Тема 11. Выбор и системы принятия решений

11.1. Основные проблемы принятия решений.

Любые мероприятия или действия предпринимаются для достижения некоторой цели. При этом всегда имеется множество вариантов достижения цели, отличающихся между собой ресурсами необходимыми для их реализации и условиями реализации. Из этого множества требуется выбрать вариант достижения цели. Рассмотрим некоторые примеры задач на принятие решения.

1. В любой человеко-машинной системе (ЧМС) возникают аварийные ситуации, которые необходимо своевременно обнаружить и ликвидировать с минимальным ущербом. Объективно существует множество вариантов достижения этой цели. Требуется из этого множества выбрать наиболее полезный вариант.

2. Некоторое конструкторское бюро разрабатывает новый бытовой прибор (утюг, чайник, часы). Из множества вариантов организации производства такого прибора необходимо выбрать наиболее экономически эффективный вариант.

3. В городе проектируется телефонная станция. Требуется определить характеристики станции, при которых будут обслуживаться все абоненты со временем ожидания не более заданного.

Из приведѐнных примеров видно, что к задачам принятия решения можно приступать только после определения цели, ради достижения которой осуществляется выбор, и множества вариантов достижения цели. В дальнейшем будем считать, что эти сведения уже имеются. Из-за неполноты или неточности необходимой информации выбранный вариант достижения цели может оказаться ошибочным и сопровождаться негативными последствиями: наносить ущерб материальным ресурсам, окружающей среде, жизни и здоровью людей. Поэтому выбор варианта действий для достижения цели не может быть произвольным, он должен быть обоснованным. Осуществление такого обоснованного выбора и составляет содержание теории принятия решения.

Задачи принятия решений разнообразны, но среди этого разнообразия выделяют три основных типа.

1. Выбор наиболее полезной альтернативы, например, альтернативы, обеспечивающей достижение поставленной цели в заданные сроки с минимальными затратами ресурсов.

2. Классификация альтернатив, т. е. объединение их в классы по заданной системе признаков.

3. Определение порядка на множестве альтернатив, т.е. ранжирование альтернатив по важности, затратам времени и ресурсов или другим признакам.

Основные проблемы принятия решений. Любое решение, не смотря на их разнообразие по содержанию, важности или сложности, направлено на достижение некоторой цели. Вариантов достижения цели, как правило, имеется несколько. Обозначим множество ва-риантов достижения цели X. Элементы этого множества называют альтернативами, стратегиями, планами и т. п. Какой же из этих вариантов лучший? Как найти этот вариант? Для ответа на эти вопросы необходимо установить правило (принцип) выбора из множества альтернатив некоторого подмножества приемлемых вариантов, т. е. вариантов, более предпочтительных относительно достижения цели. Принцип такого выбора обозначим W. Этот принцип позволяет оценить эффективность каждой альтернативы - меру достижения цели при выборе той или иной альтернативы. Эффективность каждой альтернативы изменяется в зависимости от условий, в которых осуществляется выбор альтернативы. Эти условия называют состояниями внешней среды (иногда состояниями природы). Множество состояний внешней среды обозначим Y. Таким образом, в задачах принятия решений должны быть определены множество альтернатив, принцип W выбора приемлемого варианта (вариантов) и множество состояний внешней среды Y. Задачи принятия решений различаются в зависимости от информации о множестве Ω, принципе W и состоянии внешней среды Y. В результате принятия решения определяется некоторый компромисс, основанный на этой информации. Цель принятия решений – гарантировать логическую непротиворечивость, выбранных концепций компромисса и основанных на них процедур выбора. Когда число допустимых решений невелико и принцип W имеет «хорошие свойства», то решение можно найти методом прямого перебора вариантов или методами математического анализа. Однако при возрастании числа допустимых решений такая возможность практически может совсем исчезнуть. Для решения таких задач применяют специальный математический аппарат, называемый математическим программированием.

