11.2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЭКОНОМИКЕ

Терелянский П.В., к.т.н., доцент кафедры «Информационные системы в экономике»

Волгоградский государственный технический университет

В статье рассматриваются основные положения математического обоснования оптимального выбора. Различие в методах анализа оптимальности заключается в способе математической интеграции показателей выраженных количественно. Переход от качественного показателя к количественному составляет методическую и инструментальную основу многих методов. Рассматривается метод анализа динамики приоритетов для получения интегрального критерия качества. Предложена методика проведения парных оценок на основе равномерной интервальной шкалы вербально выраженной в процентах. Представлен укрупненный граф функционирования разработанной автором программной системы поддержки принятия решений и перечислены ее основные функции.

В современных быстроменяющихся экономических условиях критерием оптимальной деятельности предприятий всех организационно-правовых форм давно перестало быть стремление к максимизации прибыли за счет минимизации производственных и организационных издержек. Разрабатывая концепцию развития бизнеса, экономисты все чаще стремятся учитывать не только классические индексы и индикаторы, но и такие трудно формализуемые понятия, как экологичность, эргономичность, визуальная привлекательность, политическая и социальная конъюнктура и тому подобные. Как правило, оценка таких критериев связана с анализом неполных, непараметрических и слабоструктурированных экспертных знаний. Следовательно, требуется развивать математический аппарат и методики его применения, требуется разрабатывать информационные технологии и инструментальные средства для повышения оптимальности управленческих решений на всех уровнях экономики. Универсальные программные системы поддержки принятия решений – мощная инструментальная база анализа подобных экономических процессов и систем.

Принять оптимальное решение значит выбрать такую альтернативу из числа возможных, в которой с учетом всех разнообразных факторов будет оптимизирована общая ценность. Оценка стратегии (или, вообще говоря, сценария, объекта, альтернативы, решения) по многим критериям означает, что эксперт преследует более чем одну цель, и эти цели могут иметь разную степень важности. При этом характерна несводимость критериев естественным образом к одному содержательно значимому показателю качества. Задача принятия решений в условиях неопределенности сводится к выбору оптимальной стратегии в операции, исход которой помимо стратегий оперирующей стороны и ряда фиксированных факторов зависит также от некоторых неопределенных факторов, неподвластных оперирующей стороне и неизвестных ей в момент принятия решения, а также факторов, меняющихся со временем. Стратегии оперирующей стороны (альтернативы) x_i, $i = 1, n$, в общем случае могут представляться скаляром, вектором, матрицей или еще более сложным образованием. Рассмотрим случай, когда стратегия оперирующей стороны представляется n-мерным вектором

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n),$$

а эффективность действий оперирующей стороны оценивается множеством локальных критериев качества

$$K = (k_1, k_2, \dots, k_m),$$

интенсивность воздействия которых на общую систему

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_m).$$

Всякий локальный критерий k связан со стратегией (альтернативой) отображением

$$f = F\{X, A\},$$

кроме того, всякий критерий связан со множеством других критериев отображением

$$g = G\{K, A\},$$

где A – множество фиксированных факторов.

Таким образом, многокритериальная задача принятия решений описывается следующим набором информации

$$S = (X, K, W, F, G, P),$$

где P – постановка задачи или цель исследования.

Здесь уместно выделить из системы S подсистему предпочтений (критериев качества)

$$S_p = (K, W, G),$$

которая часто исследуется отдельно от множества альтернатив, например, когда в техническом задании определяется набор ограничивающих факторов (габариты, вес, мощность и т.д.), а инженеры на местах решают задачу максимизации соответствия нескольких вариантов устройств предоставленным ограничениям. Со временем могут изменяться как свойства исследуемых стратегий (альтернатив), так и свойства самой системы предпочтений S_p. В первом случае только отображение F есть функция времени, во втором только отображение G. Кроме того, возможен вариант, когда отображения G и F есть функции времени. Как найти оптимальное решение в этом случае?

Принцип оптимальности решения представляет собой математическую модель принятого в задаче принципа компромисса. Перед анализом схемы компромисса обычно предполагают, что все локальные критерии нормализованы (т.е. имеют одинаковую размерность или являются безразмерными величинами). Альтернативы, которые имеют однотипные количественные характеристики, приводятся к одинаковой размерности путем линейного нормирования. Линейное нормирование заключается в том, что количественные величины заполняют собой вектор

$$W' = \{w_1', w_2', \dots, w_n'\},$$

где

n – число альтернатив;

w'_i – количественная величина.

Затем вектор W' нормируется, и в результате получается вектор приоритетов

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\},$$

где

$$w_i = w'_i / S;$$

$$S = \sum_{i=1}^{n} w'_i$$

Причем если мы ищем лучшую альтернативу с наибольшей величиной данной характеристики, то вектор нормируется непосредственно с этими количественными оценками, а если наоборот (чем меньше данная величина, тем лучше), то каждый элемент вектора ***W'*** заменяется на обратную ему величину, и только после этого происходит нормирование.

Одним из способов нормализации неколичественных локальных критериев является метод парных сравнений. Пусть $A_1, A_2, ..., A_n$ – множество из n элементов (альтернатив) и $v_1, v_2, ..., v_n$ – соответственно их веса или интенсивности. Эксперт выносит $n (n – 1) / 2$ суждений и формирует квадратную матрицу, содержащую парные сравнения, где n – порядок матрицы равный числу сравниваемых элементов. В этом случае матрица парных сравнений ***[A]*** имеет следующий вид:

$$[A] = \left[\begin{array}{c|c|c|c|c} & A_1 & A_2 & ... & A_n \\ \hline A_1 & v_1/v_1 & v_1/v_2 & .... & v_1/v_n \\ \hline A_2 & v_2/v_1 & v_2/v_2 & .... & v_2/v_n \\ \hline .... & .... & .... & .... & .... \\ \hline A_n & v_n/v_1 & v_n/v_2 & .... & v_n/v_n \end{array}\right].$$

Матрица парных сравнений обладает, как правило, свойством обратной симметрии, то есть

$$a_{ij} = 1/a_{ji},$$

так как

$$a_{ij} = v_i/v_j.$$

Обратная симметрия выражается либо в виде правильной дроби, либо в виде отрицания прямой оценки

$$a_{ij} = -a_{ji}.$$

Числовая величина отношения v_i / v_j для неколичественных параметров обычно выражается с помощью некоторой вербальной шкалы, элементам которой поставлен в соответствие определенный числовой ряд. Например, в работах Т.Л. Саати[1] предлагается использовать выражения типа «равное превосходство» или «значительное превосходство». Каждой из таких вербальных оценок соответствует число от единицы до девяти.

