

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

**МАТЕМАТИКА,
КИБЕРНЕТИКА**

10/1985

Издается ежемесячно с 1967 г.

**С. В. Емельянов,
О. И. Ларичев**

**МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ
МЕТОДЫ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

Издательство «Знание» Москва 1985

ББК 22.18
Е 60

Станислав Васильевич ЕМЕЛЬЯНОВ — академик, директор Международного научно-исследовательского института проблем управления, крупный специалист по проблемам управления техническими и организационными системами, автор многих статей и монографий;

Олег Иванович ЛАРИЧЕВ — профессор, доктор технических наук, заведующий лабораторией Всесоюзного научно-исследовательского института системных исследований, специалист в области принятия решений, автор монографии «Наука и искусство принятия решений», ряда брошюр и статей.

Рецензент: **В. Г. Миркин** — кандидат физико-математических наук.

Емельянов С. В., Ларичев О. И.
Е60 Многокритериальные методы принятия решений. — М.: Знание, 1985. — 32 с. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Математика, кибернетика»; № 10).

11 к.

Брошюра посвящена вопросам, связанным с теорией и методами принятия решений — области исследований, направленных на разработку средств, помогающих человеку в анализе возможных вариантов сложных решений и выборе из них наиболее предпочтительного. Рассказывается об основных направлениях разработки методов принятия решений и различных критериях научного обоснования этих методов.

Выпуск рассчитан на научных работников, преподавателей, инженеров, студентов, слушателей народных университетов, всех, кто интересуется методами теории принятия решений.

1302 000000

ББК 22.18

517.8

© Издательство «Знание», 1985 г.

1. ВВЕДЕНИЕ

Среди различных областей применения математических методов и средств вычислительной техники имеется одна, которая с точки зрения человеческой деятельности является крайне важной. Это область принятия решений в ситуациях, когда последствия результатов выбора определенного курса действий могут быть очень серьезными. Назовем принятием решений особый вид человеческой деятельности, состоящий в выборе одного из нескольких вариантов решений. Каждый, кто сталкивался с таким выбором при принятии деловых или личных решений, знает, сколь он сложен и сколько умственных усилий и душевных сил он требует. Любые методы, которые помогают человеку лучше понять, что он хочет и что у него есть, которые помогают оценить с единых позиций желаемые цели и имеющиеся ресурсы, являются не только полезными, но иногда и просто неоценимыми.

Методы, помогающие человеку в принятии решений, длительное время были предметом внимания как практиков, так и теоретиков. Над такими методами работали многие экономисты и нашего, и предыдущего веков, специалисты по государственному (административному) управлению, юристы, военные.

Однако только в последние 20—30 лет возникло научное направление, для которого центральными являются вопросы о том, как человек принимает решение и как ему можно и нужно помогать в сложных задачах выбора. Проблемы принятия решений ставятся и рассматриваются с единых позиций, вне зависимости от областей конкретно-

го приложения. Такая постановка вопроса вполне оправдана, так как уже накопилось немало доказательств того, что существуют общие черты и характеристики поведения людей при принятии экономических, политических, социальных, технических и даже личных решений. Общность поведения людей и общность требований к их поведению обуславливают единые методологические задачи, которыми и занимается теория принятия решений.

Всякое новое научное направление возникает на базе чего-то уже известного и, как правило, связано с другими направлениями. Несомненная связь принятия решений с исследованием операций, кибернетикой, искусственным интеллектом [1]. В то же время принятие решений имеет свои, отличные от прочих направлений задачи и свою логику развития.

Начнем с примеров.

1. В качестве лица, принимающего решения (ЛПР), рассмотрим главного инженера проекта сложного инженерно-технического устройства. Таким устройством может быть газопровод, промышленное здание, шахта и т. д. ЛПР имеет различные варианты устройства, из которых он должен выбрать один, желательно наилучший. Такой выбор сложен, так как каждый вариант имеет оценки по многим и весьма разнообразным критериям. Так, в случае газопровода такими критериями могут быть приведенная стоимость, сложность строительства, безопасность населения, сложность эксплуатации и т. д. Ясно, что найти компромисс между противоречивыми оценками достаточно сложно. А найти этот компромисс необходимо, так как в жизни обычно не встречается идеальных вариантов, превосходящих все остальные по всем критериям.

2. Во втором примере лицом, принимающим решения, является руководитель, распределяющий средства на научное оборудование. Имеется несколько научных коллективов, проводящих исследования, требующие современной научной аппаратуры. Средства для приобретения оборудования ограничены, и их нельзя разделить поровну, так как оборудование часто неделимо и сто-

ит дорого. С другой стороны, приобретенное оборудование может повлиять на успех в проведении важнейших исследований. Научные коллективы характеризуются многими разнородными характеристиками — средним возрастом, уровнем квалификации сотрудников, актуальностью темы исследований и т. д. Ясно, что задача ЛПР в таких условиях очень сложна.

3. В следующем примере лицо, принимающее решение, — покупатель. Ему нужно совершить некоторые достаточно дорогостоящие покупки (например, телевизор, зимнее пальто) при естественных ограничениях в средствах. Есть несколько вариантов выбора, отличающиеся такими характеристиками, как стоимость, тип, соответствие моде, удобство пользования и т. д. Потребительский выбор при наличии нескольких вариантов покупки достаточно сложен.

Что же общего в рассмотренных трех случаях принятия решений? Что общего в проблемах главного инженера, руководителя и покупателя? Общим является прежде всего характер рассматриваемой задачи. Во всех случаях нужно принять решение, последствия которого станут до конца ясными лишь в будущем. Эти последствия не могут быть объективно оценены при помощи математических расчетов. Дело в том, что в каждой из рассматриваемых ситуаций варианты решений имеют оценки по многим критериям. Как правило, эти оценки противоречивы, т. е. одни варианты лучше по одним критериям, а другие — по другим. Никакие расчеты не могут определить наилучший компромисс между этими критериями. Но так как решение должно быть принято (выбор наилучшего варианта должен быть осуществлен), то недостаток информации, связанный с наличием многих критериев, необходимо восполнить. Эта неопределенность может быть устранена только на основании информации лица, принимающего решения.

11. ПРОБЛЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

1. Принятие решений и исследование операций: сопоставление

Для лучшего понимания особенностей принятия решений как научного направления сопоставим его с хорошо известной научной дисциплиной — исследованием операций.

При рассмотрении исследования операций как сложившегося научного направления важно отметить его следующие особенности.

1. Объективный характер используемых моделей.

Построение моделей рассматривается в рамках исследования операций как средство отражения объективно существующей реальности. Хотя многие специалисты по исследованию операций подчеркивают, что построение моделей, выбор параметров являются непростым делом [2], предполагается, что все зависит от опыта и умения специалиста. Когда модель, правильно отражающая действительность, найдена, критерий установлен, оптимальное решение возникает единственно возможным образом (если не принимать во внимание вычислительных трудностей). «Другими словами, опираясь на одни и те же данные, различные специалисты-аналитики должны получать одинаковые результаты» [3].

2. Заказы на проведение исследования операций выдаются руководителями. Получив такой заказ, аналитик исследует систему, внешнюю среду и пытается найти адекватную модель. В этой работе сам руководитель чаще всего не нужен. В описаниях многочисленных случаев применения методов исследования операций подчеркивается, что группа аналитиков сама находит удачное решение. Конечно, иногда руководитель дает дополнительную информацию. Но его роль при этом не отличается от роли любого сотрудника организации.

Когда решение найдено, задача руководителя — внедрить его. Иначе говоря, руководитель дает заказ и получает готовое решение. Все остальное

делают аналитики — специалисты по исследованию операций.

В общем случае заказ руководителя может быть сформулирован в следующем виде: «Найдите мне наилучшее (оптимальное), единственно верное и научно обоснованное решение». Определяя такой заказ, руководитель находится в достаточно удобном положении (особенно если плата за работу специалистов невелика): он полагается на силу научного подхода.

3. Существует объективный критерий успеха в применении методов исследования операций. Если проблема, требующая решения, ясна, критерий определен, то применение аналитического метода сразу показывает, насколько новое решение лучше существующего.

В отличие от задач исследования операций в задачах многокритериального выбора всегда существует неопределенность, связанная с сопоставлением оценок по различным критериям. Эта неопределенность является принципиальной и не может быть исключена на основе использования моделей и объективных расчетов. Люди, принимающие решения и несущие ответственность за их последствия, являются единственным источником информации, позволяющим оценить варианты решений и выбрать из них наилучший.

На первый взгляд может показаться, что в способах решений проблемы произошли сравнительно небольшие изменения — для устранения неопределенности, возникающей из-за наличия многих критериев, используются предпочтения лица, принимающего решения. Однако это не так — использование предпочтений ЛПР является принципиальным. Информация ЛПР основана на его опыте, интуиции, на его политике, но эта информация есть точка зрения субъекта (иногда — группы субъектов), и поэтому она субъективна. Эта субъективная информация является единственно возможной основой объединения основных параметров проблемы в единую модель, позволяющую оценить варианты решений. Следовательно, модель зависит от личности ЛПР. Однако субъективность модели не следует понимать в том смысле, что ЛПР «делает, что хочет». В деловых

решениях человек обязан быть рациональным для того, чтобы иметь возможность убедить других, объяснить им мотивы своего выбора, логику своей субъективной модели. Поэтому любые предпочтения ЛПР должны находиться в рамках определенной рациональной системы. Очень часто его политика, его субъективная модель есть выражение политики группы лиц, находящихся около него. От этого модель не становится более объективной, но она становится как бы более устойчивой — она остается той же для любого ЛПР из некоторой группы, обладающей едиными предпочтениями, единым «взглядом на мир». Часто это единство в значительной степени определяется положением организации, к которой принадлежит данная группа руководителей.

В такой субъективности нет ничего плохого. Среди многочисленных человеческих решений, встречающихся в окружающем нас мире, значительная часть не может быть названа научно обоснованной, если понимать под словом «научно» критерии естественных наук, таких, например, как физика. В типичной ситуации с недостаточно определенными последствиями принимаемых решений, с динамически меняющейся обстановкой, только умение людей строить гипотезы и дополнять ими отсутствующую информацию может спасти положение. Опытные руководители, принимающие неплохие (и часто удачные) решения, хорошо осознают, сколько личного и субъективного они вносят в эти решения. И по-иному многие решения просто нельзя принять.

Итак, в человеческих решениях чаще всего «объективное» невозможно, а качество «субъективного» решения сильно зависит не только от личности ЛПР, но и от методов и процедур разработки и обоснования решений. Именно этими методами и процедурами занимается теория принятия решений.

2. О принятии решений как научном направлении

Существуют все признаки того, что в настоящее время сложилось направление исследований, получившее название «принятие решений». Имеются много-

численные публикации на эту тему, специальные журналы, ряд книг, библиография с большим числом наименований. Исследователей, работающих в этой области, чаще всего можно отнести к трем различным по направлению работ группам: 1) психологи, занимающиеся изучением и описанием реальных процедур принятия решений; 2) математики, занимающиеся аксиоматическими построениями и изучением моделей выбора; 3) специалисты по нормативным методам, предписывающим людям правила рационального выбора.

Эти группы работают, безусловно, над интересными и содержательными проблемами, хотя часто работы специалистов из различных групп оказываются никак не связанными, несмотря на то что они направлены к единой цели — построению и всестороннему обоснованию методов принятия решений.

С нашей точки зрения, основным объектом исследования в данной области являются нормативные (прескриптивные) методы принятия решений. Именно наличие таких методов оправдывает право этой области на самостоятельное существование. Если их исключить, то область исследований распадется на одно из частных направлений психологии и одно из частных направлений прикладной математики.

Цель данной брошюры состоит в том, чтобы рассказать о классификации и анализе существующих методов принятия решений, а также рассмотреть критерии всестороннего обоснования этих методов. Чтобы ограничить круг рассматриваемых вопросов, мы не будем касаться проблем построения математической теории выбора [5, 6, 7], а сосредоточим внимание на методах принятия решений. Мы не будем касаться также проблем коллективного выбора [8].

3. Классификация проблем принятия решений

Выделим характеристики проблем принятия решений, наиболее существенные с точки зрения построения методов их решения.

Первой такой характеристикой является наличие (или отсутствие) об-

ективной модели, связывающей большинство основных параметров проблемы. Как будет показано далее, существует широкий класс проблем принятия решений, для которых можно построить надежную количественную модель (аналогичную моделям в исследовании операций), причем качество полученного решения оценивается по многим критериям. Эти проблемы являются как бы многокритериальными аналогами соответствующих известных проблем исследования операций.

Второй характеристикой являются требования, предъявляемые к виду окончательного решения. Наиболее распространенными их типами являются: 1) выделить один наилучший вариант решения; 2) разделить рассматриваемые варианты на несколько классов решений; 3) упорядочить варианты по качеству.

Третья важная характеристика связана с тем, насколько нова рассматриваемая проблема для лица, принимающего решения. Проблема может быть новой для ЛПР или повторяющейся. Проблема рассматривается как новая, если она сама по себе или обстановка, в которой осуществляется выбор, встречаются впервые. При повторяющихся решениях ЛПР может выработать типовые правила принятия решений, так как имеет возможность неоднократно наблюдать результаты их применения. В новых (уникальных) проблемах ЛПР вырабатывает правило в ходе решения проблемы. К новым можно отнести все проблемы, для которых типовые правила еще не разработаны.

По информированности лица, принимающего решения, мы можем разделить проблемы принятия решений на два существенно различающихся класса — проблемы, где ЛПР может сам быть экспертом (сам может оценить варианты решений как в целом, так и по отдельным критериям), и проблемы, где роли ЛПР и экспертов существенно отличаются.