Часто решение ищется, когда не все условия известны заранее, некоторые из них содержат элемент неопределѐнности. Наиболее простым и благоприятным для расчѐтов является случай, когда неизвестные условия или факторы есть случайные величины или случайные функции, о которых имеются статистические данные, характеризующие их распределение. Наиболее трудным является случай, когда условия не обладают статистической устойчивостью, т.е. функции распределения неизвестных условий либо совсем неизвестны, либо вовсе не существуют. В этих условиях применяют эвристиче ские методы.

11.2. Языки описания выбора.

Различные сочетания вариантов выбора приводят к многообразным задачам выбора. Самым простым и наиболее развитым является критериальный язык описания выбора. Свойства критериев оценки альтернатив:

1) полнота — критерии, входящие в набор оценки альтернатив, должны обеспечивать адекватную оценку объекта экспертизы либо оценку степени достижения цели. Иными словами, в наборе критериев должны быть представлены критерии, характеризующие все

основные аспекты оценки;

2) действенность (операционность) — критерии должны быть однозначно понимаемы как экспертами, так и лицом, принимающим решение и способствовать выработке и принятию эффективных решений, т.е. характеризовать основные аспекты анализируемой ситуации и быть доступными для получения оценок по ним;

3) разложимость - удобнее работать с небольшим числом критериев, поэтому если анализируемая ситуация такова, что должна оцениваться с помощью слишком большого числа критериев, то целесообразно разбить их (разложить) на более мелкие группы для удобства одновременной работы с ними;

4) не избыточность - чтобы избежать дублирования при оценке анализируемой ситуации, критерии должны быть не избыточны. Бывает, что избыточность возникает за счет одновременного рассмотрения как критериев, характеризующих получаемые результаты, так и средств их достижения либо одновременного рассмотрения как входных характеристик системы, так и выходных;

5) минимальная размерность - в набор критериев для оценки анализируемой ситуации целесообразно включать лишь те критерии, без которых такая оценка невозможна. Этот принцип направлен на то, чтобы процедура многокритериального оценивания не была без необходимости слишком громоздкой.

Критериальный язык описания выбора

Название этого языка связано с основным предположением, состоящим в том, что каждую отдельно взятую альтернативу можно оценить некоторым конкретным (одним) числом, после чего сравнение альтернатив сводится к сравнению соответствующих им чисел. Критериальный язык предполагает, что каждую отдельно взятую альтернативу можно оценить конкретным числом (значением критерия), и сравнение альтернатив сводится к сравнению соответствующих им чисел.

Пусть x — некоторая альтернатива из множества X. Считается, что для всех x принадлежащих X может быть задана функция q (x), которая называется критерием (критерием качества, целевой функцией, функцией предпочтения, функцией полезности и т. д.) и обладает тем свойством, что если альтернатива x1 предпочтительней альтернативы x1 (будем обозначать это x1 > x2), то q (x1) >q(x2) и обратно. Если теперь сделать еще одно важное предположение, что выбор любой альтернативы приводит к однозначно известным последствиям (т.е. считать, что выбор осуществляется в условиях определенности) и заданный критерий q(X) численно выражает оценку этих последствий, то наилучшей альтернативой x* является, естественно, та, которая обладает наибольшим значением критерия:

$$x^* = \arg\max_{x \in X} q(x) \qquad (11.1)$$

Задача отыскания x*, простая по постановке, часто оказывается сложной для решения, поскольку метод ее решения определяется как характером множества X, так и характером критерия q(X). Чаще всего на практике оценивание любого варианта единственным числом оказывается неприемлемым упрощением. Более полное рассмотрение альтернатив приводит к необходимости оценивать их не по одному, а по нескольким критериям, качественно различающимся между собой. Например, при выборе конструкции самолета проектировщикам следует учитывать множество критериев: технических, технологических, экономических, социальных, эргономических и пр. Даже в обычной жизни при выборе мы почти никогда не используем единственный критерий: вспомним хотя бы затруднения при выборе подарка ко дню рождения или при выборе места стоянки в турпоходе.