Со временем могут изменяться не только субъективные показатели парных оценок элементов, но и их объективные веса. Например, со временем может вырасти цена объекта, измениться его масса, уменьшиться длина и так далее. Если изменение данной метрической величины соответствует какой-либо закономерности, то для количественной оценки вполне можно подобрать функциональное представление этой закономерности и получить изменение вектора приоритетов во времени. Таким образом, в данный определенный момент времени в функциональные определение весов альтернатив подставляется значение момента времени и рассчитывается приведенный к единице вектор приоритетов. Аппроксимируя точки в полученном массиве векторов, можно получить функциональное представление динамики предпочтений. Данный подход позволяет использовать для принятия решений статистическую информацию.

	A_1^1	A_2^1	...	A_r^1	...	A_1^p	A_2^p	...	A_r^p
t_1	$W_1^{1,1}$	$W_1^{1,2}$	...	$W_1^{1,r}$	...	$W_1^{p,1}$	$W_1^{p,2}$	...	$W_1^{p,r}$
t_2	$W_2^{1,1}$	$W_2^{1,2}$	...	$W_2^{1,r}$	...	$W_2^{p,1}$	$W_2^{p,2}$	...	$W_2^{p,r}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
t_t	$W_T^{1,1}$	$W_T^{1,2}$	...	$W_T^{1,r}$	...	$W_T^{p,1}$	$W_T^{p,2}$	...	$W_T^{p,r}$
	$W1(t)$	$W2(t)$	...	$Wr(t)$	Динамика приоритетов по 1-му критерию				

Рис. 1. Численный метод прогнозирования динамики приоритетов

На рисунке (рис. 1) верхний и нижний индексы A_j^i обозначают, что j-ю альтернативу оценивали по i-му критерию, где r – количество альтернатив; p – количество критериев. Индексы элемента вектора приоритетов $W_k^{i,j}$ показывают, что **w** есть вес j-й альтернативы по i-му критерию в k-й момент времени, где $k = 1, ..., T$, а T – количество моментов времени. При исследовании поведения системы на больших промежутках времени мощность множества $w(t)$ позволяет проводить регрессионный анализ. В результате можно получить функциональное представление динамики приоритетов альтернатив по какому-либо критерию. Изменение суждений можно оценить экспертно с использованием следующих функций. Постоянное увеличение одного вида деятельности по сравнению с другим – $a_1 * t + a_2$. Быстрое увеличение (уменьшение) важности, за которым следует медленное увеличение (уменьшение) – $a_1 * ln(t + 1) + a_2$. Медленное увеличение (уменьшение) важности, за которым следует быстрое увеличение (уменьшение) – $a_1 * exp(a_2 * t) + a_3$. Увеличение (уменьшение) важности до максимума (минимума), затем уменьшение (увеличение) – $a_1 * t^2 + a_2 * t + a_3$. Колебания важности с увеличивающейся (уменьшающейся) амплитудой – $a_1 * t^{a2} * sin(t + a_3) + a_4$. Параметры a_i этих функции можно установить так, чтобы область допустимых значений не выходила за границы установленных интервалов на рассматриваемом временном отрезке T. Эти функции отражают изменения в тренде: постоянном, линейном, логарифмическом и экспоненциальном, параболическом, а также колебательном[2].

Кажущаяся неточность при задании функционального выражения изменения предпочтений на самом деле не является таковой. Практика показывает, что часто эксперты не могут дать конкретного значения для парного сравнения элементов системы на какой-то определенный момент в будущем. Например, они не могут утверждать со стопроцентной уверенностью, что «через месяц альтернатива ***A*** будет иметь очень сильное превосходство предпочтения над альтернативой ***B*** по критерию ***C***» (число девять в шкале Т.Л. Саати[3]). Более логичным было бы задание некоторого интервала предпочтений для каждого момента времени t, то есть в данный момент предпочтение может принять значение от «сильное превосходство» (число пять) до «значительное превосходство» (число семь). При подобном подходе мы получаем две кривых f_1 и f_2, которые

[1] Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. – М.: Радио и связь. 1993. – 316 с.

[2] Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process / T.L. Saaty. – Mc.Graw-Hill, 1980. – 267 p.

[3] Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1991.

ограничивают область изменения предпочтений на интервале времени, для которого составляется прогноз (рис. 2).

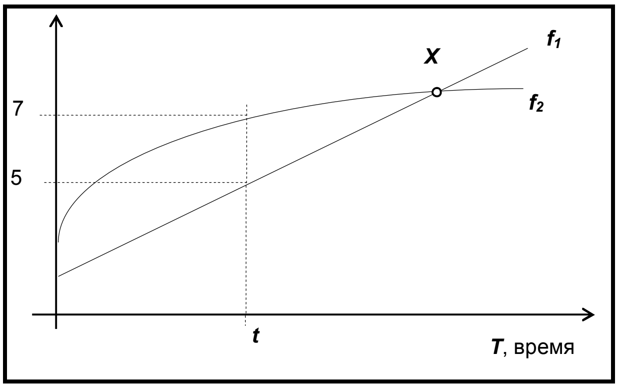

Рис. 2 Интервальное задание экспертных оценок на плоскости предпочтений

Как должны производиться расчеты в данном случае? Возможно применение следующего алгоритма.

1. Для каждой точки оси абсцисс по заданным функциям (f_1 и f_2 на рис. 1) мы получаем два значение предпочтения, то есть для каждого момента времени автоматически формируются две матрицы парных сравнений.

2. Рассчитываются векторы локальных приоритетов на основе анализа двух матриц.

3. Для всей системы оценок производится свертка и рассчитываются два вектора глобальных приоритетов.

4. Каждый вектор сохраняется в соответствующей таблице с указанием момента времени, для которого производится расчет.

5. Шаги 1-4 повторяются для всего прогнозируемого интервала.

6. Полученные таблицы обрабатываются любым из известных методов интерполяции для получения результирующих кривых.