Для проблем первого класса характерно наличие у ЛПР целостного представления об альтернативном варианте целостного образа — «гештальта». Часто этот гештальт намного шире и глубже, чем его формальное представление сово-

купностью оценок по многим критериям. Если проблема знакома ЛПР, то он уверенно использует набор гештальтов в ходе ее решения [9]. Для таких проблем полезность применения методов принятия решений состоит прежде всего в систематизации работы ЛПР, организации процесса сбора и подготовки информации. В то же время роль методов принятия решений в самой оценке альтернатив ограничена, так как человек, основываясь на своем целостном восприятии альтернатив, может вмешиваться в формальный процесс оценки, предугадывать его результат, учитывать дополнительные нюансы при более детальном анализе. Многие проблемы такого типа встречаются, например, при выборе покупателем предметов повседневного спроса. Назовем этот класс проблем проблемами целостного выбора.

Проблемы второго класса характерны для тех случаев, когда ЛПР сам по себе не обладает информацией, достаточной, чтобы иметь представление об альтернативах. Для получения такой информации необходима помощь экспертов, обладающих специальными знаниями. ЛПР определяет состав параметров (критериев), характеризующих его отношение к рассматриваемой проблеме, строит решающее правило. Но ЛПР не имеет целостного представления об альтернативе до начала процесса выбора: оно возникает у него лишь как совокупность оценок альтернативы по многим критериям. Примером таких проблем является выбор проектов сложных социально-технических систем. Для этих

проблем роль методов принятия решений не ограничивается помощью ЛПР в систематизации процесса принятия решений. Методы принятия решений становятся крайне важным средством построения решающего правила, определяющего общую оценку альтернативы на основе ее оценок по многим критериям. Именно в этом правиле заключается политика ЛПР; ему гораздо легче внести изменения в решающее правило, чем в результирующие общие оценки альтернатив. Назовем проблемы этого класса проблемами критериально-экспертного выбора.

Последней важной характеристикой проблемы принятия решений является ее размерность. Под размерностью мы понимаем количество критериев, количество альтернативных вариантов решений. Ясно, что размерность проблемы влияет на выбор метода ее решения.

Из пяти приведенных выше характеристик три характеризуют обстановку, в которой совершается выбор: наличие или отсутствие объективной модели, новые или повторяющиеся решения, критериально-экспертный или целостный выбор. Эти характеристики являются первичными, основными. Две другие характеристики (тип требуемого решения и размерность) более тесно связаны с выбором того или иного метода для ситуаций, представленных тремя первичными характеристиками. Эти ситуации приведены в табл. 1.

Буквами в таблице обозначены различные типы ситуаций принятия решений. Далее мы более подробно оста-

Таблица 1

Тип модели	Тип решения	Критериально-экспертный выбор	Целостный выбор
Объективная модель при многих критериях	Уникальные решения	А	Б
	Повторяющиеся решения	В	Г
Субъективная модель	Уникальные решения	Д	Е
	Повторяющиеся решения	К	М

новимся на методах принятия решения, соответствующих этим ситуациям. Пока приведем лишь примеры. Примерами, соответствующими ситуациям А и В, являются задачи математического программирования при многих критериях [10]. Примером для ситуации Б может быть выбор конструкций механизмов и машин при наличии многих критериев [11]. Ситуация Д является типичным объектом применения многих многокритериальных методов [12, 13]. Ситуация Е возникает обычно при принятии личных решений (выбор профессии, планирование семьи и т. д.). Ситуация М возникает при построении так называемых экспертных систем [14] и может быть названа проблемой выявления знаний. В ситуации К обычно используются модели, аппроксимирующие поведение человека [15].

III. МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ С ОБЪЕКТИВНЫМИ МОДЕЛЯМИ

1. Многокритериальные задачи линейного программирования

Существует один класс многокритериальных задач с объективными моделями, которые уже 10—15 лет привлекают внимание многих исследователей — это многокритериальные задачи математического программирования. Причиной такого внимания является широкая распространенность этих задач: они встречаются при обосновании экономических, организационных и технических решений. Так, к качеству решения многих экономических задач все чаще предъявляется одновременно несколько (обычно противоречивых) требований. Например, производственный план может оцениваться по критериям прибыли, себестоимости продукции, равномерности выпуска продукции и т. д.; наряду с экономическими приобретают значение и другие факторы (воздействие на окружающую среду, социальный эффект и т. д.). Ясно, что лишь учет множества критериев может позволить рационально обосновать важные экономические решения.

Для решения многокритериальных задач математического (чаще — линейно-

го) программирования в последние годы применяется «подход, основанный на идее выявления предпочтений одновременно с исследованием допустимого множества действий для отыскания эффективных решений» [16]. Средством реализации такого подхода являются человеко-машинные (ЧМ) процедуры, которые называют также интерактивными, диалоговыми.

ЧМ-процедура принятия решений представляет собой циклический процесс взаимодействия человека (ЛПР) и ЭВМ. Цикл состоит из фазы анализа и принятия решений (постановка задачи для ЭВМ), выполняемой ЛПР и фазы оптимизации (поиск решения и вычисление его характеристик), реализуемой ЭВМ. В процессе взаимодействия ЛПР проясняет характерные черты задачи, выявляет и уточняет свои предпочтения и в результате сообщает дополнительную информацию, благодаря которой ЭВМ вырабатывает все более совершенные решения. Так осуществляется самообучение на реальном материале задачи, что и объясняет потенциальную эффективность подобных систем принятия решений. Процесс заканчивается, когда ЭВМ вырабатывает приемлемое для ЛПР решение и при этом ЛПР убеждается в нецелесообразности дальнейших попыток получить лучшее решение при данной модели.

На ключевые вопросы, возникающие при создании ЧМ-процедур, — как распределить обязанности между человеком и ЭВМ и как организовать процесс их взаимодействия — обычно даются рекомендации самого общего характера: каждому следует поручить те действия, которые у него лучше получаются. Однако практическая реализация подобных рекомендаций крайне затруднительна и представляет собой самостоятельную сложную задачу. Обоснованное решение этой задачи требует исследования специфики рассматриваемых задач и изучения характеристик человека в процессе принятия решений.

Объектом применения большинства рассматриваемых ЧМ-процедур является следующая задача многокритериального линейного программирования.

Найти вектор $x = (x_1, \dots, x_n)^T$ при-

надлежащий области

$$D = \{A \cdot x \geq 0, i=1, \dots, n\} \quad (1)$$

(где A — $p \times n$ -матрица, b — p -вектор) и максимизирующий или минимизирующий совокупность целевых функций

$$c_k(x) = \sum_{i=1}^n c_{ik} x_i, \quad k=1, \dots, N \quad (2)$$

при наиболее предпочтительном соотношении между их значениями в точке решения. Это требование означает: в множестве X эффективных (парето-оптимальных) решений следует отыскать решение x^* , соответствующее экстремуму априорно неизвестной функции полезности ЛПР:

$$x^* = \arg \max V(z), \quad (3)$$

где $z = (c_1(x^*), \dots, c_N(x^*))$.

В [10] показано, что к приведенной выше постановке сводятся так называемые задача поиска удовлетворительного решения и задача целевого программирования.

Общая схема ЧМ-процедуры. Как уже говорилось, ЧМ-процедура состоит из чередующихся фаз анализа и оптимизации. Фаза может включать в себя несколько шагов.

Фаза оптимизации. ЭВМ: А) используя полученную от ЛПР на предыдущем шаге информацию $I_{\text{ЛПР}}$ формирует новую область допустимых решений D^i ; Б) вычисляет соответствующее новым данным решение x^i (вместе с характеризующим его вектором z^i); В) вырабатывает вспомогательную информацию $I_{\text{ЭВМ}}$.

Фаза анализа. ЛПР: Г) Оценивает представленное решение (или несколько решений) и определяет, является ли оно приемлемым. Если да, то процедура окончена; в противном случае анализирует вспомогательную информацию $I_{\text{ЭВМ}}$; Д) сообщает дополнительно информацию $I_{\text{ЛПР}}$ с помощью которой можно вычислить новое решение x^{i+1} .

ЧМ-процедуры, созданные для решения описанных выше задач, отличаются друг от друга содержанием и способами выполнения каждого из указанных шагов. Эффективность ЧМ-процедур зависит в наибольшей степени от характера взаимодействия ЛПР и ЭВМ,

выражаемого в количестве и качестве информации $I_{\text{ЛПР}}$, $I_{\text{ЭВМ}}$.

С указанной точки зрения можно выделить три группы ЧМ-процедур.

Прямые ЧМ-процедуры. Этот тип процедур характеризуется тем, что человек непосредственно ведет поиск предпочтительного значения, задавая на каждом следующем шагу новое решение x^i или новые параметры, по которым оно может быть вычислено. Таким образом, в прямых процедурах отсутствует шаг А. В основе прямых процедур лежит предположение, что ЛПР без труда определяет необходимый компромисс между критериями; ему нужно лишь некоторое изучение области допустимых значений.

Процедуры оценки векторов. В этих процедурах ЛПР непосредственно оценивает полезность альтернативных вариантов решений, предъявляемых ему в виде векторов в пространстве критериев.

Процедура Дайера — Джоффриона [17];

Шаг Б. Определяется x^i , вычисляется z^i .

Шаг В пропускается.

Шаг Г. ЛПР анализирует z^i .

В данной ЧМ-процедуре информация $I_{\text{ЛПР}}$ формируется в процессе диалога с ЭВМ, состоящего из следующих действий (шагов типа Д и А).

а) ЛПР определяет коэффициенты замещения в точке решения: $I_{\text{ЛПР}} = \{\delta(z^i)\}$.

При этом используется весьма сильное предположение, что для любой точки критериального пространства ЛПР может указать такое приращение δ_i любого критерия c_i , которое будет полностью компенсировано уменьшением на единицу значения опорного критерия c_k . Полученный в результате вектор коэффициентов замещения

$$\delta = (\delta_1, \dots, \delta_{k-1}, 1, \delta_{k+1}, \dots, \delta_N)$$

определяет градиент функции полезности ЛПР в точке z .

б) С помощью метода Франка — Вульфа определяется соответствующее $I_{\text{ЛПР}}$ «наилучшее» направление в пространстве решений (характеризуемое вектором d^i), движение вдоль которого приводит к максимальному возрастанию функции полезности ЛПР.

в) Для выбранной заранее сетки значений параметра $t_r = \frac{1}{r}$, $r=1, \dots, R$, определяющих величину шага в данном направлении, вычисляются $c_k(x' + t_r d')$ для всех k . Результаты в виде таблицы, состоящей из N строк и $R+1$ столбцов, представляются ЛПР.

г) Анализируя таблицу, ЛПР выбирает значение параметра t_r , соответствующее, по его мнению, максимальному возрастанию функции полезности. Тем самым определяется новая точка $x^{i+1} = x' + d' t_r$.

Процедуры поиска удовлетворительных значений критериев. К данной группе относятся ЧМ-процедуры, в которых ЛПР, накладывая и изменяя ограничения на значения критериев в точке решения, решает задачу поиска удовлетворительных значений l_i критериев $c_i(x)$.

Процедура STEM [18, 19] была первой ЧМ-процедурой такого класса:

Шаг А'. Вычисляется система весов λ^i , соответствующая наибольшей сумме относительных значений критериев (в [18] даны два способа определения весов).

Шаг Б'. Вычисляется решение x^i и вектор z^i .

Шаг В'. Формируется сообщение $I_{ЭВМ} = \{x', \max_k c_k(x'), k=1, \dots, N\}$.

Шаги Г', Д'. Если $z^i \notin I$, то ЛПР указывает, какой из критериев является наименее удовлетворительным и насколько следует улучшить значение по этому критерию. Таким образом, $I_{ЛПР} = \{F_j(z^i) l_j^i\}$, где $F_j(z^i)$ — характеристический критериальный вектор, j -я составляющая которого равна 1, а остальные $N-1$ составляющих равны 0; l_j^i — величина порога удовлетворительности.

Шаг А'ⁱ⁺¹. Определяется новая область допустимых решений (к области D^i добавляется соотношение $c_j(x) \geq l_j^i$).

Шаг Б'ⁱ⁺¹. Вычисляются решение x^{i+1} и вектор z^{i+1} .

Шаг В'ⁱ⁺¹. Вычисляются веса λ^{i+1} . Формируется сообщение $I_{ЭВМ}^{i+1} = \{z^{i+1}, \max c_k(x^{i+1})\}$ и т. д.

2. Многокритериальная задача о назначениях

Известная в исследовании операций задача о назначениях [3] состоит в оп-

тимальном распределении работ среди исполнителей. Многокритериальная задача о назначениях была впервые рассмотрена в [20].

В качестве принципиальных отличительных черт рассматриваемой задачи можно выделить следующие.

1. Важной особенностью такой задачи является наличие лица, принимающего решение. Однако его роль здесь иная, чем в обычных задачах принятия индивидуальных решений. В самом деле, пусть встретилась ситуация, когда все работы (объекты) и исполнителей (субъекты) можно разбить попарно так, что: а) для каждого субъекта требования «своего» объекта точно соответствуют его возможностям, а требованию других не соответствуют; б) для каждого объекта «свой» субъект полностью удовлетворяет его требованиям, а прочие не удовлетворяют. Ясно, что в данной ситуации имеется совокупность очевидных назначений, состоящих из наиболее близких пар объект — субъект. Очевидно, что рациональное лицо, принимающее решение, признает такие назначения наилучшим решением проблемы, хотя при этом он сам практически ничего не делает для ее решения.