Сведение многокритериальной задачи к однокритериальной.

Пусть для оценивания альтернатив используется несколько критериев qi(x), i = 1, ..., p. Рассмотрим наиболее употребительные способы решения многокритериальных задач.

Первый способ состоит в том, чтобы многокритериальную задачу свести к однокритериальной. Это означает введение суперкритерия, т.е. скалярной функции векторного аргумента:

$$q_0(x) = q_0[q_1(x), q_2(x), \ldots, q_p(x)] \quad (11.2)$$

Суперкритерий $q_0(x)$ позволяет упорядочить альтернативы по величине, выделив тем самым наилучшую (в смысле этого критерия). Вид функции определяется тем, как мы представляем себе вклад каждого критерия в суперкритерий. Обычно используют аддитивные или мультипликативные функции:

$$q_0 = \sum_{i=1}^{p} \{\alpha_i q_i / s_i\} \qquad 1 - q_0 = \prod_{i=1}^{p} \{1 - [\beta_i q_i / s_i]\} \quad (11.3)$$

Коэффициенты s_i обеспечивают, во-первых безразмерность числа s_i/q_i и отражают относительный вклад частных критериев в суперкритерий. Итак, при данном способе задача сводится к максимизации суперкритерия:

$$x^* = \arg\max_{x \in X} q_0[q_1(x), \ldots, q_p(x)] \quad (11.4)$$

Очевидные достоинства объединения нескольких критериев в один суперкритерий сопровождается рядом трудностей и недостатков, которые необходимо учитывать при использовании этого метода. Оставив в стороне трудности построения самой функции и вычислительные трудности ее максимизации, обратим внимание на следующий очень важный момент. Упорядочение точек в многомерном пространстве в принципе не может быть однозначным и полностью определяется видом упорядочивающей функции, и его даже «небольшое» изменение может привести к тому, что оптимальная в новом смысле альтернатива окажется очень сильно отличающейся от старой

Условная максимизация.

Недостатки свертывания нескольких критериев заставляют искать другие подходы к решению задач многокритериального выбора. Рассмотрим второй способ решения таких задач. Он заключается в использовании того факта, что частные критерии обычно неравнозначны между собой. Наиболее явное выражение этой идеи состоит в выделении основного, главного критерия и рассмотрении остальных как дополнительных, сопутствующих. Такое различие критериев позволяет сформулировать задачу выбора как задачу нахождения условного экстремума основного критерия:

$$x^* = \arg\{\max_{x \in X} q_1(x) \,|\, q_i(x) = C_i, i = 2,3,\ldots,p\} \qquad (11.5)$$

при условии, что дополнительные критерии остаются на заданных им уровнях.

В некоторых задачах оказывается возможным или даже необходимым задавать ограничения на сопутствующие критерии не столь жестко. Например, если сопутствующий критерий характеризует стоимость затрат, то вместо фиксациразумнее задавать их верхний уровень, т.е. формулировать задачу с ограничениями типа неравенств:

$$x^* = \arg\{\max_{x \in X} q_1(x) \,|\, q_i(x) \le C_i, i = 2,3,\ldots,p\} \qquad (11.6)$$

Метод уступок.