Результатом работы приведенного выше алгоритма будут две кривые, ограничивающие возможную область изменения предпочтения альтернатив относительно цели исследование (фокуса иерархии).

Для оценки точности полученного прогноза можно порекомендовать следующую интегральную оценку I_e:

$$I_e = \frac{\left|\int_T f_1 dt - \int_T f_2 dt\right|}{T},$$

где

T – интервал времени, для которого составляется прогноз;

f_1 и f_2 – функции, заданные экспертом.

При этом экстремальными значениями точности для шкалы[4] будут числа близкие к девяти и нулю. Число, примерно равное девяти, получим, если эксперт в качестве возможного интервала укажет весь диапазон применяемой шкалы (числа от 1 / 9 до 9), что при составлении прогноза является совершенно недопустимым. Число, равное нулю, получим в совершенно противоположном случае, то есть если обе функции в прогнозируемом интервале совпали (например, как в точке X на рис. 2). Следует отметить, что применение порядковой шкалы требует дополнительного анализа и преобразования матриц. Выяснилось, что экспертам, чья деятельность не связана с алгебраическим представлением знаний (например, социологи, снабженцы, администраторы и т.д.), достаточно трудно работать с параметрически представленными функциями, то есть им трудно «сжать» график, «растянуть» его или промодулировать колеблющиеся предпочтения (представленных синусоидой $a_1 * t^{a2} * \sin(t + a_3) + a_4$). Основной же недостаток заключается в попытке привязать функцию к границам шкалы 1 / 9-9. Дело в том, что распределение элементов шкалы на оси координат крайне неравномерно. Имеется в виду плоскость предпочтений: по оси ординат – численная оценка предпочтения, а по оси абсцисс – время (см. рис. 2). В этом случае семантически понятное выражение эксперта: «Предпочтение альтернативы ***A*** над альтернативой ***B*** равномерно возрастает от оценки «Очень сильное превосходство ***B*** над ***A***» (1/9) до «Очень сильное превосходство ***A*** над ***B***» (9)», должно представляться, по идее, прямой линией (функция – $a_1 * t + a_2$), а на плоскости предпочтений выглядит скорее как ветвь гиперболы. Подобное несоответствие семантического и параметрического представления функции часто заводит эксперта, составляющего прогноз динамики предпочтений, в тупик, что в результате приводит к получению неточного либо вовсе неправдоподобного результата. Выходом из создавшегося положения могло бы являться равномерное распределение элементов обязательно целочисленных оценок на оси предпочтений. Например, в работе Т.Л. Саати[5] подобная шкала была применена для определения переменных состояний при описании процесса аналитического планирования. Интерпретируя эту шкалу для задач принятия решений, ее численное представление можно описать так:

- ноль – у альтернатив нет предпочтений друг над другом, то есть это «равная важность»;
- два – «слабое превосходство» одной альтернативы над другой;
- четыре – «умеренное превосходство»;
- шесть – «сильное превосходство»;
- восемь – «значительное превосходство»;
- числа один, три, пять, семь используются как промежуточные между двумя смежными;
- отрицательные целые числа -1 ... -8 используются для обратных оценок при заполнении матрицы парных сравнений.

Применение положительных и отрицательных оценок и нуля семантически ясно и понятно. Если альтернатива хуже – оценка отрицательна, если лучше – положительна, отсутствие предпочтений естественно обозначить нулем. На плоскости предпочтений в этом случае линейный рост предпочтений будет выглядеть именно как линейный рост графика. Кроме того, в результате анализа мнений экспертов, работавших с данным методом, выяснилось, что им не совсем удобно применять математические функции для описания динамики предпочтений, гораздо удобнее и достовернее было бы указать какие, по их мнению, предпочтения будет иметь альтернатива в некоторый конкретный момент времени. Например, эксперт может указать, что через день предпочтительность альтернативы ***A*** над ***B*** будет сильной (оценка – 6), через три дня слабой (оценка – 2), а через две недели уже альтернатива ***B*** будет значительно

[4] Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Пер. с англ. – М.: Радио и связь. 1993.

[5] Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1991.

лучшей, чем альтернатива ***A*** (оценка – -8). При этом эксперт не желает возиться с подбором параметров для функции и с выбором самой функции. В этом случае компьютерная система должна позволить эксперту поставить приоритеты в виде точек на плоскости предпочтений, а функцию предпочтений программа должна подобрать сама. Используя современные вычислительные мощности, компьютерная программа может провести интерполяцию в интерактивном режиме, избавляя эксперта от необходимости конкретизировать имеющиеся у него неточные и неполные знания. Занесенные в ячейки матриц парных сравнений динамические предпочтения можно обработать, рассчитывая значения функций предпочтений на каждый указанный момент времени. Полученная таким образом матрица парных сравнений теряет ряд ценных свойств, присущих положительным обратно симметричным квадратным матрицам. Например, достаточно трудно применить алгоритмы расчета собственного числа матрицы, индексов согласованности и отношения согласованностей (при данной методике расчета велика вероятность появления в векторе приоритетов мнимой единицы). Избежать подобных трудностей и в надежде сохранить методику расчета можно, если перед вычислениями собственного вектора к модулю каждого числа в матрице прибавить единицу, а числа меньшие нуля умножить на -1 и возвести в -1 степень, и уже далее проводить расчеты. Полученные таким образом векторы приоритетов (количество их будет равно количеству моментов времени, для которых составляется прогноз) можно обработать любым известным методом аппроксимации для получения функционального, а затем и графического представления изменения динамики предпочтений.

Возможна также другая оценка парных предпочтений, которая базируется на утверждении, что все предметы человек сравнивает с каким-то базовым эталоном. Следовательно, вклад базового эталона в достижение цели можно принять за 100%, а все последующие альтернативы сравнивать с эталоном в процентах. Одно из преимуществ этого метода сравнений заключается в том, что входные и выходные размерности при сравнениях совпадают. То есть, задавая предпочтения между двумя альтернативами в процентах, можно получить результирующие значения для альтернатив тоже в процентах. Кроме того, применение десятичной системы счисления и использование равномерной интервальной шкалы позволяют легко преобразовывать просто числовые данные (данные физических измерений) к процентной шкале. После заполнения матриц парных сравнений вербальными оценками эти оценки заменяются соответствующими числами из установленного ряда, и осуществляется анализ массива чисел. На основе этого анализа можно получить локальный (частный) вектор приоритетов альтернатив ***W***. Следует отметить, что данная методика разрабатывалась автором специально для задач прогнозирования динамики предпочтений. Методика не требует дополнительных преобразований вербальных выражений для получения функционального представления динамики парных оценок на плоскости предпочтений.

