. Прежде всего, следует заметить, что эти две СППР очень близки друг к другу по выходу: обе они направлены на получение количественной оценки полезности для любой альтернативы. Обе они используют аддитивное представление полезности в виде взвешенной суммы оценок критериев:

$$U(x) = \sum_{i=1}^N K_i U_i(x_i).$$

Где: $U(x)$ — полезность многокритериальной альтернативы; K_i — количественный вес i -го критерия; $U_i(x_i)$ — полезность оценки по i -му критерию. Две СППР отличаются способом выявления весов и построения функций полезности по отдельным критериям.

В эксперименте группа испытуемых (студентов американского университета A and M) оценивала пять альтернатив, представляющих собой описание различных мест работы. Альтернативы имели оценки по 4 критериям: зарплата, местоположение, предлагаемая должность, возможность повышения. Первичные оценки были даны в виде словесных определений (кроме зарплат).

В результате эксперимента оказалось возможным сравнить совпадение ответов испытуемых по упорядочению пяти альтернатив, по количественным весам критериев и оценкам альтернатив, полученным с помощью LD и D.

Анализ показал, что при использовании двух СППР группа испытуемых имела различные оценки полезности альтернатив. Были существенные отличия в количественных весах критериев и оценках альтернатив по критериям. Для группы в целом только по одному критерию (предлагаемая должность) оценки важности были достаточно близки. Только для одного критерия (местоположение) были достаточно близки оценки альтернатив. В целом корреляция результатов двух СППР не была статистически значимой.

Особый интерес представляло сравнение LD и D с СППР ЗАПРОС (Z). Первичное словесное описание оценок альтернатив в виде трех упорядоченных оценок на шкалах по 3 критериям и 3 уровня оценки зарплаты использовались СППР ЗАПРОС для выявления предпочтений. Сравнение худших оценок по критериям с помощью ЕПШ позволило получить упорядочение критериев по важности. С помощью ЕПШ сравнивались 5 заданных альтернатив.

Следует напомнить, что СППР ЗАПРОС не позволяет строго ранжировать альтернативы; некоторые из них могут оказаться несравнимыми, так как информации ЛПР недостаточно для их сравнения. Поэтому сравнение LD и Z, D и Z было возможно лишь для тех альтернатив, отношения между которыми можно было выявить системой Z.

Оказалось, что для этих альтернатив корреляция результатов для пар СППР: LD-Z и D-Z статистически значима.

Что же следует из сравнения трех СППР? Причина несовпадения результатов СППР LD и D состоит, вероятнее всего, в большой чувствительности методов MAUT к неизбежным человеческим ошибкам. СППР ЗАПРОС мало чувствительна к этим ошибкам. Поэтому, отношения между альтернативами, построенные методом ЗАПРОС, намного надежнее.

Как известно, любой прибор имеет определенную точность измерения. По аналогии с этим можно утверждать, что возможности человека производить точные количественные измерения ограничены. Человек не представляет собой весы, стрелка которых указывает на количественное значение полезности (вес критерия, оценки альтернатив, вероятности). Нет, эти весы

имеют существенные дефекты. Поэтому методы, полагающиеся на количественные оценки ЛПР, крайне чувствительны даже к небольшим человеческим ошибкам. Небольшое отличие в измерении весов критериев и результат применения метода — совсем иной.

7. Сравнение подходов MAUT и вербального анализа решений на практических задачах

7.1. Практические задачи

Были выбраны две близкие практические задачи распределения ресурсов в Арктике. Одна из них решалась в США, другая — в России [23 24,25].

Корпус инженеров (организация, принадлежащая Министерству обороны США) в штате Аляска отвечал за выдачу разрешения на добычу нефти компанией "British Petroleum" (BP). Компания предлагала использовать для транспортировки нефти, добываемой на острове Ниакук (1,25 мили от берега моря Бофорт), насыпной путь из гравия, по которому будет проложен нефтепровод. Корпус инженеров не дал разрешения на этот способ решения проблемы (вредное воздействие на популяцию рыб) и предложил два других: наклонное бурение с берега и подводный газопровод. После длительных раздумий компания BP выбрала наклонное бурение. Отметим, что первоначальные оценки выбранного варианта существенно отличались от уточненных, принятых компанией BP. Таким образом, выбранный вариант был модификацией первоначального.

Отметим, что здесь имеются три основных варианта решения проблемы стратегического выбора.

Российское акционерное общество «Газпром» решает проблему выбора проекта газопровода, связывающего богатейшие залежи газа на Ямальском полуострове с Европейской частью России. Одной из важных проблем является выбор начального участка трассы. Существуют два варианта, поддерживаемые двумя разными проектными институтами: вдоль берега Ямальского полуострова (береговой вариант) и пересечение Байдарацкой губы, залива Карского моря (морской вариант). Морской вариант значительно короче (на 68 км), но связан с существенной неопределенностью и отсутствием опыта строительства. Береговой вариант является более определенным по условиям строительства, но наносит большой ущерб окружающей среде.