Но имеются ситуации, когда вмешательство ЛПР необходимо. В общем случае в рассматриваемой задаче не существует очевидных назначений. В связи с этим возникают проблемы следующего вида: а) К какому из нескольких объектов ближе по характеристикам конкретный субъект? б) К какому из нескольких субъектов ближе по характеристикам данный объект? Ответы на эти вопросы могут быть определены при помощи специальных процедур получения информации от ЛПР. Итак, роль ЛПР состоит в определении назначений для случаев, отличающихся от идеального.

2. Каждый исполнитель и каждая работа характеризуются вектором оценок по совокупности критериев. Критерии оценки исполнителя и работы имеют как бы «зеркальный» характер — одному (или нескольким) критерию, характеризующему требования, предъявляемые работой, соответствует один (или несколько) критерий, характеризующий возможности исполнителя.

3. Независимость оценок от членов коллектива, к которому относится решение многокритериальной задачи о назначениях.

В ряде работ каждый элемент одного множества (например, исполнитель) оценивает все элементы другого множества (например, работы). В рассматриваемой задаче либо эти оценки дает сам ЛПР, либо ЛПР определяет независимых экспертов, которые и оценивают элементы двух множеств по сформулированным критериям.

Учет приведенных выше особенностей позволяет сформулировать многокритериальную задачу о назначениях. Имеется n субъектов и n объектов, каждый из которых характеризуется совокупностью оценок по N критериям. Эти оценки определены экспертами так, что каждый объект и субъект имеют одну оценку по каждому из критериев. Имеется лицо, принимающее решение, — руководитель, ответственный за решение задачи о назначениях. Необходимо определить n наиболее близких по своим характеристикам пар объект — субъект.

Сформулированная выше многокритериальная задача о назначениях принципиально отличается от известной в исследовании операции аналогичной задачи (3). Принципиальное отличие нашей постановки заключается прежде всего в участии ЛПР в решении проблемы. В целом сформулированная выше проблема занимает промежуточное положение между задачами принятия индивидуальных и коллективных решений: ЛПР принимает критерий, характерный для задач принятия коллективных решений и учитывающий в первую очередь не общесистемные соображения, а интересы членов коллектива.

Существенные трудности решения нашей задачи заключаются в наличии многих критериев оценки объектов и субъектов, в необходимости рассмотрения задач с достаточно большим числом субъектов и объектов и в стремлении построить такой метод решения, когда информация от ЛПР использовалась бы в минимально возможной степени.

Основная идея излагаемого далее подхода к решению многокритериальной задачи о назначениях заключается в декомпозиции рассматриваемой проблемы.

Хотя каждый из рассматриваемых субъектов и объектов имеет оценки по всем критериям, его характеристики рассматриваются не абсолютно, а относительно. Для каждого объекта определяется степень соответствия его требованиям характеристик всех субъектов и, наоборот, для каждого субъекта определяется его соответствие требованиям объекта. На основе анализа таких соответствий делается попытка определить назначения.

Разработанный метод решения включает в себя два этапа. Первый — этап формального анализа — проводится без участия ЛПР. На этом этапе на основе информации об объектах и субъектах определяются идеальные назначения, если таковые существуют. Второй состоит в получении дополнительной информации от ЛПР и определении на ее основе наиболее близких по своим характеристикам пар объект—субъект.

Рассмотрим, в чем заключаются основные идеи этапа формального анализа, предварительного введения необходимых обозначения.

Обозначим через O_i объекты ($i=1, \dots, n$), а через C_j — субъекты ($j=1, \dots, n$). Пусть o_{ij} — оценка i -го объекта по j -му критерию, а c_{ij} — оценка i -го субъекта по j -му критерию ($j=1, \dots, N$). Далее будут рассматриваться дискретные шкалы оценок. Причина этого состоит в том, что в задаче о назначениях многие критерии имеют качественный, субъективный характер. Для таких критериев характерны шкалы с небольшим числом качественных словесных оценок, причем обычно число таких оценок невелико (3—5). Далее предполагается, что оценки на шкалах упорядочены от лучшей к худшей. Если a_k — номер оценки на шкале j -го критерия, то при $k=1$ имеем худшую оценку.

Пусть имеется объект O_i с оценками o_{i1}, \dots, o_{iN} и субъект C_j с оценками c_{j1}, \dots, c_{jN} (где o_{ij}, c_{ij} — номера оценок на шкалах j -го и k -го критериев).

Определим j -ю компоненту вектора соответствия характеристик i -го субъекта требованиям v -го объекта в следующем виде:

$$\bar{c}_{iv} = \begin{cases} 0, & \text{если } o_{iv} \leq c_{iv} \\ R(o_{iv}, c_{iv}), & \text{если } o_{iv} > c_{iv} \end{cases} \quad (4)$$

где $R(o_{iv}, c_{iv})$ — количество оценок на шкале j -го критерия, на которое o_{iv} превышает c_{iv} . Вектор \bar{C}_i определяет степень несоответствия характеристик i -го субъекта требованиям, предъявляемым v -м объектом.

Определим

$$\bar{o}_{iv} = -\bar{c}_{iv} \quad (5)$$

как j -ю компоненту вектора, характеризующего соответствие между характеристиками v -го объекта и требованиями i -го субъекта.

Формулы (4) и (5) соответствуют типичному

для задачи о назначениях пониманию оценок объекта в качестве уровня требований, предъявляемых к характеристикам субъекта, назначаемого на этот объект. С другой стороны, оценки субъекта рассматриваются как его возможности.

Естественно принять, что после удовлетворения уровню требований оценки субъекта являются одинаково хорошими для объекта, и наоборот.

Для v -го объекта могут быть найдены векторы соответствия

$$\bar{C}_{1v}, \bar{C}_{2v}, \dots, \bar{C}_{nv}.$$

Введем следующее бинарное отношение (отношение B_1): вектор \bar{C}_{iv} доминирует над вектором \bar{C}_{pv} , если

$$\bar{c}_{iv} \leq \bar{c}_{pv}, j=1, \dots, N, \quad (6)$$

причем хотя бы для одной компоненты справедливо строгое неравенство.

Вектор \bar{C}_{iv} эквивалентен вектору \bar{C}_{pv} , если

$$\bar{c}_{iv} = \bar{c}_{pv}, j=1, \dots, N. \quad (7)$$

Векторы \bar{C}_{iv} и \bar{C}_{pv} несравнимы, если не выполняются (6) и (7).

В соответствии с бинарным отношением B_1 на элементах $\bar{C}_{1v}, \dots, \bar{C}_{nv}$ может быть построен граф T_v , в котором дугой, направленной от \bar{C}_{iv} к \bar{C}_{pv} , отражается отношение доминирования (6), дугой с двумя противоположными стрелками — отношение эквивалентности (7), а отсутствием дуги — отношение несравнимости.

Для m -го субъекта могут быть определены в соответствии с (5) векторы $\bar{O}_{1m}, \dots, \bar{O}_{nm}$. Аналогично B_1 вводится бинарное отношение B_2 между этими векторами и строится граф S_m .

Графы T_v , S_m ($v, m=1, \dots, n$) содержат ценную информацию о сходстве объектов и субъектов. Назовем их графами подобия. Для выявления этой информации необходим анализ графов подобия.

Выделим в графе подобия вершины, в которые не входят однонаправленные дуги. По сути дела, выявленные элементы являются множеством Парето в пространстве критериев. Назовем выделенные вершины ядром 1-й степени. Если элементы ядра 1-й степени несравнимы, то им присваивается индекс H_1 ; если они эквивалентны, то им присваивается индекс D_1 .

Удалим из графа подобия вершины, входящие в ядро 1-й степени, и аналогично предыдущему выделим среди оставшихся вершин ядро 2-й степени. При числе ядер, большем двух, и эквивалентности вершин, входящих в ядро 2-й степени, им присваивается индекс D_2 , а при несравнимости — индекс H_1 .

Процесс выделения ядер продолжается до исчерпания вершин графа подобия.

Нетрудно убедиться, что при отсутствии циклов в графе этот процесс конечен и заканчивается не более чем за n шагов.

Важным является вопрос: насколько часто оказываются сравнимыми вершины графа подобия? В работе [20] проведено исследование этого вопроса: получены оценки вероятностей того, что между двумя вершинами графа подобия будет отношение доминирования, отношение доминирования по всем критериям, кроме одного или двух, при предположении о равновероятности получения любой из оценок на шкалах

критериев для субъектов и объектов. Эти вероятности имеют довольно высокие значения. Так, при шести критериях с тремя оценками на шкалах вероятность доминирования одной вершины над другой равна 0,52. В связи с этим можно предположить, что в реальных ситуациях, когда оценки групп субъектов и объектов в среднем близки между собой, графы подобия будут содержать большое число дуг.

Информацию, полученную при выделении ядер в графах подобия, удобно анализировать при помощи матрицы сходства M .

Столбы матрицы сходства соответствуют объектам, а строки — субъектам. Клетка, находящаяся на пересечении v -го столбца и m -й строки, должна характеризовать оценку v -го объекта со стороны m -го субъекта и оценку m -го субъекта со стороны v -го объекта.

При помощи матрицы сходства M можно формально определить введенное выше понятие очевидного назначения. Очевидному назначению соответствует клетка матрицы сходства с индексами D_1/D_1 . Наилучшему решению (n очевидных назначений) соответствует случай, когда после перестановки столбцов и строк можно получить матрицу сходства, на главной диагонали которой находятся все клетки с элементами D_1/D_1 .

При заполнении матрицы сходства возможны следующие три случая:

- а) есть хотя бы одна клетка D_1/D_1 ;
- б) в каком-либо столбце или строке имеется несколько таких клеток;
- в) нет клеток D_1/D_1 .

В случае «а» можно сразу же сделать идеальные назначения и понизить размерность рассматриваемой задачи. После понижения размерности необходимо вернуться к графам подобия. Выделяемые ядра будут также совсем иными. Далее возникает новая матрица сходства, выделяются (если они существуют) новые очевидные назначения и т. д.

В случае «б» имеется возможность сделать сразу несколько назначений. Для получения их возможно большего количества следует использовать алгоритм определения максимального числа паросочетаний.

В случае «в» необходим переход к этапу получения дополнительной информации от ЛПР. Цель получения дополнительной информации от ЛПР состоит в установлении новых связей в графах подобия. Согласно результатам, приведенным в [20], вершины графов подобия в значительном большинстве случаев несравнимы лишь по 1—2 критериям, что делает задачу их сравнения не столь сложной. Для сравнения многокритериальных объектов, отличающихся оценками по небольшому количеству критериев, наиболее рационально применять методы компенсации (см. обзор в [22]).

Итак, перед ЛПР стоят типовые задачи сравнения следующего вида. Имеются два субъекта (объекта) и объект (субъект). Какой из субъектов (объектов) расположен ближе к объекту (субъекту) в многокритериальном пространстве?

Идея метода решения этой типовой задачи заключается в следующем

ЛПР последовательно осуществляет сравнения оценок субъектов (объектов) по паре критериев, по которым эти оценки противоречивы (т. е. у одного субъекта оценки лучше по одному критерию, а у другого — по другому). Цель сравнений — попарно скомпенсировать оценки по таким критериям, с тем чтобы преимущества одного из субъектов стали очевидными. При этом предусматривается проверка информации ЛПР на непротиворечивость.

В [20] доуказано, что при непротиворечивой информации ЛПР всегда можно найти хотя бы одно назначение, т. е. всегда можно получить в матрице M клетку D_1/D_1 . В [20] приведены также обобщения задачи на случаи неравного числа объектов и субъектов, а также неравного числа критериев оценки субъектов и объектов.

3. Другие типы многокритериальных задач с объективными моделями

Существуют постановки и методы решения еще ряда многокритериальных задач с объективными моделями. Среди них упомянем задачу о заполнении контейнеров объектами, имеющими оценки по многим критериям [23], многокритериальную задачу о рюкзаке [24].

Общими элементами во всех этих задачах являются: 1) наличие объективной и субъективной составляющих, причем вторая существенно определяет весь ход решения; 2) постепенный процесс выработки решения у ЛПР, в котором важную роль играет знакомство с возможностями, определяемыми объективной моделью.

Методы решения задач данного типа использовались обычно для критериально-экспертного выбора, для новых и повторяющихся решений, для самой различной размерности (хотя обычно количество критериев не превышало 10). Цель решения обычно состояла в поиске одного наилучшего варианта.

Если рассматривать проблемы конструирования механизмов и машин, то в них построение объективной модели является сложной самостоятельной задачей, требующей часто усилий больших коллективов исследователей (см., напри-

мер, [11]). После построения модели важный этап состоит в исследовании многокритериального пространства возможных решений, для чего предложено использовать ЛПР-последовательность точек. Выделенные эффективные точки предъявляются ЛПР для непосредственного анализа, в процессе которого ЛПР определяет интересующие его сочетания оценок по многим критериям.

IV. МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ С СУБЪЕКТИВНЫМИ МОДЕЛЯМИ

1. Критериально-экспертный выбор в новых ситуациях

Для этого класса задач принятия решений чаще всего разрабатывались методы принятия решений. Это, конечно, не случайно — именно в задачах критериально-экспертного выбора, возникающих в новых ситуациях, ЛПР более всего нуждается в аналитической поддержке. Именно в таких проблемах ЛПР не может последовательно проводить в жизнь свою политику без помощи специальных методов принятия решений.

С другой стороны, требования к методам принятия решений в таких проблемах резко возрастают. Способ построения решающего правила непосредственно влияет на оценку альтернатив, эта оценка не может быть скорректирована на основе гештальта ЛПР. Следовательно, способы получения информации от ЛПР, знание действительных возможностей и ограничений людей при переработке информации приобретают здесь решающее значение.