Важно понять, что выражение предпочтений в процентах не есть числовая определенность чувств, что было бы неправильно и необоснованно с точки зрения теории измерений, а есть столь же неопределенное утверждение, как и элемент любой другой вербальной шкалы. Вместе с тем, процентная шкала позволяет достаточно точно и достаточно единообразно сравнивать разнородные альтернативы и стратегии. При проведении парных сравнений по этой методике эксперт отвечает на вопросы следующего вида: «Какой из объектов ***A*** и ***B*** весомее?»; «Насколько объект ***A*** лучше объекта ***B***?»; «На сколько процентов вклад в цель альтернативы ***A*** больше альтернативы ***B***?».

Числовые оценки ставятся следующим образом. Равное предпочтение (равный вклад объектов в цель) – 0%. Объект ***A*** лучше объекта ***B*** на ***N%*** (вклад объекта ***A*** в общую цель больше на ***N%,*** чем объекта ***B***) – ***N%***. Абсолютное превосходство – 100% практически не достижимо, так как в этом случае объекта ***B*** просто не должно существовать, следовательно абсолютное превосходство – сколь угодно близкая к 100% величина. Если при сравнении объекта ***A*** с объектом ***B*** объект ***B*** лучше чем ***A***, то определяется вклад объекта ***B*** в общую цель относительно объекта ***A***, и в соответствующую ячейку таблицы заносится отрицательное значение.

Расчет производится следующим образом. Если оценка отрицательна:

$$W_{ij} = 100 / (100 + a_{ij}),$$

если оценка положительна:

$$W_{ij} = (100 - a_{ij}) / 100,$$

где

a_{ij} – процентная оценка в ***i***-й строке ***j***-м столбце.

Столбцы после преобразования суммируются, и вычисляется процент суммы столбца к общей сумме столбцов.

При использовании данной методики проведения парных сравнений не ставится ограничение на количество одновременно проводимых сравнений, что является существенным ограничением для других методик. Пример использования методики можно найти в табл. 1-4. Проведем попарное сравнение физических весов пяти предметов по критерию «Вес». Ниже приведены их истинные веса и веса в процентах от общего веса (общего вклада в цель).

Как видно из табл. 3 и 4, результат сравнения можно получить уже после заполнения одной строки матрицы. Однако каждая последующая заполненная строка дает больше информации для анализа. Кроме того, при сравнении нефизических величин (красота, эргономичность и т.д.) заполнение как можно большего числа строк матрицы ведет к уточнению экспертных оценок за счет уменьшения среднеквадратичного отклонения оценки от ее истинного значения. В практических задачах количественная (кардинальная, $a_{ik} \cdot a_{kj} = a_{ij}$) и транзитивная (порядковая) однородность (согласованность) нарушаются, поскольку человеческие ощущения нельзя выразить точной формулой. Предлагаются специальные методы определения и оценки нарушения согласованности.

Таблица 1

ВЕС ОБЪЕКТОВ И ЕГО ПРОЦЕНТНОЕ СООТНОШЕНИЕ

Вес объектов, кг	Вес объектов, %
A = 100	7,27
B = 25	1,81
C = 50	3,63
D = 200	14,54
E = 1 000	72,72

Таблица 2

ПОПАРНОЕ СРАВНЕНИЕ ВЕСА ПРЕДМЕТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ ПРОЦЕНТНЫХ ОЦЕНОК

Объекты	A	B	C	D	E
A	0	75	50	-50	-90
B	-75	0	-50	-87,5	-97,5
C	-50	50	0	-75	-95
D	50	87,5	75	0	-80
E	90	97,5	95	80	0

Таблица 3

НОРМИРОВАННЫЕ СУММЫ СТОЛБЦОВ

Объекты	A	B	C	D	E	Сумма по строкам
A	1	0,25	0,5	2	10	13,75
B	4	1	2	8	40	55
C	2	0,5	1	4	20	27,5
D	0,5	0,125	0,25	1	5	6,875
E	0,1	0,025	0,05	0,2	1	1,375
Сумма, ***S***	7,6	1,9	3,8	15,2	76	104,5
S, %	7,27	1,82	3,64	14,54	72,73	100

Таблица 4

АБСОЛЮТНАЯ СОГЛАСОВАННОСТЬ СУЖДЕНИЙ

Объекты	A	B	C	D	E	Сумма по строкам
A	7,27	1,82	3,64	14,54	72,73	100
B	7,27	1,82	3,64	14,54	72,73	100
C	7,27	1,82	3,64	14,54	72,73	100
D	7,27	1,82	3,64	14,54	72,73	100
E	7,27	1,82	3,64	14,54	72,73	100
Сумма, ***S***	36,35	9,1	18,2	72,7	363,65	500 (499,6)

Приведенный ниже пример (табл. 5-7) показывает, как можно обнаружить несогласованную оценку в матрице. Ячейка BD содержит оценку -83,33, в то время как абсолютно согласованная оценка – -87,5 (см. табл. 2). После преобразования (табл. 6) строки 2 и 4 в таблице 7 не совпали с остальными, значит в таблице 5 ячейки 2,4 или 4,2 заполнены не верно.