Процедура решения многокритериальной задачи методом последовательных уступок заключается в том, что все частные критерии располагают и нумеруют в порядке их относительной важности; максимизируют первый, наиболее важный критерий; затем назначают величину допустимого снижения значения этого критерия и максимизируют второй по важности частный критерий при условии, что значение первого критерия не должно отличаться от максимального более чем на величину установленного снижения (уступки);

Затем снова назначают величину уступки, но уже по второму критерию и находят максимум третьего по важности критерия при условии, чтобы значения первых двух критериев не отличались от ранее найденных максимальных значений больше чем на величины соответствующих уступок; далее подобным же образом поочередно используются все остальные частные критерии; оптимальной обычно считают любую стратегию, которая получена при решении задачи отыскания условного максимума последнего по важности критерия. Удобным свойством данного способа является возможность задавать желательные значения критериев как в виде точных, так и в виде верхних или нижних границ. Назначаемые значения величин иногда называют уровнями притязаний, а точку их пересечения в n-мерном пространстве критериев - целью или опорной точкой, идеальной точкой. Основные выводы:

- метод последовательных уступок целесообразно применять для решения тех многокритериальных задач, в которых все частные критерии естественным образом упорядочены по степени важности;

- метод последовательных уступок представляет собою итерационную процедуру, используя которую разработчик, давая допустимые приращения одним параметрам анализирует изменение других, принимая решение о допустимости вводимых уступок.

Недостатком метода являются трудности с назначением и согласованием величин уступок, возрастающие с ростом размерности векторного критерия, а также необходимость формирования неизменного для всей задачи априорного ранжирования критериев.

Нахождение паретовского множества.

Это полностью формализуемый способ многокритериального выбора состоит в отказе от выделения единственной "наилучшей" альтернативы и соглашении о том, что предпочтение одной альтернативе перед другой можно отдавать только если первая по всем критериям лучше второй. Если же предпочтение хотя бы по одному критерию расходится с предпочтением по другому, то такие альтернативы признаются несравнимыми. В результате по парного сравнения альтернатив все худшие по всем критериям альтернативы отбрасываются, а все оставшиеся несравнимые между собой принимаются. Если все максимально достижимые значения частных критериев не относятся к одной и той же альтернативе, то принятые альтернативы образуют множество Парето и выбор на этом заканчивается. При необходимости же выбора единственной альтернативы следует привлекать дополнительные соображения: вводить новые добавочные критерии и ограничения, бросить жребий, либо прибегать к услугам экспертов.

Описание выбора на языке бинарных отношений

Основные предположения этого языка сводятся к следующему:

1) отдельная альтернатива не оценивается, т.е. критериальная функция не вводится;

2) для каждой пары альтернатив (x,y) некоторым образом можно установить, что одна из них предпочтительнее другой либо они равноценны или несравнимы (чаще всего последние два понятия отождествляются);

3) отношение предпочтения внутри любой пары альтернатив не зависит от остальных альтернатив, предъявленных к выбору.

Математически бинарное отношение R на множестве X определяется как определенное подмножество упорядоченных пар (x,y). Удобно использовать обозначение xRy , если x находится в отношении R с y и $x \bar{R} y$ в противном случае.

Множество всех пар $R \subseteq X \times X$ называется полным ("универсальным") бинарным отношением. Поскольку в общем случае не все возможные пары (x,y) удовлетворяют условиям, накладываемым отношением R, бинарное отношение является некоторым подмножеством полного бинарного отношения, т.е. задать отношение – это значит тем или иным способом указать все пары (x,y), для которых выполнено отношение R . Основные способы описания выбора на языке бинарных отношений представлены на рисунке 11.1.