В то же время в современном мире становится все больше уникальных проблем критериально-экспертного выбора. Возрастает динамизм окружающей среды, что увеличивает количество новых проблем. Возрастает число критериев оценки альтернатив и техническая сложность получения оценок для каждой из альтернатив по каждому из критериев.

1.1. Наиболее распространенные методы

Мы не будем подробно излагать многочисленные методы принятия решений,

относящиеся к данному классу задач, а дадим лишь общие характеристики распространенных групп методов.

Аксиоматические методы. Аксиоматические методы направлены на построение функции полезности ЛПР. Выдвигаются утверждения о виде функции полезности, тех или иных ее свойствах, которые и называются аксиомами. Часть аксиом не проверяется (аксиомы слабого порядка и транзитивности). Обычно проверке подвергаются так называемые аксиомы независимости, позволяющие установить конкретный вид функции полезности. Вся информация, получаемая от ЛПР, рассматривается как средство проверки гипотезы о виде функции полезности. Аксиоматический подход подробно описан в книге Р. Кини и Х. Райфа [13]. При использовании этого подхода каждый многокритериальный вариант решения получает оценку полезности, размерность задачи обычно не учитывается.

Прямые методы. Прямыми методами называют такие, в которых вид зависимости функции полезности от оценок по многим критериям задается без всяких теоретических оснований, а параметры этой зависимости либо также задаются, либо «впрямую», непосредственно оцениваются ЛПР.

Наиболее известными из прямых методов являются:

а) метод взвешенной суммы оценок критериев, в соответствии с которым полезность U многокритериального объекта равна

$$U = \sum_{i=1}^N w_i x_i,$$

где x_i — оценка объекта по i -му критерию ($i=1, \dots, N$), измеренная по количественной шкале; w_i — вес i -го критерия, измеряемый также по количественной шкале;

б) метод деревьев решений. Этот метод предусматривает получение от ЛПР оценок полезности и субъективной вероятности для каждого из вариантов решений.

Прямые методы обычно приводят к полному упорядочиванию вариантов решений, причем размерность задачи обычно не играет роли.

Методы компенсации. Эти методы основаны на идее компромисса между про-

тиворечивыми оценками по паре (или большему количеству) критериев.

Впервые такая идея была изложена в 1752 г. в частном письме Б. Франклина (приведено в обзоре [26]), где Франклин замечает, что при сравнении трудно одновременно держать в голове все достоинства и недостатки каждой из альтернатив. Поэтому он вписывает в два отдельных списка достоинства и недостатки альтернативы, после тщательного анализа определяет, какой недостаток (или их совокупность) можно считать эквивалентным определенному достоинству (или их совокупности), после чего вычеркивает их из списка.

Теоретическое обоснование одного из методов данной группы — метода суммы разностей оценок альтернатив, — дано А. Тверским [27]. Методы компенсации обычно приводят к квазипорядку на множестве вариантов решений.

Методы порогов сравнимости. К ним относится серия методов ЭЛЕКТРА, предложенных французским ученым Б. Руа [28]. Идея этой группы методов состоит в использовании бинарных отношений между вариантами решений. Бинарное отношение определяет условия, при которых один вариант превосходит другой, они эквивалентны или несравнимы. При изменении условий меняется количество сравнимых альтернатив. При этом изменяется состав так называемого ядра, куда входят альтернативы, оказавшиеся не худшими при всех сравнениях. К этой группе относятся также методы [29]. Отметим, что при использовании данных методов выделяется класс лучших вариантов решений.

1.2. Дескриптивно-нормативный подход

Дескриптивно-нормативный подход основан на изучении способов получения информации от ЛПР и экспертов. В рамках этого подхода данные психологических исследований возможностей человеческой системы переработки информации используются для конструирования новых методов принятия решений.

Метод непосредственной классификаций. Имеются практические задачи, в которых необходимо разделить объекты на несколько классов [30]. Эти объек-

ты характеризуются оценками по N критериям.

Шкала каждого из критериев чаще всего является порядковой и имеет несколько фиксированных значений.

Предполагается, что есть несколько вариантов решений, упорядоченных от лучшего к худшему. Эти варианты характеризуются словесными определениями. Требуется построить классификационное решающее правило, устанавливающее для любого произвольного сочетания оценок по критериям соответствующий вариант решения и тем самым позволяющее объединять объекты, по которым принимаются одинаковые решения, в подмножества, называемые классами.

Приведем формальную постановку задачи. Дано: $K = (1, \dots, N)$ — множество критериев качества, по которым оценивается каждый объект; $x = (x_1, \dots, x_N)$ — множество порядковых шкал критериев; $w_j (j=1, \dots, N)$ — число градаций по шкале j -го критерия. Предполагается, что значения на шкале каждого критерия перенумерованы в порядке убывания их качества (т. е. лучшей градации по j -му критерию соответствует 1, а худшей — w_j); таким образом, $x_j = (1, \dots, w_j)$. $Y = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_N$ — множество векторных оценок; $y_i \in Y$, $y_i = (y_{i1}, \dots, y_{iN})$, где y_{ij} — градация по шкале j -го критерия, приписанная векторной оценке y_i ; $L = |Y| = \prod_{j=1}^N w_j$ — мощность множества Y ; антирефлексивное и транзитивное отношение строгого доминирования P^0 , определяемое на Y порядковостью шкал критериев: $P^0 = \{(y_i, y_j) \in Y \times Y / \forall k=1, \dots, N, y_{ik} < y_{jk}\}$; и E_P такое, что $y_{ip} < y_{jp}$; Q — число упорядоченных вариантов решений. Обозначим через Y_n n -й класс объектов; $n=1, \dots, Q$. Требуется с помощью ЛПР построить отображение $F: Y \rightarrow \{Y_n, n=1, \dots, Q\}$ такое, что 1) $\bigcup_{n=1}^Q Y_n = Y$; 2) если $(y_i, y_j) \in P^0$ и $y_i \in Y_n$, то $y_j \in Y_{n-k} > 1$.

Последнее требование означает, что никакая векторная оценка из Y не может быть отнесена к менее предпочтительному для ЛПР классу решений, чем те, над которыми она доминирует. Упорядоченность вариантов решений определяет на множестве Y антирефлексивное и транзитивное отношение предпочтения $P^1: P^1 = \{(y_i, y_j) \in Y \times Y / y_i \in Y_n, y_j \in Y_{n-k} > 1\}$. Определим на множестве Y отношение предпочтения $P^* = P^0 \cup P^1$. Тогда последнее условие означает требование асимметричности отношения P^* .

В чем же состоят трудности решения рассматриваемой задачи?

Прежде всего ясно, что при значениях L и Q , соответствующих реальным задачам, непосредственное отнесение ЛПР каждого объекта к одному из Q классов решений просто невозможно, так как речь идет о десятках и сотнях тысяч возможных объектов. В то же время необходима полнота решающего правила, по-

зволяющая определить класс для любого объекта.

Во-вторых, при отнесении объекта к классам решений человек будет делать ошибки даже при наличии опыта для конкретной практической ситуации. Следовательно, необходимы способы нахождения и исключения этих ошибок.

Особенностью рассматриваемой задачи является использование порядковых шкал критериев и упорядоченных классов решений. Эта особенность может быть учтена при построении такой процедуры опроса ЛПР, когда ему предъявляется для классификации лишь сравнительно небольшая часть сочетаний оценок по критериям, и полученная информация позволяет классифицировать ряд других векторных оценок.

Основные идеи предлагаемой рациональной процедуры опроса экспертов заключается в следующем.

Пусть эксперту предъявили объект y_i и он отнес его к классу Y_l . Из этого следует: 1) все объекты, которые доминируют над y_i , относятся к классам, не худшим, чем Y_l ;

2) все объекты, над которыми доминирует y_i , относятся к классам, не лучшим, чем Y_l . Так, например, если эксперт отнес y_i к первому (лучшему) классу, то все объекты, доминирующие над y_i , относятся к 1-му классу.

Пусть g_i — число объектов, принадлежность которых к одному из классов решений определяется однозначно, если ЛПР отнес y_i к классу Y_l . Будем называть g_i количеством информации, получаемой в результате предъявления эксперту объекта y_i . Так как количество получаемой информации зависит от того, к какому классу эксперт отнесет данный объект, вводится понятие информативности Φ_i векторной оценки объекта y_i , характеризующее количество ожидаемой информации при предъявлении его эксперту.

Введем меру близости объекта y_i к некоторому классу $Y_l: p_i$. Эта мера характеризует вероятность того, что y_i будет отнесен к классу Y_l . При отсутствии дополнительной информации можно считать, что вероятность p_i пропорциональна расстоянию от объекта y_i до середины l -го класса в многокритериальном пространстве, где расположены все гипотетические объекты.

Информативность предъявления эксперту объекта y_i определяем в следую-

щем виде:

$$\Phi = \sum_{i=1}^Q p_i g_i \quad (12)$$

Заметим, что середина класса определяется как среднее значение оценок по критериям попавших в него объектов.

Процедура рационального опроса эксперта состоит в последовательном предъявлении ему наиболее информативных объектов, т. е. таких y_i , для которых $\Phi_i = \max \Phi$. После того как эксперт отнесет векторную оценку y_i к некоторому классу, для оставшихся неопределенными объектов, вновь подсчитываются показатели информативности, и процедура повторяется. Ясно, что эта процедура человеко-машинная, так как только ЭВМ может быстро определить наиболее информативный объект.

Для оценки эффективности предложенной процедуры проводилось сравнение числа предъявленных объектов при построении разбиения в соответствии с этой процедурой (c_0) с числом предъявлений (c_3), когда использовалась процедура, которая была названа «эталонной» и заключалась в следующем. Если разбиение на классы уже известно, то фактическое количество получаемой информации при предъявлении y_i равно q_i , где i — номер класса, в котором находится объект в данном разбиении. Таким образом, в эталонной процедуре Φ_i вычисляется не по формуле (12), а по формуле $\Phi_i = q_i$. Разбиения строятся с помощью датчика случайных чисел. Усредненные данные для различных значений N , ω , Q (при 1000 испытаний для каждого случая) приведены в табл. 2 (L — общее число объектов).

Предложенная процедура опроса позволяет построить разбиение множества объектов на классы за весьма малое число обращений к эксперту.

При любой процедуре опроса ЛПР нельзя не учитывать возможность получения ошибочных ответов. Это могут быть как случайные ошибки, так и ошибки, связанные с непоследовательностью в выражении предпочтений. Наличие таких ошибок приводит к необходимости повторного предъявления ЛПР части альтернатив для их более внимательного рассмотрения.

В работе [31] даны конструктивный способ поиска противоречий в информации ЛПР и процедура устранения противоречий путем повторного опроса ЛПР. Идея этого способа заключается в поиске таких векторных оценок, для которых изменение класса решений устраняет максимальное число противоречий и не добавляет новых. Доказана сходимость процедуры. Метод непосредственной классификации был применен для различных практических задач: выделение лучших направлений проведения научных исследований и разработок, построение решающих правил в задачах медицинской диагностики и т. д. Создана универсальная система программ, позволяющая осуществлять решение задачи классификации в интерактивном режиме.

Метод ЗАПРОС построения квази-порядка на множестве многокритериальных объектов. Существует достаточно широкий класс практических задач, в которых требуется построить квази-порядок на полном множестве многокритериальных объектов. В работе [21] впервые было предложено использовать для решения таких задач корректный способ получения информации от ЛПР — так называемую замкнутую процедуру, т. е. процедуру, включающую в себя проверку на непротиворечивость получаемой информации. Рассматриваются

Таблица 2

N	ω	L	c_3			c_0		
			Q=2	Q=3	Q=4	Q=2	Q=3	Q=4
4	3	81	3	8	11	8	13	17
	4	256	4	9	13	10	14	21
5	3	243	4	9	15	10	18	25
	4	1024	5	12	19	14	24	33

все пары критериев. С увеличением числа критериев увеличивается и количество избыточной информации, получаемой от ЛПР, что позволяет осуществить ее проверку на непротиворечивость. Эти идеи получили дальнейшее развитие в методе ЗАПРОС (ЗАмкнутые ПРОцедуры у Опорных Ситуаций).

В качестве исходной информации предполагается, что предварительно выбраны критерии и для каждого из них построена порядковая шкала словесно сформулированных оценок, определяющих разные уровни качества по данному критерию. Тогда полное множество многокритериальных объектов определяется декартовым произведением шкал критериев в многокритериальном пространстве.

Пусть N — число критериев, $K = \{q/q = 1, \dots, N\}$ — множество номеров критериев; w_i — число оценок по шкале i -го критерия; $X_i = \{x_i\}$ — множество номеров оценок i -го критерия, расположенных в порядке убывания их качества (шкала i -го критерия), $|X_i| = w_i$; $x_1^i < x_2^i < \dots < x_{w_i}^i$; $Y = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_N$ — множество векторных оценок; $y_i \in Y$ — векторная оценка вида $y_i = (y_{i1}, \dots, y_{iN})$, где $y_{ij} \in X_j$. Требуется на основе предпочтений ЛПР построить на множестве Y отношение квазипорядка.

Полученная от ЛПР информация об упорядоченности оценок по шкалам отдельных критериев позволяет определить на множестве Y асимметричное транзитивное отношение доминирования $P^0 = \{(y_i, y_j) \in Y \times Y / \forall k = 1, \dots, N, y_{ik} \leq y_{jk} \text{ и } \exists l \text{ такое, что } y_{il} < y_{jl}\}$.

Дальнейшее расширение данного бинарного отношения на множестве Y возможно лишь за счет получения дополнительной информации от ЛПР о его системе предпочтения.