Таблица 5

НЕВЕРНАЯ ОЦЕНКА В ЯЧЕЙКЕ BD (2,4)

Объекты	A	B	C	D	E
A	0	75	50	-50	-90
B	-75	0	-50	-83,33	-97,5
C	-50	50	0	-75	-95
D	50	83,33	75	0	-80
E	90	97,5	95	80	0

Таблица 6

НОРМИРОВАННЫЕ СУММЫ НЕСОГЛАСОВАННЫХ ОЦЕНОК

Объекты	A	B	C	D	E	Сумма по строкам
A	1	0,25	0,5	2	10	13,75
B	4	1	2	6	40	53
C	2	0,5	1	4	20	27,5
D	0,5	0,167	0,25	1	5	6,917
E	0,1	0,025	0,05	0,2	1	1,375
Сумма, ***S***	7,6	1,942	3,8	13,2	76	102,542
S, %	7,41	1,89	3,7	12,87	74,1	100% (99,97%)

Таблица 7

ВЫЯВЛЕНИЕ НЕВЕРНО ЗАПОЛНЕННЫХ ЯЧЕЕК

Объекты	A	B	C	D	E	Сумма по строкам
A	7,27	1,82	3,64	14,54	72,73	100
B	7,55	1,89	3,77	11,32	75,47	100
C	7,27	1,82	3,64	14,54	72,73	100
D	7,23	2,41	3,61	14,46	72,29	100
E	7,27	1,82	3,64	14,54	72,73	100
Сумма, ***S***	36,59	9,76	18,3	69,4	365,95	500
S,%	7,32	1,95	3,64	13,88	73,19	100 (99,98)
S, % согласованное	7,27	1,82	3,64	14,54	72,73	100

К сожалению, подобная методика может быть применена, только если все остальные оценки в матрице являются абсолютно точными, что невозможно в принципе (при проведении оценок неколичественных величин). Выход может быть только в дальнейшем математическом анализе матрицы. В частности, для поиска несогласованности можно произвести округление значений ячеек в большую или меньшую сторону до ближайшего целого. Возможно допустить разброс значений ячеек (табл. 7) до плюс-минус числа ***S*** (scatter):

$$S = \min [|a_{ij} - a_{ij+1}| / 2],$$

где

$i = 1, n$ – количество строк;

$j = 1, m$ – количество столбцов;

n, m – размерность матрицы;

a_{ij} – ij оценка.

Для нашего случая разброс:

$$S = |3{,}61 - 2{,}41| / 2 = 0{,}6.$$

Вообще говоря, абсолютная погрешность экспертных оценок допустима до 5% в обе стороны (приведенная погрешность = 0,1), то есть оценки 95% и 100% являются одинаковыми с точки зрения общего анализа всей системы, так как в результате свертки на больших иерархиях возможны погрешности на порядок превышающие это значение (погрешность может доходить до единицы).

Исходя из вышесказанного, можно порекомендовать следующую оценку согласованности (evaluation of consensus) (для каждого столбца находятся минимальное и максимальное значение и их разница, и из множества разностей выбирается максимальная):

$$Ec = \max_{i=1,\ldots,n}[\max_{j=1,\ldots,m}(a_{ij}) - \min_{j=1,\ldots,m}(a_{ij})],$$

где

$i = 1, n$ – количество строк;

$j = 1, m$ – количество столбцов;

n, m – размерность матрицы;

a_{ij} – ij оценка.

Для табл. 2 ***Ec = 0*** (абсолютная согласованность), для табл. 5 ***Ec = 3,18***, что является очень хорошей согласованностью. Разница в оценке веса ***B*** составляет ***87,5 – 83,3 = 4,17***, то есть при достаточно сильной ошибке эксперта (вес должен составлять при такой оценке не 25 кг, а 33.34 кг, ошибка на 8,34 кг, что составляет 33,36% – более трети веса предмета ***B***) общая ошибка в определении веса предмета ***B*** составила ***1,95 – 1,82 = 0,13*** (1,7 кг, что составляет 6,8% от его истинного веса).

Для сокращения времени, затрачиваемого на проведение парных сравнений, возможно применение следующей методики оценки альтернатив. Здесь эксперту предлагается оценить альтернативу относительно общего вклада в цель всех альтернатив. Подразумевается, что все альтернативы вместе – это 100%, а вес данной конкретной:

$$a_i = 100 - \sum_{j=1,n} a_j,$$

где

a_i, a_j – веса альтернатив;

n – их количество, причем j не равно i.

То есть эксперт по сути напрямую формирует вектор приоритетов. Количество оценок при этом равно количеству сравниваемых альтернатив. При этом эксперт не должен задумываться о точном совпадении суммы процентных оценок, достаточно просто указать приблизительную процентную оценку (табл. 8). Приведенные к единице процентные веса альтернатив и будут являться элементами вектора приоритетов:

$$w_i = a_i / \sum_{j=1,n} a_j.$$

Индекс согласованности **ИС** в данном случае будет равен модулю отклонения суммы экспертных оценок от 100%:

$$ИС = |100 - \sum_{j=1,n} a_j|.$$

Приемлемая величина ИС составляет до 10%.

Таблица 8

ПРЯМАЯ ОЦЕНКА ОБЪЕКТОВ

Вес объектов, кг	Экспертная оценка, %	Вектор приоритетов, %	Приведенный вес объектов, %
A = 100	10	9,8	7,27
B = 25	2	1,96	1,81
C = 50	5	4,9	3,63
D = 200	15	14,7	14,54
E = 1 000	70	68,62	72,72
ИС = 2%			

Если удается выделить главный параметр[6], влияние которого на качество альтернативы так велико, что значениями каких-либо других параметров можно пренебречь (т.е. они не вносят существенного вклада в совокупное качество объекта выбора), то достаточно сравнить этот параметр у всех альтернатив (такой параметр называется генеральным или глобальным). Большее (меньшее) его значение определит лучшую альтернативу[7]. На основе этих подходов строится метод принятия решений с использованием глобального критерия. Задается таблица ***B***, строки которой соответствуют альтернативам, а столбцы – вариантам состояния внешней среды (исходам).

$$B = \begin{Vmatrix} L(a_1,K_1) & \dots & L(a_1,K_n) \\ \dots & \dots & \dots \\ L(a_m,K_1) & \dots & L(a_m,K_n) \end{Vmatrix}.$$

Элемент таблицы $L(a_i,K_j)$ представляет собой численную оценку предпочтительности альтернативы a_i при условии наступления состояния среды K_j. Вероятности наступления отдельных вариантов состояния среды считаются неизвестными.

Таким образом, многокритериальная задача в условиях неопределенности или риска сводится к однокритериальной задаче принятия решения в условиях определенности. Это основное положение, которое используется во всех ныне существующих методах принятия решений. Математическое обоснование выбора в таком случае есть простое нахождение максимального (минимального) значения из множества предоставленных интегральных показателей. Различие в методах анализа оптимальности заключается прежде всего в способе математической интеграции показателей, выраженных количественно. Переход от качественного (зачастую вербального или графического) показателя к количественному составляет методическую и инструментальную основу методов теории принятия решений.