Таким образом, имеются два основных варианта решения проблемы стратегического выбора.

Проведенный анализ позволил предложить модификацию морского варианта, в котором существенно сократилась неопределенность по сравнению с первоначальным проектом, но увеличились затраты.

Нетрудно увидеть большую схожесть двух проблем. Это особенно заметно при анализе критериев оценки вариантов решений. В обоих случаях имеются критерии, отражающие затраты на строительство, экономический ущерб, вероятность аварий и их последствий. В решении проблемы прямо или косвенно участвуют активные группы, представляющие государство, местное население и промышленные компании.

7.2. Методы принятия решений

Для анализа вариантов решения проблемы транспортировки нефти на Аляске использовался один из методов MAUT. Особенностью этого метода было графическое представление информации о сравнительных оценках альтернатив по критериям. После определения количественных оценок и весов критериев применялась формула метода взвешенной суммы оценок критериев для определения ценности каждого из вариантов решений.

Для анализа вариантов трассы газопровода на Ямале использовался метод ПАКОМ вербального анализа решений (ВАР) [8]. Сначала рассчитывалась возможность компенсировать оценки одного варианта оценками другого и, таким образом, найти предпочтительный вариант. При этом выявилась противоречивость оценок двух вариантов.

Далее, метод помог определить направления изменения одного из вариантов (морского) так, чтобы его оценки оказались предпочтительными. Работа с экспертами позволила найти

такие модификации морского варианта, которые, хотя и требовали дополнительных затрат, но увеличивали его надежность. Этот третий вариант и был результатом анализа.

Аналитики, применявшие в обоих случаях методы анализа решений, были разработчиками этих методов и имели опыт их внедрения. Предпринимались также попытки использовать «конкурирующий» метод после решения проблемы основным методом. Проводившиеся при этом обсуждения с коллегами и специалистами по Арктике в обеих странах послужили основой для сопоставления подходов применительно к задачам стратегического выбора.

На основе практического опыта применения двух подходов к похожим проблемам стратегического выбора была сделана попытка сравнить эти подходы. При этом уделялось внимание достоинствам (и недостаткам) и условиям, благоприятствующим применению каждого подхода. Представленные далее результаты сравнения отражают общую точку зрения авторов методов, принадлежащих к двум подходам [24, 25].

Выделим три группы критериев: методологические, организационные и личностные.

Методологические критерии.

Они позволяют оценить, как осуществляются измерения оценок альтернатив по критериям; какие возможности обеспечивает каждый подход для уменьшения неопределенности при сравнении альтернатив и уменьшения сложности анализа. Необходимо также сопоставить возможности выхода подходов за пределы первоначальных заданных условий (заданных альтернатив) и затраты времени и усилия, связанные с каждым подходом.

1. *Способы измерения оценок альтернатив по критериям с поведенческой и психологической точек зрения.*

В многочисленных экспериментах (большая часть которых связана с измерением вероятностей событий) показано, что вербальные измерения имеют ряд преимуществ: удобство коммуникаций, меньшее количество нарушений условия транзитивности, быстрее достигается согласие при групповых обсуждениях.

Имеется ряд причин, по которым люди предпочитают получать информацию в вербальном виде.

1. Вербальный способ коммуникаций намного привычнее и проще количественного. Напомним, что теория вероятностей появилась намного позже, чем языки общения.

2. Слова — это более гибкое, хотя и менее точное средство выражения оценок, чем числа, и они помогают описывать недостаточно определенные величины.

Но существуют причины, почему предпочтительнее получать информацию в количественном виде. Такая форма представления

— считается более точной и заслуживающей доверия,

— позволяет использовать количественные методы преобразований (например, теорему Байеса).

С психологической точки зрения представляется важным вопрос о точности измерений, совершаемых людьми.

Возникает вопрос: насколько точным может быть человек, делая измерения, особенно в условиях неопределенности? Хорошо известно, что точность физических измерений зависит от точности измерительного устройства. То же самое верно и для сделанных человеком измерений. Более привычными для человека являются вербальные измерения с порядковыми шкалами.

2. *Возможности уменьшения сложности анализа проблемы.*

Как показывает опыт решения Арктических задач, оба подхода направлены на уменьшение сложности решения многокритериальных задач со многими активными группами. При подходе ВАР путем преобразований и компенсации вербальных оценок задача была сведена к выбору между более дорогим вариантом с небольшим ущербом окружающей среде и более дешевым, но с большим ущербом окружающей среде. Подход МАУТ снижает сложность анализа путем выработки общей меры для разнородных критериев.