Согласно методу ЗАПРОС будем выявлять предпочтения между парами допустимых векторных оценок у двух так называемых опорных ситуаций. Каждая векторная оценка создает у ЛПР образ некоторого объекта, обладающего свойствами, которые характеризуются оценками по критериям качества. Наиболее яркими, «контрастными» для ЛПР являются два образа, соответствующие сочетаниям только лучших или только худших оценок по всем критериям.

Векторные оценки, имеющие только лучшие или только худшие значения по всем критериям, будем называть опорными ситуациями.

ЛПР предъявляется для сравнения допустимая пара векторных оценок y_i и y_j у одной из опорных ситуаций. ЛПР сравнивает изменение качества на шкалах двух критериев, а прочие оценки принадлежат опорным ситуациям (все лучшие или все худшие). Возможны следующие ответы ЛПР:

- 1) первая альтернатива предпочтительнее второй;
- 2) вторая альтернатива предпочтительнее первой;
- 3) альтернативы равноценны.

При N критериях необходимо провести $0,5N(N-1)$ сравнений оценок пар критериев. При этом возникает замкнутая процедура с проверкой на непротиворечивость следующим образом. По результатам каждого из сравнений можно построить единую шкалу оценок двух критериев. Очевидно, что при $N > 2$ информация, необходимая для построения единой шкалы, дублируется (например, при $N=3$ шкалу критериев A и B в ряде случаев можно построить как непосредственно, так и на основе сравнений критериев A и C , B и C), причем количество избыточной информации возрастает с ростом N . Таким образом, при построении единой шкалы оценок N критериев можно осуществить проверку предпочтений ЛПР на непротиворечивость. Такая проверка осуществляется при сравнении каждого ответа ЛПР с ранее полученной информацией. При появлении противоречия противоречивые сравнения предъявляются ЛПР для уточнения предпочтений и корректировки одного (или нескольких) ответов.

Отметим, что с ростом количества критериев увеличивается сложность для ЛПР учета опорной ситуации. Метод выявления предпочтений предусматривает одновременное увеличение количества избыточной информации, используемой для проверки предпочтений ЛПР. Данный способ получения информации от ЛПР неоднократно проверялся на модельных примерах [21], а также в практике работы с ЛПР. Результаты исследований показывают возможность получения непротиворечивой информации при количестве критериев до 7—8 при 3—4 оценках на шкалах.

Наряду с этим наблюдались весьма различные стратегии сравнения (разные единые шкалы) у разных опорных ситуаций. Следовательно, опорная ситуация оказывала непосредственное влияние на стратегию ЛПР. Малое число противоречий показывает, что ЛПР может последовательно и надежно выразить свою стратегию у опорных ситуаций. Надежная и проверенная инфор-

мация у опорных ситуаций позволяет построить две единые шкалы оценок у соответствующих ситуаций.

Далее эта информация используется для проверки факта независимости критериев по предпочтению. В случае зависимости критериев она в первую очередь должна проявиться в различии сравнений ЛПР у опорных ситуаций. Действительно, факт зависимости критериев означает, что величина падения качества вдоль шкалы критерия зависит от опорной ситуации. При порядковых критериях зависимость возникала из-за «ярких», «поглощающих» оценок у той или иной опорной ситуации (появление нового качества).

Проверка на независимость состоит в сопоставлении сравнений для одной и той же пары критериев, сделанных у разных опорных ситуаций. Учтем также, что рассматриваются все возможные пары критериев, и это делает проверку достаточно полной (отметим также, что она более полная, чем в других методах, хотя и не является исчерпывающей).

Возьмем пару критериев и выделим все векторные оценки, относящиеся к этой паре. Если сравнения между парами этих векторных оценок у разных опорных ситуаций одинаковы, то есть основания считать данную пару векторных оценок независимой по предпочтению от остальных.

При независимости критериев по предпочтению можно использовать теорему 3.6 из [13], согласно которой существует аддитивная функция ценности для критериев множества K .

Любые две векторные оценки y_i и y_j могут находиться в одном из следующих отношений: 1) $y_i P y_j$; 2) $y_i I y_j$; 3) $y_i \sim y_j$ (несравнимость), где P — отношение превосходства, I — равноценности.

Если векторные оценки относятся к подпространству независимости критериев, то $y_i P y_j$, если для каждой компоненты y_{ik} можно найти компоненту y_{jk} , менее предпочтительную в соответствии с предпочтениями ЛПР ($y_{ik} I y_{jk}$ при равноценности всех пар компонент); $y_i \sim y_j$, когда такое отношение между парами компонент установить невозможно.

В общем случае задачу сравнения двух векторных оценок по введенному правилу можно поставить как задачу

о максимальном паросочетании [32, 33]. Необходимое и достаточное условие решения такой задачи определяется теоремой Холла [32].

Переход от бинарного отношения к квазипорядку на сочетаниях оценок критериев осуществляется следующим образом. Выделим на основе приведенного выше бинарного отношения все недоминируемые сочетания оценок и назовем их первым ядром. Среди оставшихся выделим второе ядро и т. д. Каждому из сочетаний оценок присваивается ранг i , если над ним доминирует сочетание с рангом $(i-1)$, а само сочетание доминирует над сочетанием с рангом $(i+1)$. Если над сочетанием доминирует другое из k -го ядра, а само оно доминирует над сочетанием из $(k+p)$ -го ядра, то его ранг будет размытым в пределах от $(k+1)$ до $(k+p-1)$.

Метод ЗАПРОС неоднократно применялся для решения различных практических задач.

2. Принятие повторяющихся решений

2.1. Бутстрэппинг

В ситуациях, когда известны объективные последствия большого числа повторяющихся решений, можно подобрать модель, наилучшим образом предсказывающую результат принимаемого решения. Это можно сделать различными способами (см. обзор [34]). Р. Дэвис предложил использовать простую линейную модель взвешенных сумм оценок критериев, не претендуя несколько на то, что эта модель в какой-то мере описывает действительное поведение ЛПР. Он показал в различных экспериментах, что модель имеет хорошую точность предсказания.

Интересны результаты следующих экспериментов. При одной и той же линейной модели веса восстанавливались по половине выборки. Предсказания, сделанные при помощи этих весов, сравнивались с суждениями ЛПР, использовавших те же критерии. Кроме того, веса либо назначались ЛПР, либо просто для всех критериев брались равными. Лучшая точность была получена именно в последних случаях, т. е. при грубых линей-

ных моделях, где веса определялись явно неоптимальным способом. Одна из статей Р. Дэвиса называется «Грубая красота несовершенных линейных моделей» [15]. Сам подход, имеющий характер аппроксимации решений человека в повторяющихся ситуациях, был назван бустраппингом (натягивание сапога). По мнению авторов подхода, ЛПР хорошо назначают критерии, хорошо строят шкалы, но плохо агрегируют многокритериальную информацию. Заметим, что данный подход обычно использовался при критериально-экспертном выборе.

2.2. Построение без знаний

Существует класс повторяющихся решений, последствия которых связаны с решениями не непосредственно, а через промежуточные переменные. Так, в задачах медицинской диагностики постановка диагноза связана с излечением пациента через лечение (заметим, что во многих случаях врачи назначают одинаковое лечение при существенных различиях в диагнозе [9]). В этих случаях уже нельзя непосредственно связать объективный результат решения с оценками по критериям. Для таких ситуаций также возникает задача построения решающих правил. Обычно это решающие правила опытных ЛПР, которые могут быть использованы менее опытными ЛПР в качестве эталонов. Получение совокупности знаний опытного ЛПР может быть названо задачей извлечения знаний. Такие задачи встречаются при построении баз знаний в экспертных системах [14] или системах поддержки принятия решений (см. далее). Одним из способов построения баз знаний является использование описанной выше человеко-машинной системы непосредственной классификации, которая может применяться для задач критериально-экспертного и целостного выбора.

V. ВОЗМОЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В ЗАДАЧАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И ПРЕДЕЛЫ ЭТИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

1. Ошибки и противоречия

Сама постановка задач принятия решений определяет центральную роль человека (ЛПР, экспертов) в этих зада-

чах. Анализ различных методов принятия решений показывает, что одна из причин их различия связана с определенными предположениями авторов методов о возможностях человека. Действительно, если не принимать во внимание вопрос о возможностях ЛПР (и экспертов) в задачах принятия решений, то лучшими методами являются аксиоматические [6, 13].

С формальной точки зрения многокритериальная теория полезности представляется четкой и безупречной. Наверное, поэтому эта теория рассматривается многими как единственное научное обоснование методов принятия решений. Правда, многие сторонники этой теории подвергают критике целый ряд ее построений. Интересный критический анализ можно найти в работах фон Винтерфельда [35], П. Хамфриса [36]. Но эта критика направлена не на методологические основы многокритериальной теории полезности. Указанные работы не подрывают господствующую парадигму аксиоматического построения методов принятия решений. Они направлены на выявление слабых мест в существующем подходе с целью совершенствования теории. Методы принятия решений, не основанные на теории полезности, часто являются эвристическими, лишенными научного обоснования.

Наряду с завершающими работами по построению многокритериальной теории полезности с середины 70-х годов появляются работы с разрушительной критикой самих основ аксиоматических методов — способов получения информации от экспертов и ЛПР. Применительно к ожидаемой полезности такие работы появились еще раньше. Однако центральными являются работы А. Тверского и Д. Канемана [27], поставившие под сомнение возможности корректного получения оценок вероятностей событий. Такие возможности не подвергались никаким сомнениям в известных работах по обоснованию аксиоматических методов.

К настоящему времени накоплено немало данных психологических исследований, показывающих, что при сравнении многокритериальных вариантов решений, классификации, оценке их общей полезности поведение человека существенно отличается от рационального.

Достаточно широко известны три критерия оценки возможностей ЛПР.

1. Сравнение с заранее известными правильными ответами объективного характера.

Конечно, это хороший способ проверки. Но, к сожалению, далеко не всегда, не для всякого типа информационных задач можно подобрать ситуации, когда заранее известны правильные ответы.

2. Последовательность, устойчивость в выражении предпочтений.

При использовании этого критерия испытуемым предъявляются те же вопросы, те же объекты, но разнесенные по времени и очередности предъявления. Очевидно, что устойчивость предпочтений является необходимым условием при оценке возможностей человека в решении информационных задач.

3. Транзитивность.

Это очень распространенное условие иногда называют основным правилом логического вывода. Обобщенное условие транзитивности может быть сформулировано в следующем виде (A, B, C — сравниваемые альтернативы):

если $A > B$ и $B > C$, то $A > C$;

если $A = B$ и $B = C$, то $A = C$;

если $A > B$ и $B = C$, то $A > C$;

Аналогично формулируется условие транзитивности для большего числа альтернатив. Ясно, что условие транзитивности является необходимым при оценке возможностей человека в решении информационных задач.

Применительно к задачам критериально-экспертного выбора нами был предложен еще один критерий [37].

4. Возможность построения сложного решающего правила.

Для целого ряда информационных задач могут выполняться условия последовательности и транзитивности предпочтений, но при этом из-за сложности задач человек использует упрощенные стратегии, искажающие его политику. Известно, что естественная и широко распространенная эвристика, помогающая человеку справляться со сложными для него задачами, состоит в переводе большинства критериев в ограничения. При этом ЛПР определяет сразу (и без связи с прочими критериями) уровень качества по отдельно взя-

тому критерию, примерно удовлетворяющий его. Естественно, что вся задача резко упрощается и при оставшемся небольшом количестве критериев без труда достигается последовательность и транзитивность.

Однако при этом мы имеем не точное выражение политики ЛПР, а ее сильно упрощенный (из-за трудности информационных задач) вариант. Ясно, что критерии и ограничения представляют для ЛПР разные компоненты его политики. Формулируя критерий, ЛПР считает важным с точки зрения своей политики учитывать все различные оценки по шкале критерия. В то же время назначение ограничительного уровня (отсечки) в определенном смысле эквивалентно удалению какого-либо фактора из рассмотрения.

Опытный ЛПР хорошо понимает важность учета всех критериев при разработке политики. Вероятно, именно поэтому Д. Рассо и А. Тверский проводили в своих экспериментах предварительный отбор испытуемых, использовавших все критерии при принятии решений. Итак, возможность решения ЛПР задач критериально-экспертного выбора должна оцениваться также и по возможности построения решающего правила, в котором используются сочетания оценок по многим критериям.

Задачи сравнения объектов с оценками по многим критериям изучались в большом количестве многих работ. Полученные факты свидетельствуют о том, что люди ведут себя нетранзитивно в большом числе случаев. Очень часто при сравнениях ЛПР учитывает лишь часть критериев, а остальные отбрасывает. Иногда просто подсчитывается количество критериев, по которым один из объектов превосходит другой без учета значений оценок по этим критериям.

Задачам выбора лучшего объекта и классификации многомерных объектов посвящалось много работ (см. обзор [39]). При этом также в поведении людей наблюдалась нетранзитивность, непоследовательность, стремление к резкому упрощению задач. Неоднократно отмечались ошибки и противоречия, которые делает человек при назначении весов критериев. Достаточно обстоятельный обзор различных методов назначе-

ния весов [40] подводит к выводу, что не существует корректных методов решения человеком этой задачи. Такое поведение человека при решении многокритериальных задач является повторяющимся и устойчивым. Эти факты убедительны, от них нельзя просто так отмахнуться. Возникает вопрос о причинах такого поведения человека. В своей рецензии на книгу [13] П. Райвет пишет: «В качестве аналогии укажем, что впечатление, которое производит подход с изменением полезности, таково, как если бы мы дали эффективные методы производства костюмов, очень подходящих для людей с тремя ногами и одной рукой. Конечно, было бы лучше начать с изучения людей и понимания, на что они похожи» [41].