Единственный интегральный критерий любого метода будет характеризовать качество всей альтернативы в целом. Для этого нужно перейти к единой системе измерений – ввести понятия меры качества, вносимого каждым из критериев. Интеграция множества мер качества носит наименование свертки. Она определяет условия компромисса, а именно важность и значимость каждого из параметров в существующих условиях.

Свертку можно разбить на две операции: определение качества каждого из параметров альтернативы; получение совокупного качества альтернативы в целом. В некоторых источниках под сверткой понимается только вторая операция. Но при этом параметром считают уже качество критерия альтернативы. Чтобы добиться этого, вводят шкалы, по которым оценивают меру удовлетворенности каждым параметром альтернативы. Такие шкалы преобразуют как числовые, так и нечисловые критерии альтернатив в качества. Преобразование можно описать функцией:

$$K_i = f_i(P_i),$$

где K_i – качество i-го критерия;

f_i – функция, раскрывающая смысл оператора оптимальности;

P_i – i-й параметр альтернативы.

Вид функции может зависеть от условий выбора и может быть определен как теоретическим, так статистическим путем. Существует два арифметических способа получения совокупного качества альтернативы: аддитивная и мультипликативная свертка.

Аддитивная свертка – суммирование по всем качествам альтернативы. Она является самой распространенной. Эта свертка определяется формулой:

$$K = \sum K_i,$$

где

K – совокупное качество;

K_i – локальное качество i-й альтернативы.

При известном распределении вероятностей различных состояний надсистемы критерием принятия решения является максимум математического ожидания выигрыша. Если каждый из критериев имеет некоторый вес p_i, который можно трактовать как определенную вероятность состояния надсистемы и по каждому критерию можно определить важность x_i i-й альтернативы, то локальное качество альтернативы рассчитывается как произведение $K_i = p_i x_i$. Принимается решение о выборе наилучшей альтернативы a^*, обеспечивающей наибольшее значение математического ожидания выигрыша:

$$a^* = \max \sum p_i \cdot x_i, \sum p_i = 1.$$

Аддитивная свертка хорошо проявляет себя в спектрах, колебания параметров качества которых сравнимо с их значениями, т.е. имеют один порядок. Главный недостаток аддитивной свертки – возможность

[6] Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечетной исходной информации. – М.: Наука, 1981.

[7] Борисов А.Н. Методическое обеспечение технологии принятия решений. Системы обработки знаний в автоматизированном проектировании. – Рига: Риж. техн. ун-т, 1992. – С. 12-15.

компенсации низких оценок по одним критериям высокими оценками по другим. Аддитивная свертка при этом сглаживает различия между альтернативами.

Мультипликативная свертка представляет собой общее произведение качеств: $K = \Pi K_i$. Для учета важности критериев p_i и важности x_i альтернатив по каждому из критериев локальное качество альтернативы рассчитывается через возведение в степень $K_i = x_i^{p_i}$. Также как и в аддитивной свертке, наилучшей будет считаться альтернатива с максимальным значением произведения:

$$a^* = max \prod x_i p_i$$

либо

$$a^* = max \sum ln K_i$$

Мультипликативную свертку обычно применяют для выделения совокупного качества из спектров, имеющих примерно равные показатели качеств. Эта свертка не допускает компенсации значений.

В условиях неопределенности существует также несколько общепризнанных подходов к выбору оптимального решения из множества представленных. Это критерии Вальда, Лапласа, Байеса, Сэвиджа и Гурвица[8].

Критерий Лапласа представляет собой модификацию аддитивной свертки, при которой совокупное качество равняется среднему из слагающих его качеств параметра:

$$K = max(min)\ a_i \{\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} L(a_i, K_j)\},$$

где

a_i – альтернатива;

$i = 1, \ldots, n$, K_j – j-й критерий;

$j = 1, \ldots, m$, L – вес альтернативы a_i по критерию K_j.

Эта свертка опирается на принцип недостаточного обоснования, согласно которому все состояния надсистемы (важность критериев) полагаются равновероятными.

Критерий Байеса-Лапласа учитывает вероятность наличия или отсутствия оценок альтернатив по некоторым критериям:

$$K = max\ a_i \{\sum L(a_i, K_j) * p_j\},$$

где p_j – вероятность наличия оценки альтернативы a_i по критерию K_j.

По сути это аддитивная свертка, в которой параметры p_j могут принимать любые значения, включая нулевые.

Критерий Вальда (минимаксная свертка) основан на том, что различные качества альтернативы проявляют себя в разных условиях по-разному. Главный критерий качества меняется в зависимости от среды, в которую попадает альтернатива (в зависимости от окружающих альтернативу условий). Согласно критерию Вальда, следует выбирать альтернативы, гарантирующие выигрыш не меньше установленного. В среде, которая является наихудшей для каждой альтернативы, нужно выбрать наилучшее решение:

$$K = max\ a_i \{min\ L(a_i, K_j)\}.$$

Эта свертка не допускает компенсаций и соответствует пессимистическому подходу к принятию решений, когда к рассмотрению принимаются отрицательные свойства альтернативы.

В противовес критерию Вальда существует максимаксная свертка, которая определяет крайне оптимистический подход и рекомендует выбирать наилучшую альтернативу в надежде на наступление наиблагоприятнейших условий:

$$K = max\ a_i \{max\ L(a_i, K_j)\}.$$

Критерий Сэвиджа – это модификация минимаксной свертки (критерия Вальда), при которой качества параметров преобразуют сначала в потерянные качества, показывающие, какие качества теряются относительно лучшего качества данного критерия из множества альтернатив. Этот критерий минимального риска рекомендует выбирать ту стратегию, при которой риск будет наименьшим в самой неблагоприятной ситуации. Критерий Вальда настолько пессимистичен, что при определенных условиях может приводить к нелогичным выводам. Критерий Сэвиджа исправляет положение введением матрицы потерь, где $L(a_i,K_j)$ заменяются на $R(a_i,K_j)$, которые определяются следующим образом:

$$R(a_i, K_j) = \begin{cases} max\{L(a_k, K_j)\} - L(a_i, K_j), \text{если } L \text{ - доход;} \\ L(a_i, K_j) - min\{L(a_k, K_j)\}, \text{если } L \text{ - потери.} \end{cases}$$

По существу, $R(a_i, K_j)$ выражает «сожаление» лица, принимающего решения (ЛПР), по поводу того, что он не выбрал наилучшей альтернативы относительно критерия K_j.