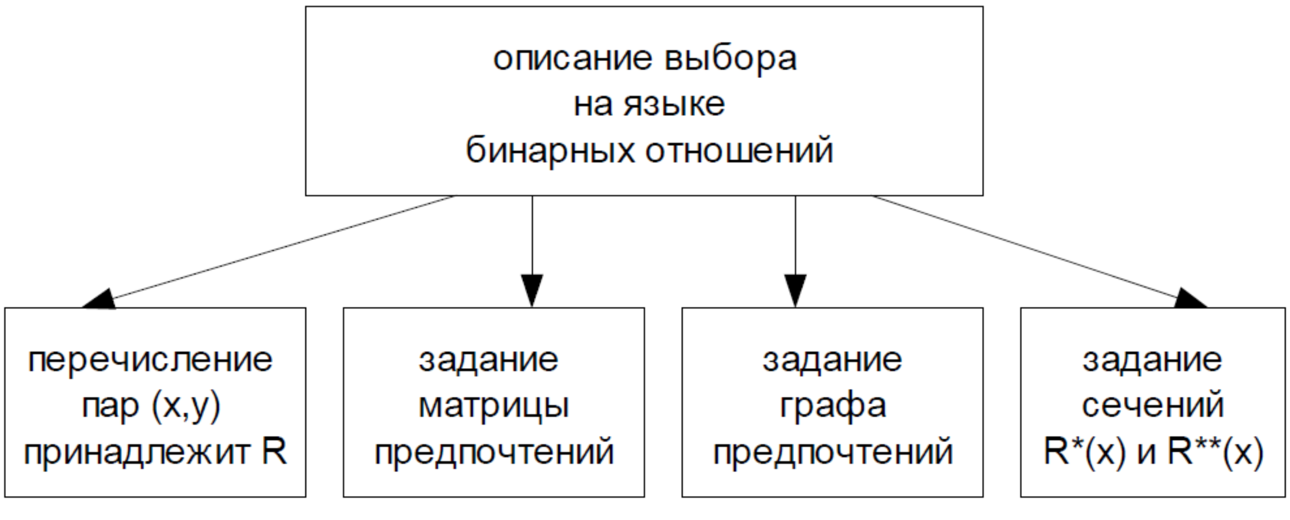

Рис. 11.1. Способы задания бинарных отношений.

Первый, очевидный, способ состоит в непосредственном перечислении пар. Ясно, что он приемлем лишь в случае конечного множества R.

Второй удобный способ задания отношения R на конечном множестве – матричный. Все элементы нумеруются, и матрица отношения Rопределяется своими элементами $r_{ij}(R) = \{1 : x_i R x_j ; 0 : x_i \overline{R} x_j\}$ для всех i и j. Известным примером такого задания отношений являются турнирные таблицы (если ничьи обозначить нулями, как и проигрыш, то матрица изобразит отношение « Xi» - победитель «Xj»).

Третий способ – задание отношения графом. Вершинам графа G(R) ставят в соответствия (пронумерованные) элементы множества X , и если XiRYj , то от вершины Xi проводят направленную дугу к вершине Yj ; если же XiR̄Yj , то дуга отсутствует. На рисунке 11.2 показан пример графа предпочтений