2. Человеческая система переработки информации

Что же можно с уверенностью сказать о действительных возможностях ЛПР и экспертов в задачах принятия решений?

Прежде всего заметим, что эти возможности сильно зависят от типа рассматриваемой задачи. Во-вторых, они сильно зависят от путей получения от людей той или иной информации.

Прежде чем остановиться на этих двух решающих, на наш взгляд, факторах, напомним основные (и почти бесспорные) факты, характеризующие систему переработки информации человеком.

В настоящее время подавляющее большинство психологов считает достаточно правдоподобной гипотезу о существовании у людей кратковременной и долговременной памяти, причем емкость кратковременной памяти очень ограничена — она вмещает 7 ± 2 блоков, структурных единиц информации [42]. Г. Саймон [43] считает, что «...неопровержимо доказано, что система обработки информации в основном последовательна во времени: она способна перерабатывать одновременно лишь несколько символов, причем перерабатываемые символы должны храниться в особых ограниченных по емкости структурах памяти, содержимое которых может быстро меняться».

Ограниченная емкость кратковременной памяти заставляет человека приспособ-

ляться к сложным задачам переработки информации, искать пути их решения. В связи с этим в качестве второй основной характеристики человека как существа, перерабатывающего сложную информацию, следует упомянуть его пластичность. Человек или приспосабливается к типу сложной для него задачи, или приспосабливает задачу к своим возможностям. Известно несколько эвристик, используемых людьми в сложных задачах многокритериального выбора [39]. Известны приемы, которыми пользуются люди при назначении вероятностных оценок.

Эвристические приемы выработались именно из-за специфических свойств кратковременной памяти человека. Во многих случаях жизненной практики эти эвристики являются, безусловно, полезными. Многокритериальные задачи оказываются тем особым, крайне трудным для человека классом задач, где привычные эвристики часто приводят к противоречиям, к нарушениям рациональности.

В качестве третьей важной характеристики упомянем способность человека к обучению на своих действиях (чаще всего методом «проб и ошибок»). В связи с этим в долговременной памяти, имеющей практически неограниченную емкость, накапливаются сведения о решенных ранее задачах и результатах их решения.

Приведенные выше три основные характеристики системы переработки информации человеком проливают свет на его поведение применительно к различным задачам принятия решений. Ясно, что при повторяющихся задачах принятия решений человек может запасать в долговременной памяти типовые задачи и соответствующие им решения, которые вырабатываются в процессе обучения.

В задачах целостного выбора возможности ЛПР очень велики, так как он использует гештальт альтернативы как одну структурную единицу информации. Гештальт, как правило, богаче соответствующего набора признаков, в связи с чем решения, принятые на основе целостного представления, часто не совпадают с решениями той же задачи, рассматриваемой как многокритериальная. Именно для ряда таких задач можно найти расхождения между решениями,

принимаемыми в реальном мире, и лабораторными экспериментами, где реальный объект представляется набором признаков.

Наиболее сложными для человека являются уникальные проблемы критериально-экспертного выбора, при которых человек не может использовать хранящиеся в долговременной памяти типовые решения или целостный образ альтернатив, так как их просто нет. В таких задачах ЛПР вынужден рассматривать отдельные оценки альтернатив по критериям, что создает серьезную нагрузку на кратковременную память. Вследствие этого возможны противоречия, неоднозначность в ответах ЛПР, применение упрощающих эвристик.

Кроме типа рассматриваемой задачи, на возможности получения от людей достоверной и непротиворечивой информации сильно влияют способы ее получения. Мы выделим наиболее существенный аспект этой проблемы: проблему измерений.

Известно, как сильно влияет на человека простая переформулировка одной и той же задачи. Специально поставленный А. Тверским эксперимент позволил в одной из задач установить степень такого влияния. К сожалению, существуют многочисленные примеры того, как способам получения информации от людей уделяется мало внимания. Для измерения предпочтений ЛПР используются лотереи, предусматривающие постановку вопросов в непривычном для ЛПР абстрактном виде. Считается возможным построение с помощью ЛПР кривых распределения вероятностей в тех случаях, когда ЛПР фактически имеет лишь смутное представление об объекте измерения. Для измерения сложных, трудноформализуемых понятий, таких, как престиж, подготовленность, информированность и т. д., используются балльные шкалы. Ясно, что необходимость использования непривычного языка выражения предпочтений является не только причиной ошибок, противоречий, но и снижает доверие ЛПР к результатам анализа.

Итак, данные целого ряда исследований подтверждают существование ограниченных возможностей ЛПР в задачах принятия решений. Эти ограничения су-

щественно зависят от типа задачи, способа получения информации, сложности задачи. Конечно, имеется зависимость и от мотивации человека, решающего задачу. Однако, как мы покажем далее, при любой мотивации существуют пределы возможностей ЛПР.

3. Элементарные операции и их оценка

Исследования поведения людей в многокритериальных задачах принятия решений позволяют по-новому взглянуть на возможности человека в этих задачах.

В различных методах принятия решений можно выделить выполняемые человеком операции по переработке информации. Наиболее распространенные операции делятся на три группы: операции с названиями критериев; операции со значениями на шкалах критериев; операции с многокритериальными объектами.

Назовем операцию элементарной, если она не может быть разложена на другие операции, относящиеся к объектам той же группы.

При оценке элементарной операции надо учитывать параметры задачи: количество критериев, характер шкал, число градаций качества при дискретных шкалах, количество переменных, количество альтернатив, характер оценок альтернатив по шкалам критериев (дискретные, количественные, приближенные, точные). Ясно, что при малых значениях количественных факторов (число альтернатив, критериев, переменных, градаций по шкалам) элементарные операции становятся проще, а при больших — сложнее. Определим операции как:

— сложные (С), если имеются результаты психологических исследований, показывающих, что при выполнении этих операций ЛПР допускает много противоречий, использует упрощенные стратегии (например, исключает часть критериев);

— допустимые (Д), если имеются результаты психологических исследований, показывающие, что это либо типичные для ЛПР и многократно совершаемые им на практике операции, либо имеются результаты экспериментов, показы-

вающие, что ЛПР может выполнять их с малыми противоречиями и с использованием сложных стратегий;

— неопределенные (Н, НС, НД), если нет результатов психологических исследований, относящихся к этим операциям, но, рассуждая по аналогии с использованием уже известных фактов, можно вынести предварительное заключение о допустимости (НД) или сложности операций (НС).

Охарактеризуем теперь по отдельности каждую элементарную операцию.

01. Операции с названиями критериев.

011 — операция назначения весов критериев.

Эта элементарная операция используется очень часто. В то же время надежность назначенных субъектом (ЛПР) весов вызывает большие сомнения. Имеются результаты экспериментов, из которых следует, что человек назначает веса критериев с существенными ошибками по сравнению с объективно известными, что назначаемые веса противоречат его непосредственным оценкам альтернатив и т. д. [44]. Хотя дискуссия о возможности использования весов в методах принятия решений еще продолжается, полученных данных уже достаточно, чтобы считать эту операцию достаточно сложной для ЛПР [40].

012 — операция упорядочения критериев по важности.

Мало работ, в которых данный способ получения информации от ЛПР систематически исследовался. Результаты эксперимента [37] при семи критериях и двух градациях на шкалах критериев оцениваются как положительные. Кроме того, был проведен специально поставленный эксперимент [45], результаты которого можно выразить следующим образом: значимые для ЛПР критерии ранжировались надежно и устойчиво. В целом данная элементарная операция может быть охарактеризована как Д.

013 — операция назначения вероятностей для критериев.

В книге [46] приведены результаты систематических исследований операций назначения вероятностей. Показано, что получаемые оценки крайне ненадежны, подвержены влиянию многих факторов. Эту операцию можно считать сложной (С).

02. Операции с отдельными значениями критериев одной альтернативы.

021. — операция сравнения полезностей двух значений по шкале одного критерия.

При интервальных и порядковых шкалах, как непрерывных, так и дискретных, данная операция является очень простой и поэтому имеет оценку Д.

022 — операция сравнения полезностей значений оценок на шкалах двух различных критериев (либо разностей значений оценок на шкалах двух критериев) при фиксированных значениях других критериев. Такое сравнение имеет целью определение предпочтительности одного из значений или их эквивалентности.

Проведенные нами для ряда задач систематические исследования при числе критериев, не превосходящем восьми, показывают, что ЛПР выполняет эту операцию достаточно надежно, с малым числом противоречий. Нахождение компромисса между значениями двух конкурирующих критериев является типичной операцией, выполняемой ЛПР в различных схемах принятия решений. В целом данная операция может быть определена как допустимая (Д).

023 — операция определения в количественном виде значения (изменения значения) одного критерия, которое эквивалентно конкретному значению (изменению значения) другого.

Эта операция используется при поиске точек безразличия, при нахождении эквивалента определенности для лотерей, при назначении количественных эквивалентов качественных оценок на шкалах критериев, при количественном определении градиента функции полезности. Имеются работы, в которых демонстрировалось, что человек не может быть точным измерителем количественных значений полезности [46]. Эта операция может быть охарактеризована как сложная (С).

024 — операция определения удовлетворительного значения по одному критерию.

Систематическое исследование этой операции не проводилось. Согласно результатам многочисленных работ дескриптивного характера, перевод критерия в ограничение, поиск удовлет-

ворительного уровня является для человека типичной операцией, применяемой в различных задачах. Некоторые ошибки могут возникнуть из-за явления «отсчета от якоря», хотя уже предложены способы борьбы с такими ошибками [46]. В целом операцию можно определить как НД.

03. Операции с объектами, имеющими оценки по многим критериям.

031 — операция назначения вида зависимости полезности объекта от оценок по многим критериям (выбор «принципа сравнения»).

При назначении такой зависимости ЛПР должен как-то анализировать последствия своего решения. Однако этот анализ крайне сложен, так как связан со сравнением большого числа объектов. Как справедливо отмечает Е. С. Вентцель, сведение проблемы сравнения объектов к выбору принципов означает «перенос произвола из одной инстанции в другую» [47]. В целом такая операция является крайне сложной для ЛПР, а ее результат — очень ненадежным.

032 — оценка вероятностей для многокритериальных объектов.

Систематическое исследование поведения людей при назначении вероятностей позволяет считать эту операцию сложной [46].

033 — операция сравнения двух объектов и выделение лучшего (худшего) из них.

Имеются многочисленные результаты систематических исследований этого способа получения информации [38]. Эти результаты показывают, что операция достаточно сложна для ЛПР, особенно при большом числе критериев. Уже при трех критериях используются упрощающие эвристики, которые могут приводить к противоречиям. В целом операцию можно определить как С. Исключение составляют лишь задачи целостного выбора, для которых эту операцию можно определить как НД.

Полученные оценки элементарных операций могут быть использованы для оценки ряда распространенных операций, не являющихся элементарными. Приведем примеры таких оценок.

025 — операция выделения всех или части критериев, значения которых должны быть улучшены, могут быть ухудше-

ны или остаться не хуже уже достигнутого удовлетворительного уровня.

Данная операция может быть представлена как совокупность операций сопоставления достигнутых значений по одному критерию с его максимальным значением (операция 021) и операция 022. В целом она может быть оценена как Д.

026 — операция выделения критериев, значения которых неудовлетворительны (удовлетворительны) в наибольшей степени.

Данная операция может быть представлена как совокупность, составленная из операций 022, т. е. является достаточно надежной и оценивается как Д.

034 — операция выбора лучшей (худшей) альтернативы из группы.

Согласно данным дескриптивных исследований, эта операция может рассматриваться как определение порядка сравнения, а затем применение операции 033. В целом операция может быть определена как С.

035 — операция определения «идеальной» альтернативы, близость к которой определяет качество текущего решения.

Операция может быть представлена как совокупность операций 033, т. е. является сложной (С).

Сводный перечень элементарных операций представлен в табл. 3.

Полученные оценки элементарных операций могут быть использованы для определения общей оценки метода принятия решений. Корректность операции получения информации от человека является хотя и не единственным, но важным критерием.

В [48] была проведена систематическая оценка 20 методов решения многокритериальных задач математического программирования по двум критериям: отсутствие сложных для человека элементарных операций и устойчивость к случайным ошибкам ЛПР. Результаты этой оценки приведены в табл. 4. Кроме указанных выше операций, в таблицу включена редко встречающаяся операция 041 — выделение переменных x_i , которые должны быть увеличены (уменьшены).