3. *Возможности уменьшения неопределенности при оценке альтернатив.* При подходе ВАР уменьшение неопределенности в оценках вариантов достигалось путем определения до-

полнительных затрат на исключение неопределенных факторов, т. е. нахождения денежных эквивалентов неопределенностей. Так, большой риск разрыва газопровода связан с нестабильностью береговой полосы и движением льда. Постройка шахты на некотором расстоянии от моря, через которую прокладываются трубы, выходящие дальше непосредственно в море, исключает риск разрыва по этой причине. Можно оценить стоимость дополнительных затрат, исключая неопределенность.

Подход MAUT позволяет получить вероятностную оценку неопределенности, но ЛПР должен при этом дать необходимую информацию в количественном виде.

4. Возможности получения результатов в желаемом виде.

При подходе MAUT каждая альтернатива получает оценку полезности (см. иллюстративный пример), после чего всегда можно выделить лучшую альтернативу. Таким образом, применение подхода MAUT позволяет всегда найти требуемое решение.

При подходе VAR некоторые альтернативы могут оказаться несравнимыми, так как для получения информации от ЛПР используются только психологически корректные операции, что в общем случае недостаточно для упорядочения всех альтернатив.

5. Возможности расширения границ анализа путем введения новых альтернатив

Подход VAR позволяет определить направлений изменений оценок существующих альтернатив с целью разработки новой, желательной. Таким образом возникает задание для экспертов — найти новые альтернативы. Подход MAUT не даёт таких возможностей.

6. Сравнительные затраты времени и загрузка ЛПР

При решении практических задач, представленных выше, можно было оценить затраты времени ЛПР. При подходе MAUT задача с двумя альтернативами и 30 критериями потребовала 4 ч. работы. Однако при этом была построена функция полезности ЛПР, которая может быть использована при оценке любых новых альтернатив.

При подходе VAR задача с тремя альтернативами и восемью критериями потребовала менее 1 ч. работы. При этом проводилось сравнение только имеющихся альтернатив.

Организационные критерии

Критерии, оценивающие возможность применения различных подходов и методов принятия решений в организациях, включают: улучшение коммуникаций в организации; требования к квалификации сотрудников; возможность введения в практику работы организации; национальные отличия.

1. Улучшение коммуникаций

Практика показала, что оба подхода позволяют улучшить коммуникации, что особенно важно при подготовке решений по проектам в Арктике.

Подход VAR легче использовать, так как альтернативы описываются на естественном языке. Подход MAUT требует предварительного обучения сотрудников и представителей активных групп.

2. Требования к квалификации

При подходе VAR нет дополнительных требований к квалификации сотрудников организации. При подходе MAUT необходимо предварительное знакомство с ним. Следует отметить, что на первоначальном этапе оба подхода используют качественное описание проблемы.

3. Национальные различия

Количественный анализ гораздо шире распространен в США, чем в России. Так, в США при подготовке экономических решений требуется давать денежные оценки немонетарных благ [26]. В связи с этим подход MAUT в США более приемлем, он более соответствует традиционному для США подходу к анализу альтернатив. Подход VAR имеет большие перспективы в Европе и России.

Личностные критерии

Под личностными критериями сравнения подходов понимаются: возможности формирования предпочтений ЛПР в процессе принятия решения; профессиональные привычки консультанта.

1. Процессы выявления предпочтений.

Трудно: предположить, что предпочтения ЛПР (или представителя активной группы) сформированы настолько четко, что их нужно просто перенести в компьютер. Обычно это не так: предпочтения формируются или уточняются в процессе принятия решений.

Методы должны обеспечивать ЛПР возможность поэтапного формирования предпочтений. С этой точки зрения большие возможности предоставляет подход ВАР, так как соответствующие методы обеспечивают: контроль за непротиворечивостью информации ЛПР и позволяют устранять противоречия. В то же время подход МАУТ помогает уточнить предпочтения ЛПР на этапе анализа чувствительности решения к небольшим изменениям в предпочтениях.

2. Профессиональные привычки консультанта.

В настоящее время консультанты, работающие в разных странах, используют различные подходы и методы принятия решений при анализе подобных задач. Очевидно, например, что методы ЭЛЕКТРА [27] гораздо шире известны во Франции, а методы аналитической иерархии [7] — в США, хотя они предназначены для одного круга задач. Очевидно, что более широкое знакомство с другими методами расширяет возможности консультанта. Возникают новые возможности как, например, использование вербального анализа на первых этапах решения проблемы, а затем, если это нужно, применение количественных методов.

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, для неструктурированных проблем методы вербального анализа решений имеют значительные преимущества по сравнению с другими методами.

При этом возникает вопрос: что лучше? Лучше ли иметь точный выход СППР (количественные оценки, строгое ранжирование), но весьма ненадежный или иметь приближенный выход (разбиение альтернатив на классы, частичное ранжирование), но надежный и проверенный?