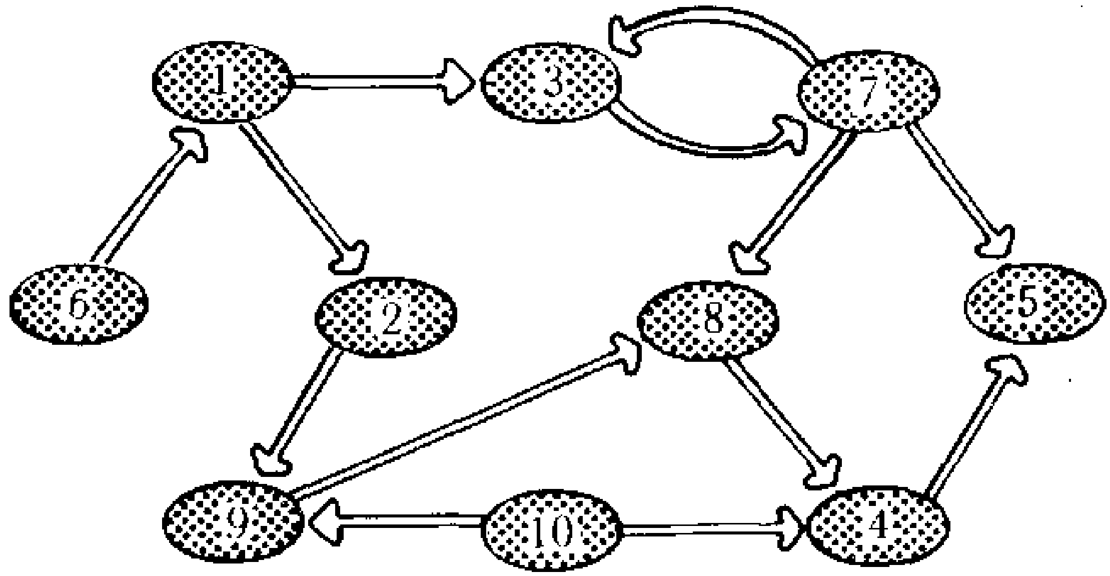

Рис. 11.2. Пример графа предпочтений

11.3. Экспертные методы выбора

При исследовании сложных систем часто возникают проблемы, которые по различным причинам не могут быть строго поставлены и решены с применением разработанного в настоящее время математического аппарата. В этих случаях прибегают к услугам экспертов (системных аналитиков), чей опыт и интуиция помогают уменьшить сложность проблемы. Однако, необходимо учитывать, что эксперты сами представляют собой сверхсложные системы, и их деятельность сама зависит от многих внешних и внутренних условий. Поэтому в методиках организации экспертных оценок большое внимание уделяется созданию благоприятных внешних и психологических условий для работы экспертов.

На работу эксперта оказывают влияние следующие факторы:

– ответственность за использование результатов экспертизы;

– знание того, что привлекаются и другие эксперты;

– наличие информационного контакта между экспертами;

– межличностные отношения экспертов (если между ними есть информационный контакт);

– личная заинтересованность эксперта в результатах оценки;

– личностные качества экспертов (самолюбие, конформизм, воля и др.)

Взаимодействие между экспертами может, как стимулировать, так и подавлять их деятельность.

Поэтому в разных случаях используют различные методы экспертизы, отличающиеся характером взаимодействия экспертов друг с другом: анонимные и открытые опросы и анкетирования, совещания, дискуссии, деловые игры, мозговой штурм и т.д.

Существуют различные методы математической обработки мнений экспертов. Экспертам предлагают оценить различные альтернативы либо одним, либо системой показателей. Кроме того им предлагают оценить степень важности каждого показателя (его «вес» или «вклад»). Самим экспертам также приписывается уровень компетентности, соответствующий его вкладу в результирующее мнение группы.

Развитой методикой работы с экспертами является метод «Дельфи». **Метод «Дельфи»**, или метод «дельфийского оракула», представляет собой итеративную процедуру анкетного опроса. При этом соблюдается требование отсутствия личных контактов между экспертами и обеспечения их полной информацией по всем результатам оценок после каждого тура опроса с сохранением анонимности оценок, аргументации и критики. Процедура метода включает несколько последовательных этапов опроса.

На первом этапе производится индивидуальный опрос экспертов, обычно в форме анкет. Эксперты дают ответы, не аргументируя их. Затем результаты опроса обрабатываются и формируется коллективное мнение группы экспертов, выявляются и обобщаются аргументации в пользу различных суждений.

На втором - вся информация сообщается экспертам и их просят пересмотреть оценки и объяснить причины своего несогласия с коллективным суждением. Новые оценки вновь обрабатываются и осуществляется переход к следующему этапу. Практика показывает, что после трех-четырех этапов ответы экспертов стабилизируются, и необходимо прекращать процедуру. Достоинством метода «Дельфи» является использование обратной связи в ходе опроса, что значительно повышает объективность экспертных оценок. Однако данный метод требует значительного времени на реализацию всей многоэтапной процедуры.

Необходимо особо подчеркнуть, что существует принципиальное различие в характере использования экспертных методов в экспертных системах и в поддержке принятия решений. Если в первом случае от экспертов требуется формализация способов принятия решений, то во втором, лишь само решение, как таковое.