В табл. 4 рассматриваются следующие ЧМ-процедуры: 1) STEM [18, 19]; 2) IMGP [49]; 3) Беленсона — Капу-

Таблица 3

Номер операции	Название операции по переработке информации	Общая оценка
0. 1. Операции с названиями критериев		
011	Назначение весов критериев	С
012	Упорядочение критериев по важности	Д
013	Назначение вероятностей	С
0. 2. Операции с отдельными значениями критериев одной альтернативы		
021	Сравнение двух значений по шкале одного критерия	Д
022	Сравнение значений двух различных критериев	Д
023	Определение в количественном виде изменения значения одного критерия, которое эквивалентно изменению значения другого	НС
024	Определение удовлетворительного значения по одному критерию	НД
0. 3. Операции с объектами, имеющими оценки по многим критериям		
031	Назначение вида зависимости полезности объекта от оценок по критериям	С
032	Оценка вероятностей	С
033	Сравнение двух объектов и выбор лучшего (худшего) из них	С
034	Сравнение целостных образов двух альтернатив	НД

Таблица 4

Но- мер опе- ра- ции	Оцен- ка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
011	С												*								
012	НД		*												*						
022	Д	*	*																		
023	НС	*	*						*									*	*		
024	НД	*	*				*						*								
025	Д	*	*			*		*													
026	Д	*	*	*	*		*														
033	С								*		*	*		*	*	*	*	*			*
034	С								*		*	*		*	*	*	*	*	*	*	*
035	С												*						*	*	*
041	С									*											
Чувстви- тельность к ответам ЛПР		М	М	М	М	М	М	Б	М	М	М	Б	М	Б	Б	Б	Б		М	М	М
Общая оценка		К	К	К	К	К	К	НК	НК	НК	НК	НК	НК	НК	НК	НК	НК	НК	НК	НК	НК

ра [50]; 4) внешнего ветвления [51]; 5) Михайловского [52]; 6) удовлетворительных целей [53]; 7) Фандела (GCOM) [54]; 8) Дайера — Джоффриона (GDF) [17]; 9) Сейвира [55]; 10) процедура прогрессивной ориентации (POP) [56]; 11) Зайонца — Валлениуса (ZW) [57]; 12) SIGMOP [58]; 13) SIMOLP [59]; 14) HOPE [60]; 15) Стюера (IMOLP) [61]; 16) Зелени (DI) [62]; 17) Муссельмана [63]; 18) ISWT [64]; 19) Вержицкого [65]; 20) SEMOPS [66].

В таблице дана оценка чувствительности к случайным ошибкам ЛПР (М — малая, Б — большая) и общая оценка метода (К — корректный, НК — некорректный).

4. Задачи принятия решений: возможности человека

Результаты многочисленных исследований, обобщенные в монографии [46], убедительно демонстрируют несовершенство человека при решении ряда задач. В то же время известно, что, несмотря на это, со многими сложными задачами человек успешно справляется. В результате была выдвинута гипотеза [67], что существует определенный предел человеческих возможностей по переработке информации и что этот предел зависит от размерности задачи. Для проверки этой гипотезы была проведена серия специальных экспериментов. Изучалось поведение людей в задачах непосредственной классификации (см. выше). Проведенные эксперименты имели следующую схему. Испытуемые относили каждое из предъявляемых им сочетаний оценок по многим критериям к одному из классов решений. По ответам испытуемых определялось: 1) количество допущенных противоречий; 2) количество изменений в ответах, которое делает решающее правило непротиворечивым (в ряде случаев этот показатель более информативен, так как одна случайная ошибка может быть причиной большого количества противоречий); 3) сложность границы, разделяющей классы решений. Как мы уже ранее говорили, в ряде случаев испытуемые могут иметь непротиворечивую, но примитивную стратегию, при которой критерии фактически заменяются ограничениями (подробнее см. [67]). В экспе-

риментах проводился опрос двух групп испытуемых — основной и контрольной. Одна из групп решала более сложную задачу (с большим числом классов), другая — более простую (во втором эксперименте задачи для групп менялись). Проводились эксперименты со школьниками-десятиклассниками, со студентами-пятикурсниками.

Понимание того, что поведение человека в таких задачах зависит как от мотивации, так и от навыка в принятии решений, привело к изучению поведения ЛПР в двух реальных задачах: оценка препринтов членами редакционного совета НИИ и классификация сочетаний диагностических знаков опытными врачами при построении медицинской системы поддержки принятия решений.

Эксперименты со школьниками и студентами, работы группы членов редакционного совета были примерами критерияльно-экспертного выбора. Анализ полученной информации позволяет установить, что границы возможностей человека в этих задачах характеризуются табл. 5 (в клетках указано число критериев).

Таблица 5

Количество оценок на порядковых шкалах	Количество классов решений			
	7—8	6—7	5	2—3
2	7—8	6—7	5	2—3
3	5	3—4	2—3	2
4	2—3			

Задачи, данные которых используются в этой таблице, решаются людьми с малым числом противоречий и с использованием сложных границ между классами решений (т. е. границ из сочетаний оценок критериев). При превышении уровня параметров, приведенных в таблице, поведение людей резко меняется, причем по-разному для опытных ЛПР и людей неопытных в принятии решений. У школьников и студентов резко возрастало количество противоречий, причем противоречивые оценки не позволяли точно определить границу между классами решений. У опытных ЛПР количество противоречий даже уменьшалось, но стратегии (границы между клас-

сами) становились простыми: часть критериев переводилась в ограничения.

Полученные результаты показывают, что приведенная таблица является достаточно надежным ориентиром при определении допустимой размерности задачи.

Возникает вопрос, чем определяются пределы возможности, в чем причины такого поведения людей в этих экспериментах? Анализ границ между классами решений показал, что испытуемые использовали при классификации сравнительно небольшое число структурных единиц информации. Хотя число элементов границ было довольно большим, элементы являлись «внешним» проявлением структурных единиц информации. Количество структурных единиц информации отражало стратегию испытуемого. В задачах, с которыми испытуемые справлялись (по приведенным выше критериям), количество структурных единиц информации не превышало 7—9, т. е. не превышало числа возможных структурных блоков информации, которые могут одновременно находиться в кратковременной памяти человека. При увеличении размерности задачи (количества классов) одни испытуемые стремились использовать большее число структурных единиц информации, что приводило к резкому возрастанию количества противоречий. Другие, более опытные, сразу же упрощали задачи и использовали при решении упрощенной задачи число структурных единиц информации, находящееся в пределах их возможностей.

Таким образом, эксперименты показывают, что именно ограниченная емкость кратковременной памяти человека существенно влияет на возможности переработки им информации в задачах принятия решений.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Требования к методам принятия решений

Если какую-то область исследований можно выделить по характерным признакам и по количеству исследователей, называющих свою продукцию одинаковыми словами и если полезность этой

области можно оправдать с практической точки зрения, то возникает вопрос о научных основах построения этой области, о критериях оценки получаемых результатов.

В чем же состоит научное обоснование того или иного метода принятия решений?

Прежде чем перейти к ответу на этот вопрос, подчеркнем, что научное направление «принятие решений» является многодисциплинарным. И это не только потому, что в нем работают психологи, математики, экономисты, инженеры, программисты. Гораздо важнее другое: при разработке метода для решения одной задачи необходимо исследование психологических проблем получения информации, математических проблем обоснования решающего правила, вычислительных проблем построения диалога человек — ЭВМ, экономических и организационных проблем приспособления метода к структуре управления. На наш взгляд, такая многодисциплинарность является как бы переходным этапом к появлению новой дисциплины, в рамках которой специалисты будут обладать необходимыми научными знаниями из прежних дисциплин, а также новыми знаниями по проблемам, не рассматривавшимся ранее.

Принятие решений сейчас находится на особом этапе своего развития. В предыдущие годы появилось большое количество различных методов, математических и психологических работ. Сейчас имеется возможность переработки накопленного опыта и выдвижения ряда требований к научному обоснованию методов принятия решений.

1. В методах принятия решений должны использоваться только такие способы получения информации от ЛПР и экспертов, которые согласно данным психологических исследований соответствуют возможностям человеческой системы переработки информации [1].

2. В методах принятия решений должны быть предусмотрены средства проверки информации ЛПР на непротиворечивость [21]. При любых способах получения информации от ЛПР следует помнить о возможности случайных ошибок, об этапах обучения. В связи с этим необходимы процедуры проверки инфор-

мации на непротиворечивость в ходе ее получения. Кроме того, необходимы методы поиска противоречий в информации ЛПР и исключения этих противоречий [21, 31, 68, 69].

3. Любые соотношения между вариантами решений должны быть объяснимы только на основе информации, полученной от ЛПР (без внесения извне каких-либо допущений и предложений, не основанных на этой информации) [70]. Этот критерий особенно понятен практикам-консультантам, имеющим опыт представления ЛПР результатов анализа.

4. Любые допущения относительно вида решающего правила должны быть математически обоснованы.

Метод принятия решений, удовлетворяющий совокупности из четырех приведенных выше критериев, может быть назван всесторонне обоснованным. Первые два критерия направлены на его психологическое обоснование, последний — на математическое обоснование, третий критерий направлен на исключение допущений и предложений, не принадлежащих ЛПР. Наряду с научным обоснованием корректности каждый предлагаемый метод должен характеризоваться определенными границами, пределами его применения. Можно выделить три типа таких пределов:

а) по возможностям ЛПР давать непротиворечивую информацию при построении достаточно сложных решающих правил. Этот предел важен тогда, когда нагрузка на ЛПР зависит от параметров проблемы (число критериев, тип шкал, характер решающего правила) [67];

б) по трудоемкости для ЛПР [71];

в) по вычислительной сложности алгоритмов по переработке информации.

Анализ показывает, что имеется еще немалое число задач, для которых необходимо совершенствование существующих и разработка новых научно обоснованных методов принятия решений.

2. Системы поддержки принятия решений

Говоря о будущих задачах в данной области, нельзя забывать о том, что на нее уже оказало влияние появление но-

вых технических средств — микропроцессоров.

Прежде всего появились так называемые системы поддержки принятия решений (СППР) [72] — человеко-машинные системы, помогающие человеку в принятии сложных решений. В отличие от большинства изложенных выше человеко-машинных методов принятия решений, системы поддержки принятия решений имеют базы знаний. База знаний может содержать в себе как фактические, объективные данные о той или иной предметной области, так и правила принятия решений опытных ЛПР.

Основная задача СППР состоит в сопоставлении каждой предметной ситуации рекомендуемых вариантов решения:

Ситуация —> вариант решения

Различные СППР различаются по способу построения баз знаний. База знаний может быть построена самим ЛПР в ходе анализа конкретной предметной ситуации. Так, в СППР MAUD [73] ЛПР в ходе диалога определяет перечень критериев, вводит в ЭВМ сравниваемые альтернативы, вырабатывает решающее правило, на основе которого и осуществляется выбор наилучшей альтернативы. В этом случае база знаний содержит описание ситуации выбора и решающее правило, принадлежащее ЛПР — пользователю СППР.

На другом полюсе находятся СППР, в которых содержатся либо объективные факторы, описывающие ситуацию выбора, либо описание этой ситуации, сделанное экспертами (либо то и другое вместе). Решающее правило отражает предпочтения экспертов, более знакомых с данной конкретной областью деятельности, чем ЛПР, использующий СППР. Так, например, при анализе рынка сбыта товаров руководство предприятия может использовать как содержащиеся в базе знаний данные о рынках, так и прогнозные модели сбыта, подготовленные экспертами. В промежутке между этими крайними случаями находятся СППР, включающие в себя как модели и решающие правила экспертов, так и некоторые решающие правила ЛПР.

Очевидно, что СППР, содержащие решающие правила опытных экспертов, близки к так называемым экспертным системам [14]. С практической точки

зрения часто бывает трудно, если не невозможно, провести четкую границу между СППР и экспертными системами. На наш взгляд, различие состоит чаще всего не в результате, а в направленности работы. При построении экспертных систем основное внимание уделяется способам представления знаний (что характерно для работ по искусственному интеллекту), структурам базы знаний (отражающим представление о структурах долговременной памяти человека) и т. д.

При построении СППР основное внимание направлено на сам метод принятия решений, на способ построения решающего правила. База знаний СППР обычно включает в себя входные данные и процедуры логического выбора (решающее правило).

Таким образом, основным элементом СППР является метод принятия решений. Следовательно, к СППР непосредственно относится все сказанное выше о научном обосновании методов принятия решений.

Развитие СППР и вычислительных средств приведет в будущем к появлению новых, компактных средств, помогающих ЛПР в его деятельности. Эти системы будут настраиваться на личность ЛПР, его вкусы и предпочтения. Они будут компактными и мобильными (небольшой чемоданчик), и в то же время в них будут базы знаний, содержащие большие массивы информации по всем областям деятельности ЛПР, данные о предыдущих решениях, экспертные оценки и т. д. Эти системы будут способны вести диалог в определенной области деятельности, помогая ЛПР структуризовать свои проблемы.

3. Консультанты по принятию решений

Появление консультативной деятельности по принятию решений, появление самих методов принятия решений отвечает объективным потребностям развития экономики. Развитие техники управления, увеличение динамизма окружающей среды объективно требуют новых средств принятия решений [74]. Но эти средства, причем даже самые современные, являются инструментом только в

умелых руках. Необходимы подготовленные консультанты по проблемам принятия решений, умеющие быстро разбираться в самых разных задачах принятия решений. Эти консультанты должны обладать искусством анализа проблем (подробней см. [22]), они должны увидеть, где и какой метод принятия решений может помочь ЛПР. Развитие информатики не снимет потребности в таких консультантах, а лишь поможет им в сложной деятельности.

Важные и ответственные решения, затрагивающие все звенья экономической системы, влияющие на судьбы миллионов людей, принимаются ежедневно и ежечасно. Совершенствование этой деятельности имеет исключительно важное народнохозяйственное значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ларичев О. И. Принятие решений как научное направление: методологические проблемы. Системные исследования (Ежегодник). М., Наука, 1982.
2. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. М., Наука, 1981.
3. Вагнер Г. Основы исследования операций. М., Мир, 1972.
4. Вентцель Е. С. Исследование операций. М., Советское радио, 1972.
5. Айзерман М. А., Малишевский А. В. Некоторые аспекты общей теории выбора наилучших вариантов. М., Препринт Института проблем управления. 1980.
6. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. М., Наука, 1978.
7. Шоломов Л. А. Обзор оценочных результатов в задачах выбора. — Техническая кибернетика, 1983, № 1.
8. Миркин Б. Г. Проблема группового выбора. М., Наука, 1974.
9. Фрумкина Р. М. О некоторых особенностях экспертного понимания (на материалах экспертных оценок психических состояний). — В кн.: Экспертные оценки (вопросы кибернетики). М., ВИНТИ, 1979.
10. Ларичев О. И., Поляков О. А. Человеко-машинные процедуры решения многокритериальных задач математического программирования. (Обзор). — Экономика и математические методы, т. 16, 1980, № 1.
11. Соболев И. М., Статников Р. Б. Выбор оптимальных параметров в задачах с многими критериями. М., Наука, 1981.
12. Raiffa H. Decision Analysis. Addison-Wiley, London, 1968.
13. Кини Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М., Радио и связь, 1981.
14. Cordier M. O. Les systemes experts. La Recherche, v. 15, num. 151, 1984.