На наш взгляд, второй вариант явно предпочтительнее. Его преимущество становится очевидным на практике, в ответственных реальных задачах, для решения которых разрабатываются методы и создаются СППР.

Литература

1. *Simon H., Newell A.* Heuristic problem solving: the next advance in operations research. *Operations Research*. V. 6. 1958. P. 6-10.
2. *Нейман Д. фон, Моргенштерн О.* Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970.
3. *Райфа Г.* Анализ решений. М.: Наука, 1977.
4. *Kahneman D., Slovic P., Tversky A. (eds.)*. Judgment under uncertainty: heuristics and biases. Cambridge: Univ. Press, 1982.
5. *Kahneman D., Tversky A.* Prospect theory: an analysis of decisions under risk. *Econometrica*. 1979. №47. P. 263-291.
6. *Кини Р.Л., Райфа Х.* Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981.
7. *Саати Т., Кернс К.* Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991.
8. *Ларичев О. И., Мошкович Е.М.* Качественные методы принятия решений. М.: Физматлит, 1996.
9. *Larichev O. I., Moshkovich H. M.*: Verbal Decision Analysis For Unstructured Problems. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1997.
10. *Карнан Р.* Философские основания физики. М.: Прогресс, 1971.
11. *Ларичев О. И., Нукифоров А. Д.* Аналитический обзор процедур решения многокритериальных задач математического программирования // *Экономика и математические методы*. 1986. Т. 22. Вып. 3. С. 508-523.
12. *Larichev O.* Cognitive Validity in Design of Decision—Aiding Techniques // *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. 1992. V. 1. №3. P. 127-138.
13. *Солсо Р.Л.* Когнитивная психология. М.: Тривола, 1995.

14. Larichev O. Ranking multicriteria alternatives: the method ZAPROS III // European Journal of Operational Research. 2001. V. 131. № 3. P. 550-558.
15. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в волшебных странах. М.: Логос, 2000.
16. von Winterfeldt D., Fischer G. W.: Multiattribute utility theory: Models and assessment procedures // D. Wendt, C. Vlek (eds.) Utility, probability and human decision making. Dordrecht: Reidel, 1975.
17. Ларичев О. И., Зуев Ю. А., Гнеденко Л. С. Метод построения классификации проектов проведения прикладных научных исследований и разработок // С. В. Емельянов (Ред.) Перспективное планирование проектов проведения прикладных научных исследований и разработок. М.: Наука, 1974. С. 28-57.
18. Зуев Ю.А., Ларичев О. И., Филиппов В. А., Чуев Ю. В. Проблемы оценки предложений по проведению научных исследований // Вестник АН СССР. № 8. 1980.
19. Чуев Ю. В., Ларичев О. И., Зуев Ю.А., Гнеденко Л. С., Тихонов И. П. Интерактивные процедуры при планировании научных исследований и разработок // Д. Черешкин (Ред.) Проблемы информационных технологий. Труды ВНИИСИ. №6. 1983. С. 86-95.
20. 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.
21. Pitz G. F. DECAID Computer Program. Carbondale, Ill.: Univ. Of Southern Illinois, 1987.
22. Smith G. R, Speiser F. Logical Decision: Multi-Measure Decision Analysis Software. Golden, CO: PDQ Printing, 1991.
23. Flanders N. E., Brown R. V., Andreeva Y., Larichev O. Justifying public decisions in Arctic oil and gas development: American and Russian approaches // Arctic. 1998. V. 51. №3.262-279.
24. Ларичев О. И., Браун Р. В. Количественный и вербальный анализ решений: сравнительное исследование возможностей и ограничений // Экономика и математические методы. №4. 1998.
25. Larichev O., Brown R. Numerical and Verbal Decision Analysis used for the problems of resources allocation in Arctic // Journal of Multi-Criteria Decision Analysis. November 2000. V. 9. № 6.
26. Fischhoff B. The Real World: What Good is it? // Organizational Behavior and Human Decision Processes. 1996. V.65. №3. P. 232-248.
27. Roy B. Multicriteria Methodology for Decision Aiding. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.

Ларичев О. И. Новый способ анализа неструктуризованных проблем: вербальный анализ решений // Проблемы системного анализа и управления: Сборник трудов Института системного анализа Российской академии наук / Под ред. С. В. Емельянова.—М.: Эдиториал УРСС, 2001.— С. 57–91.

```
@InBook{Larichev_2001g,
  author = "Ларичев, О. И.",
  title = "Новый способ анализа неструктуризованных проблем:
  вербальный анализ решений",
  booktitle = "Проблемы системного анализа и управления: Сборник
  трудов Института системного анализа Российской
  академии наук",
  publisher = "Эдиториал УРСС",
  year = "2001",
  editor = "Емельянова, С. В.",
  address = "М.",
  pages = "57--91",
  language = "russian",
}
```