Поскольку эксперты привлекаются для реализации именно тех функций, которые в настоящее время или вообще не обеспечиваются автоматизированными системами, или выполняются ими хуже, чем человеком, то перспективным направлением развития автоматизированных систем является максимальная автоматизация этих функций.

11.4. Выбор в условиях неопределенности.

В современной теории выбора считается, что в задачах принятия решений существует три основных вида неопределенности:

1. Информационная (статистическая) неопределенность исходных данных для принятия

решений.

2. Неопределенность последствий принятия решений (выбора).

3. Расплывчатость в описании компонент процесса принятия решений.

Рассмотрим их по порядку.

Информационная (статистическая) неопределенность в исходных данных

Данные, полученные о предметной области, не могут рассматриваться как абсолютно точные. Кроме того, очевидно, эти данные нас интересуют не сами по себе, а лишь в качестве сигналов, которые, возможно, несут определенную информацию о том, что нас в действительности интересует.

То есть, реалистичнее считать, что мы имеем дело с данными, не только зашумленными и неточными, но еще и косвенными, а возможно и не полными.

Кроме того эти данные касаются не всей исследуемой (генеральной) совокупности, а лишь определенного ее подмножества, о котором мы смогли фактически собрать данные, однако при этом мы хотим сделать выводы о всей совокупности, причем хотим еще и знать достоверность этих выводов.

В этих условиях используется теория статистических решений.

В этой теории существует два основных источника неопределенности. Во-первых, неизвестно, какому распределению подчиняются исходные данные. Во-вторых, неизвестно, какое распределение имеет то множество (генеральная совокупность), о котором мы хотим сделать выводы по его подмножеству, образующему исходные данные.

Статистические процедуры это и есть процедуры принятия решений, снимающих оба эти виды неопределенности.

Необходимо отметить, что существует ряд причин, которые приводят к некорректному применению статистических методов:

1. Статистические выводы, как и любые другие, всегда имеют некоторую определенную надежность или достоверность. Но, в отличие от многих других случаев, достоверность статистических выводов известна и определяется в ходе статистического исследования.

2. Качество решения, полученного в результате применения статистической процедуры зависит, от качества исходных данных.

3. Не следует подвергать статистической обработке данные, не имеющие статистической природы.

4. Необходимо использовать статистические процедуры, соответствующие уровню априорной информации об исследуемой совокупности (например, не следует применять методы дисперсионного анализа к негауссовым данным). Если распределение исходных данных неизвестно, то надо либо его установить, либо использовать несколько различных методов и сравнить результаты. Если они сильно отличаются - это говорит о неприменимости некоторых из использованных процедур.

Неопределенность последствий

Когда последствия выбора той или иной альтернативы однозначно определяются самой альтернативой, тогда можно не различать альтернативу и ее последствия, считая само собой разумеющимся, что выбирая альтернативу мы в действительности выбираем ее последствия.

Однако, в реальной практике нередко приходится иметь дело с более сложной ситуацией, когда выбор той или иной альтернативы неоднозначно определяет последствия сделанного выбора.

В случае дискретного набора альтернатив и исходов их выбора, при условии, что сам набор возможных исходов общий для всех альтернатив, можно считать, что различные альтернативы отличаются друг от друга распределением вероятностей исходов. Эти распределения вероятностей вообще говоря могут зависеть от результатов выбора альтернатив и реально наступивших в результате этого исходов. В простейшем случае исходы равновероятны. Сами исходы обычно имеют смысл выигрышей или потерь и выражаются количественно.

Если исходы равны для всех альтернатив, то выбирать нечего. Если же они различны, то можно сравнивать альтернативы, вводя для них те или иные количественные оценки. Разнообразие задач теории игр связано с различным выбором числовых характеристик потерь и выигрышей в результате выбора альтернатив, различными степенями конфликтности между сторонами, выбирающими альтернативы и т.д.