Критерий Гурвица – это модификация минимаксной свертки, при которой совокупное качество образуется средним между наилучшим и наихудшим качествами критериев одной альтернативы. Критерий Гурвица устанавливает баланс между случаями крайнего оптимизма и крайнего пессимизма взвешиванием обоих способов поведения с соответствующими весами d и $d - 1$, где $0 \le d \le 1$. Если $L(a_i, K_j)$ представляет прибыль, то выбирается действие, дающее:

$$max\ a_i \{d\ min_{Kj}\ L(a_i,K_j) + (1 - d)\ max_{Kj}\ L(a_i,K_j)\}.$$

В том случае, когда $L(a_i,K_j)$ представляет затраты, критерий выбирает действие:

$$min\ a_i \{d\ min_{Kj}\ L(a_i,K_j) + (1 - d)\ max_{Kj}\ L(a_i,K_j)\}.$$

Показатель d определяется как показатель оптимизма:

- при $d = 1$ критерий слишком оптимистичный;
- при $d = 0$ он слишком пессимистичный.

Значение d между нулем и единицей определяется в зависимости от склонности ЛПР к оптимизму или пессимизму.

Интегральный критерий оптимальности пытается объединить достоинства всех приведенных выше критериев:

$$K = max\ a_i \{\left(\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} L(a_i, K_j\right)^{\frac{1}{S}}\},$$

где

n – количество критериев,

S – ненулевой параметр, меняя значение которого, можно получить различные принципы оптимальности.

При $S \to -\infty$ получаем результат, близкий к критерию Вальда, если $S \to +\infty$, результат стремится к крайне оптимистическому подходу (максимакс), при $S = 1$ получаем критерий Лапласа.

При обработке материалов коллективной экспертной оценки используются методы теории ранговой корре-

[8] Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечетной исходной информации. – М.: Наука, 1981. – 206 с., ил.

ляции[9]. Осуществляя агрегацию мнений необходимо произвести оценку их согласованности. Коэффициент конкордации V позволяет оценить, насколько согласованы между собой ряды предпочтительности, построенные каждым экспертом:

$$V = \frac{12d}{m^2(n^3 - n)},$$

где

$$d = \sum_{i=1}^{n} d_i^2 = \sum_{i=1}^{n}\left[\sum_{i=1}^{n} r_{ij} - 0{,}5m(m+1)\right]^2;$$

m – количество экспертов. $j = 1, \ldots, m$;

n – количество рассматриваемых свойств, $i = 1, \ldots, n$;

r_{ij} – место, которое заняло i-е свойство в ранжировке j-м экспертом;

d_i – отклонение суммы рангов по i-му свойству от среднего арифметического сумм рангов по n свойствам.

Значение коэффициента V должно находиться в пределах $0 \le V \le 1$. $V = 0$ означает полную противоположность, а $V = 1$ – полное совпадение ранжировок. Практически достоверность считается хорошей, если $V = 0{,}7 \ldots 0{,}8$. Небольшое значение коэффициента конкордации, свидетельствующее о слабой согласованности мнений экспертов, является следствием следующих причин: в рассматриваемой совокупности экспертов действительно отсутствует общность мнений; внутри рассматриваемой совокупности экспертов существуют группы с высокой согласованностью мнений, однако обобщенные мнения таких групп противоположны.

Для наглядности представления о степени согласованности мнений двух любых экспертов A и B служит коэффициент парной ранговой корреляции:

$$\rho_{AB} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\psi_i^2}{\frac{1}{6}(n^3 - n) - \frac{1}{n}(T_A - T_B)},$$

где

ψ_i – разность (по модулю) величин рангов оценок 1-го свойства, назначенных экспертами A и B: $\psi_i = \left|R_{A_i} - R_{B_i}\right|$;

T_A и T_B – показатели связанных рангов оценок экспертов A и B.

Коэффициент парной ранговой корреляции принимает значения $-1 \le \rho \le +1$. Значение $\rho = +1$ соответствует полному совпадению оценок в рангах двух экспертов (полная согласованность мнений двух экспертов), а $\rho = -1$ – двум взаимно противоположным ранжировкам важности свойств (мнение одного эксперта противоположно мнению другого).

Как правило, все перечисленные методы анализа весьма просты с точки зрения математики. Однако они состоят из большого количества элементарных операций. Например, для парной оценки всего десяти альтернатив требуется провести не менее 45 оценочных операций. Следовательно, возникает необходимость в создании инструментальных программных средств для проведения анализа альтернативных стратегий. Такие программные системы должны[10] предлагать эксперту интуитивно понятный и эргономичный интерфейс, базу данных для пошагового сохранения процедуры принятия решений, описание исследуемой задачи, а также описание полученного решения[11].

На рис. 3 представлен укрупненный граф функционирования программной системы поддержки принятия решений (СППР) с прогнозированием динамики предпочтений (рис. 4, 5). Программная система является инвариантной к объекту исследований и может быть применена для решения широкого круга задач в области экономической и технической экспертизы[12]. Узлы графа – функционально законченные подпрограммы, одни из которых требуют дополнительного ввода информации от пользователя (например, узел 4 – требуется выбрать задачу из списка, составленного системой по множеству ссылок в базе данных), другие работают, используя информацию, подготовленную на предыдущих этапах функционирования. Ориентированные ребра графа показывают направление движения информации и пути перехода от одной подпрограммы к другой. Из некоторых узлов графа возможен переход сразу к нескольким другим узлам. Это означает, что переход к одному из узлов осуществляется либо в зависимости от результатов расчета и от состояния внутренних переменных, либо по желанию пользователя. Например, узел 10 (выбор метода принятия решений и прогнозирования) представляет собой функции обработки пользовательского меню.