15. Dawes R. M. The robust beauty of improper linear models in decision making.— In: D. Kahneman, P. Slovic, A. Tversky (Eds), "Judgment under uncertainty: Heuristics and biases", Cambridge Univ., Press, 1982.
16. Руа В. Проблемы и методы принятия решений в задачах со многими целевыми функциями.— В сб.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М., Мир, 1976.
17. Geoffrion A. M., Dyer J. S., et al. An interactive approach for multi-criterion optimization with an application to the operation of an academic department. *Management Science*, vol. 19, num. 4, pp. 357—368, 1972.
18. Бенайюн Р., Ларичев О. И. и др. Линейное программирование при многих критериях: метод ограничений.— *Автоматика и телемеханика*, 1971, № 8.
19. Benayoun R., Tergny J., Montgolfie J., Larichev O. Linear programming with multiple objective functions: STEP Method (STEM). *Mathematical Programming*, vol. 1, num. 3, pp. 368—378, 1971.
20. Кожухаров А. Н., Ларичев О. И. Многокритериальная задача о назначениях.— *Автоматика и телемеханика*, 1977, № 7.
21. Ларичев О. И., Зуев Ю. А., Гнеденко Л. С. Метод построения классификации проектов проведения прикладных научных исследований и разработок.— В сб.: Планирование научных исследований и разработок. М., Наука, 1974.
22. Ларичев О. И. Наука и искусство принятия решений. М., Наука, 1979.
23. Фуремс Ю. М., Васюнин Г. Н., Ларичев О. И., Чернов Ю. Я. Проблема упаковки объектов в контейнеры при наличии многих критериев.— Труды I Всесоюзной конференции «Проблемы и методы принятия решений в организационных системах управления». М., ВИАКИ, 1982.
24. Белкин А. Р., Левин М. Ш. Комбинаторно-графовые модели обработки информации при принятии решений. М., Препринт Научного совета «Кибернетика», 1985.
25. Краснощеков П. С., Морозов В. В., Федоров В. В. Декомпозиция в задачах проектирования.— *Известия АН СССР. Тех. кибернетика*, 1979, № 2.
26. McGrimmon K. P. An overview of multiple objective decision making — In: Multiple criteria decision making; Cochrane I. Zeleny M. (Eds). Columbia Univ., South Carolina Press, 1973.
27. Toersky A. Intransitivity of preferences. *Psychol. Rev.* 1963, v. 76, № 1.
28. Roy B. Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE).— *Rev. Franc. Inform. et Rech. Operat.*, 1968, v. 2, № 8.
29. Жуковин В. Е. Многокритериальные модели принятия решений с неопределенностью. Тбилиси. Мецниереба, 1983.
30. Ларичев О. И., Мошкович Е. М. Задачи классификации в принятии решений. Доклады Академии наук (в печати).
31. Мошкович Е. М. Конструктивный поиск и устранение противоречий в предпочтениях лица, принимающего решения, при разбиении многомерных альтернатив на конечное число классов.— В сб.: Проблемы и процедуры принятия решений при многих критериях. М., ВНИИСИ, 1982, № 6.
32. Холл М. Комбинаторика. М., Мир, 1970.
33. Фуремс Е. М., Мошкович Е. М. Упорядочение векторных оценок для задачи формирования «портфеля заказов».— В сб.: Процедуры оценивания многокритериальных объектов. Вып. 9. М., ВНИИСИ, 1984, с. 41—53.
34. Slovic P., Lichtenstein S. Comparison of Bayesian and regression approaches to the study of information processing in judgement. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1971, v. 6, pp. 649—744.
35. Von Winterfeldt D. An overview, integration and evaluation of utility theory for decision analysis. Social Science Research Institute, University of Southern California, Rep. 75—9, 1975.
36. Humphreys P. Application of multiattribute utility theory.— In: Jungermann H., Zeeuw G. Decision making and changes in human affairs, Reidel Publ. Co., 1977.
37. Larichev O., Bolchenko V., Moschkovich H., Sheptalova L. Modelling Multiattribute Information Processing Strategies in a Binary Decision Task. *Org. Behav. and Human Perf.*, v. 26, 1980.
38. Russo L. E., Rosen L. D. An eye fixation analysis of multialternative choice. *Memory and Cognition*, 1975, v. 3, pp. 267—276.
39. Ларичев О. И. Анализ процессов принятия человеком решений при альтернативах, имеющих оценки по многим критериям.— *Автоматика и телемеханика*, 1981, № 8.
40. Stewart T. R., Ely D. W. Range sensitivity: a necessary condition and a test for the validity of weights. Paper prepared for Multiple Criteria Decision Making Conference, Cleveland, 1984.
41. Rivett P. The dog that did not bark.— *Eng. Econ.*, 1977, vol. 22, № 4, p. 298—300.
42. Клацки Р. Память человека: структуры и процессы. М., Мир, 1970.
43. Саймон Г. Науки об искусственном. М., Мир, 1972.
44. Slovic P., Fischhoff B., Lichtenstein S. Behavioural Decision Theory, *Ann. Psych. Rev.*, vol. 28, 1977.
45. Никифоров А. Д., Ребрик С. Б., Шепталова Л. П. Экспериментальное исследование устойчивости предпочтений при выполнении ЛПР некоторых операций в задачах принятия решений.— В кн.: Процедуры оценивания многокритериальных альтернатив. Сб. трудов ВНИИСИ. Вып. 9. 1984.
46. Tversky A., Kahneman D., Slovic P. (Eds). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. Cambridge Univ., 1982.
47. Вентцель Е. С., Выступление и дискуссии на симпозиуме «Исследование операций и анализ развития науки».— В кн.: Исследование операций: Методол. аспекты. М., Наука, 1972.
48. Ларичев О. И., Никифоров А. Д. Аналитический обзор процедур решения многокритериальных задач математического программирования.— *Экономика и математические методы* (в печати).
49. Nijkamp P., Spronk J. Interactive Multiple Goal Programming an Evaluation and Some Results.— In: Fandel G., Gal T., (Eds) Multiple Criteria Decision Making: Theory and Applications, Springer Verlag, Berlin, v. 177, pp. 278—293, 1980.
50. Belenson S. M., Kapur K. C. An algo-

rithm for Solving Multicriterion Linear Programming Problems with Examples, *Operational Research Quarterly*, v. 24, 1, pp. 65—77, 1973.

51. Aubin J. P., Naslund B. An Exterior Branching Algorithm., *Eur. Inst. for Advanced Studies in Manag.*, WP—72—42, 1973.

52. Michalowski W., Zolkiewski Z. Interactive Approach to Solving of a Linear Production Planning Problem with Multiple Objectives, 5th Int. Confer. Multiple Criteria Decision Making, Brussels, Belgium, 1982.

53. Benson R. G. Interactive Multiple Criteria Optimization Using Satisfactory Goals, Dissertation, University of Iowa, 1975.

54. Fandel G. Public Investment Decision Making with Multiple Criteria: An Example of University Planning. — In: Zionts S., (Eds), Multiple Criteria Problem Solving: Proceedings, Buffalo, N. Y., USA, Springer — Verlag, Berlin, V. 155, pp. 116—130, 1977.

55. Savir D. Multiobjective Linear Programming, Operations Research Centre, University of California, Los-Angeles, ORC—66—21, 1966.

56. Benayoun R. et al. Mathematical Programming with multi-objective functions: A solutions by P. O. P. (progressive orientation procedure), *METRA*, vol. 9, 2, pp. 279—299, 1970.

57. Zionts S., Kaufman S. et al. A multiple objective Decision Procedure for University Admissions Planning, In: Joint TIMS/ORSA National Meeting, May 9—11, 1977.

58. Monarchi D. E., Duckstein L. et al. An interactive multiple objective decision making aid using nonlinear goal programming, in: Zeleny M., (eds), Multiple Criteria Decision Making: Kyoto 1975, Springer — Verlag, Berlin, vol. 123, pp. 235—253, 1976.

59. Reeves G. R., Franz L. S. A Simplified Interactive multiple objective linear programming procedure, 5th Int. Conf., Multiple Criteria Decision Making, Brussels, 1982.

60. Ho J. K. Holistic preference evaluation in multiple criteria optimization, Brookhaven National Laboratory, N. Y. AMD 25656, 1979.

61. Steurer R. E. A Five Phase Procedure for Implementations a Vector Maximum Algorithm for Multiple Objective Linear Programming Problems. — In: Thiriez H., Zionts S., (eds), Multiple Criteria Decision Making, Jouy-en-losas, France Springer — Verlag, Berlin, v. 130, pp. 159—149, 1976.

62. Zeleny M., Compromise Programming. —

In: Cochrane J. L., Zeleny M., (eds), Multiple Criteria Decision Making, University of South Carolina Press, Columbia, S. C., pp. 262—300, 1973.

63. Musselman K., Talavage J. A Tradeoff Cut Approach to Multiple Objective Optimization, *Operations Research*, vol. 26, 6, pp. 1424—1435, 1980.

64. Halmes Y. Y., Hall W. A. et al. Multi-objective Optimization in Water Resource Systems., *The Surrogate Worth Trade-off Method*, N. Y. 1975.

65. Wierzbicki A. P. The Use of Reference Objectives in Multiobjective Optimization. — In: Fandel G., Gal T., (eds), Multiple Criteria Decision Making, Theory and Applications Springer — Verlag, Berlin, v. 177, pp. 468—486, 1980.

66. Monarchi D. E., Duckstein L. et al. Interactive Multiobjective Programming in Water Resources: A Case Study, *Water Resource Research*, vol. 31, 4, pp. 837—850, 1973.

67. Ларичев О. И., Мошкович Е. М. О возможностях получения от человека непротиворечивых оценок многомерных альтернатив. — В кн.: *Дескриптивный подход к изучению процессов принятия решений при многих критериях. Сборник трудов ВНИИСИ*, 1980, № 9.

68. Белкин А. Р. Приближенная триангуляция матриц в задачах ранжирования и обработки межотраслевого баланса. — *Известия АН СССР, Техническая кибернетика*, 1981, № 1.

69. Осипова В. А., Подиновский В. В., Яшина Н. П. О непротиворечивом расширении отношений предпочтения в задачах принятия решений. — *Журнал вычислительной математики и математической физики*, том 24, 1984, № 6.

70. Ириков В. А. Некоторые проблемы использования математических методов в практических процедурах принятия решений. — В сб.: *Проблемы и методы принятия решения в организационных системах управления*. М., ВНИИСИ, 1982.

71. Поспелов Г. С., Ириков В. А. Программно-целевое планирование и управление. М., Советское радио, 1976.

72. Sol H. (Ed). Processes and Tools for Decision Support, North Holland Company, Amsterdam, 1983.

73. Humphreys P., Wisudha A. "MAUD 4", Decision Analysis Unit Technical Report 82—5. London School of Economics and Political Science, 1982.

74. Вилкас Э. И., Майминас Е. З. Решения: теория, информация, моделирование. М., Радио и связь, 1981.

СОДЕРЖАНИЕ

I. Введение	3
II. Проблемы принятия решений	4
1. Принятие решений и исследование операций: сопоставление	4
2. О принятии решений как научном направлении	5
3. Классификация проблем принятия решений	6
III. Многокритериальные задачи с объективными моделями	8
1. Многокритериальные задачи линейного программирования	8
2. Многокритериальная задача о назначениях	10
3. Другие типы многокритериальных задач с объективными моделями	13
IV. Многокритериальные задачи с субъективными моделями	13
1. Критериально-экспертный выбор в новых ситуациях	13
1.1. Наиболее распространенные методы	13
1.2. Дескриптивно-нормативный подход	14
2. Принятие повторяющихся решений	18
2.1. Бутстрэнинг	18
2.2. Построение баз знаний	19
V. Возможности человека в задачах принятия решений и пределы этих возможностей	19
1. Ошибки и противоречия	19
2. Человеческая система переработки информации	21
3. Элементарные операции и их оценка	22
4. Задачи принятия решений: возможности человека	26
VI. Заключение	27
1. Требования к методам принятия решений	27
2. Системы поддержки принятия решения	28
3. Консультанты по принятию решений	29
Литература	29

Станислав Васильевич ЕМЕЛЬЯНОВ
Олег Иванович ЛАРИЧЕВ

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Гл. отраслевой редактор Л. А. Ерлыкин
Редактор Г. Г. Карвовский
Мл. редактор Н. А. Сергеева
Обложка художника А. А. Смирнова
Худож. редактор М. А. Бабичева
Техн. редактор С. А. Птицына
Корректор Н. Д. Мелешкина

ИБ № 7656

Сдано в набор 12.08.85. Подписано к печати 26.09.85. Т 14453. Формат бумаги 70×100^{1/16}. Бумага офсет. № 2. Гарнитура литературная. Печать офсет. Усл. печ. л. 2,60. Усл. кр.-отт. 5,52. Уч.-изд. л. 3,15. Тираж 30 960 экз. Заказ 2216. Цена 11 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 854310.
Ордена Трудового Красного Знамени Чеховский полиграфический комбинат ВО «Союзполиграфпром» Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
142300 г. Чехов Московской области