Расплывчатая неопределенность

Любая задача выбора является задачей целевого сужения множества альтернатив. Как формальное описание альтернатив (сам их перечень, перечень их признаков или параметров), так и описание правил их сравнения (критериев, отношений) всегда даются в терминах той или иной измерительной шкалы (даже тогда, когда тот, кто это делает, не знает об этом).

Известно, все шкалы размыты, но в разной степени. Под термином "размытие" понимается свойство шкал, состоящее в том, что всегда можно предъявить такие две альтернативы, которые различимы, т.е. различны в одной шкале и неразличимы, т.е. тождественны в другой - более размытой. Чем меньше градаций в некоторой шкале, тем более она размыта.

Таким образом, мы можем четко видеть альтернативы, и одновременно нечетко их классифицировать, т.е. иметь неопределенность в вопросе о том, к каким классам они относятся.

Уже в первой работе по принятию решений в расплывчатой ситуации Беллман и Заде выдвинули идею, состоящую в том, что и цели, и ограничения должны представляться как размытые (нечеткие) множества на множестве альтернатив.

Решение как компромисс и баланс различных интересов. О некоторых ограничениях оптимизационного подхода

Во всех рассмотренных выше задачах выбора и методах принятия решений проблема состояла в том, чтобы в исходном множестве найти наилучшие в заданных условиях, т.е. оптимальные в определенном смысле альтернативы.

Идея оптимальности является центральной идеей кибернетики и прочно вошла в практику проектирования и эксплуатации технических систем. Вместе с тем эта идея требует осторожного к себе отношения, когда мы пытаемся перенести ее в область управления сложными, большими и слабо детерминированными системами, такими, например, как социально-экономические системы.

Для этого заключения имеются достаточно веские основания. Рассмотрим некоторые из них.

1. Оптимальное решение нередко оказывается неустойчивым: т.е. незначительные изменения в условиях задачи, исходных данных или ограничениях могут привести к выбору существенно отличающихся альтернатив.

2. Оптимизационные модели разработаны лишь для узких классов достаточно простых задач, которые не всегда адекватно и системно отражают реальные объекты управления. Чаще всего оптимизационные методы позволяют оптимизировать лишь достаточно простые и хорошо формально описанные подсистемы некоторых больших и сложных систем, т.е. позволяют осуществить лишь локальную оптимизацию. Однако, если каждая подсистема некоторой большой системы будет работать оптимально, то это еще совершенно не означает, что оптимально будет работать и система в целом. То есть оптимизация подсистемы совсем не обязательно приводит к такому ее поведению, которое от нее требуется при оптимизации системы в целом. Более того, иногда локальная оптимизация может привести к негативным последствиям для системы в целом.

3. Часто максимизация критерия оптимизации согласно некоторой математической модели считается целью оптимизации, однако в действительностью целью является оптимизация объекта управления. Критерии оптимизации и математические модели всегда связаны с целью лишь косвенно, т.е. более или менее адекватно, но всегда приближенно.

Итак, идею оптимальности, чрезвычайно плодотворную для систем, поддающихся адекватной математической формализации, нельзя перенести на сложные системы. Конечно, математические модели, которые удается иногда предложить для таких систем, можно оптимизировать. Однако всегда следует учитывать сильную упрощенность этих моделей, а также то, что степень их адекватности фактически неизвестна. Поэтому не известно, какое чисто практическое значение имеет эта оптимизация. Высокая практичность оптимизации в технических системах не должна порождать иллюзий, что она будет настолько же эффективна при оптимизации сложных систем. Содержательное математическое моделирование сложных систем является весьма затруднительным, приблизительным и неточным. Чем сложнее система, тем осторожнее следует относится к идее ее оптимизации.

Поэтому, при разработке методов управления сложными, большими слабо детерминированными системами, основным является не оптимальность выбранного подхода с формальной математической точки зрения, а его адекватность поставленной цели и самому характеру объекта управления.