Чтобы не загромождать граф перекрещивающимися дугами и для более наглядного представления функционирования системы, некоторые узлы на рисунке продублированы (они выделены жирным). Такие узлы представляют собой или подпрограммы для расчетов, или подпрограммы осуществляющие диалог с пользователем. Эти подпрограммы логически являются частью реализованных методов прогнозирования и принятия решений, но физически отделены от них и вызываются в процессе работы того или иного метода[13]. Диалог с пользователем осуществляется с помощью блока «Интерфейс с лицом, принимающим решения». К нему относятся следующие узлы графа: 2-4, 7, 9, 10, 15, 17, 23-25, 27-31, 33, 39. Интерфейс с базой данных – это узлы 5, 6, 8, 16, 20, 22. К алгоритмическому ядру относятся узлы 1, 11-14, 18, 19, 26, 32, 34, 35, 38. Интерфейс с блоком подготовки протоколов взаимодействует с подпрограммами, обозначенными на графе узлами 36 и 37. Номер узла на рисунке соответствует номеру функции в нижеприведенном списке.

[9] Острейковский В.А. Теоретико-множественое и динамическое описание систем: Конспект лекций по курсу «Основы теории систем». – Обнинск: Обнинский институт атомной энергетики, 1987.

[10] Терелянский П.В. Распределенная система поддержки принятия решений на основе метода анализа иерархий // Materialy IV mezinarodni vedecko-praktika conference «Evropska veda XXI stoleti – 2008» – Dil 16. Technicke vedyni. Moderni informacni technologie: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o. – 64 stran. – s. 55-58.

[11] Терелянский П.В. Концепция распределенной системы поддержки принятия решений / П.В. Терелянский, Р.М.-Р. Бахмудов // Известия ВУЗов: Машиностроение. – 2004. – №7. – С. 49-54.

[12] Терелянский П.В. Информационные технологии прогнозирования технических решений на основе иерархических моделей: Монография / А.В. Андрейчиков, П.В. Терелянский, О.Н. Андрейчикова. – Волгоград : ВолгГТУ, 2004.

[13] Терелянский П.В. Компьютерная система принятия решений с прогнозированием динамики предпочтений //Международная конференция по проблемам управления (29 июня – 2 июля 1999 г.).: Тез. докл. В трёх томах. Т. 2. – М.: Фонд «Проблемы управления», 1999. – С. 342-345.

1. Инициализация программной системы: определение внутренних переменных, открытие служебных файлов, подключение динамических библиотек, поиск и инициализация баз данных и так далее.
2. Функции настройки внутренних переменных системы.
3. Открытие существующей задачи для редактирования.
4. Поиск и выбор нужной задачи по областям знаний.
5. Функции подготовки программной системы для создания новой задачи принятия решений.
6. Поиск задачи по списку экспертов, которые связаны с выбранной областью знаний.
7. Выбор нужной задачи из предоставленного списка.
8. Физическое создание новой задачи на диске. Создание связей с подключенными базами данных.
9. Ввод и редактирование иерархии критериев и списка альтернатив.
10. Выбор метода принятия решений и прогнозирования.
11. Функции подготовки системы для решения задач методом попарного сравнения альтернатив (для статических задач). Эти функции включают в себя открытие или создание необходимых файлов, инициализацию внутренних переменных, поиск необходимой для решения задачи информации в подключенных базах данных.
12. Функции подготовки системы для решения задач методом сравнения альтернатив относительно стандартов.
13. Функции подготовки системы для решения задач с помощью процедуры линейного нормирования количественных величин.
14. Функции подготовки системы для решения задач методом попарного сравнения динамических суждений.
15. Выбор элемента иерархии («родитель»), относительно которого будут оцениваться нижележащие элементы («потомки»).
16. Поиск в базе данных эксперта, который оценивает текущий кластер. Если данных об эксперте нет в базе, то эти данные добавляются пользователем.
17. Ввод матрицы парных сравнений.
18. Анализ матрицы парных сравнений. Получение локального вектора приоритетов.
19. Расчет согласованности. При этом в файл протокола заносятся рассчитанные индексы, матрица парных сравнений, вектор приоритетов, имя эксперта, который заполнял матрицу, а также имя критерия, по которому оценивались альтернативы и список этих альтернатив. Если матрица заполнялась с использованием функций от времени, то в протокол заносится момент времени, для которого рассчитывается вектор приоритетов. Это узел графа логически можно отнести к блоку подготовки протоколов.
20. Выбор уже существующей шкалы из базы данных шкал для оценки элементов методом сравнения относительно стандартов.
21. Создание новой шкалы.
22. Ввод названия шкалы, ввод списка элементов шкалы. Сохранение шкалы в базе данных.
23. Оценка элементов иерархии с помощью выбранной шкалы.
24. Ввод количественных оценок.
25. Определение направления оценки – в лучшую / худшую сторону для процедуры линейного нормирования количественных величин.
26. Расчет вектора приоритетов по количественным оценкам элементов.
27. Использование шкалы статических оценок для тех элементов матриц парных сравнений, экспертные предпочтения по которым не изменяются на прогнозируемом интервале времени.
28. Использование функций для оценки динамических суждений тех элементов МПС, экспертные предпочтения по которым изменяются на прогнозируемом интервале времени.
29. Определение интервала, для которого экспертом подбирается функция.
30. Выбор вида функции для описания динамических суждений.
31. Подбор параметров для выбранной функции.
32. Определение момента времени и вычисление значения функций, входящих в матрицу парных сравнений.
33. Ввод границ временного интервала, для которого необходимо получить прогноз по совокупности критериев качества.
34. Свертка векторов приоритетов всех альтернатив отдельно по каждому из критериев качества. Если иерархия слабосвязная, то для расчета применяется алгоритм свертки на неполных иерархиях.
35. Свертка векторов приоритетов альтернатив по совокупности всех критериев (относительно фокуса иерархии). Если иерархия слабосвязная, то для расчета применяется алгоритм свертки на неполных иерархиях.
36. Подготовка протокола работы. Протокол формируется в процессе работы эксперта. При решении динамических задач, в системе предусмотрена возможность отключения функции протоколирования на некоторых этапах расчета глобальных векторов, чтобы не загромождать файлы отчетов множеством промежуточных данных.
37. Визуализация результатов. Вывод на экран аппроксимированных зависимостей, множества собственных векторов, вывод графиков, гистограмм и протокола работы.
38. Аппроксимация результатов прогноза приоритетов. Используется метод наименьших квадратов.
39. Использование метода улучшения согласованности в тех случаях, когда не удается добиться хорошей согласованности экспертных суждений, или когда не известна динамика предпочтений для какого-либо парного сравнения.

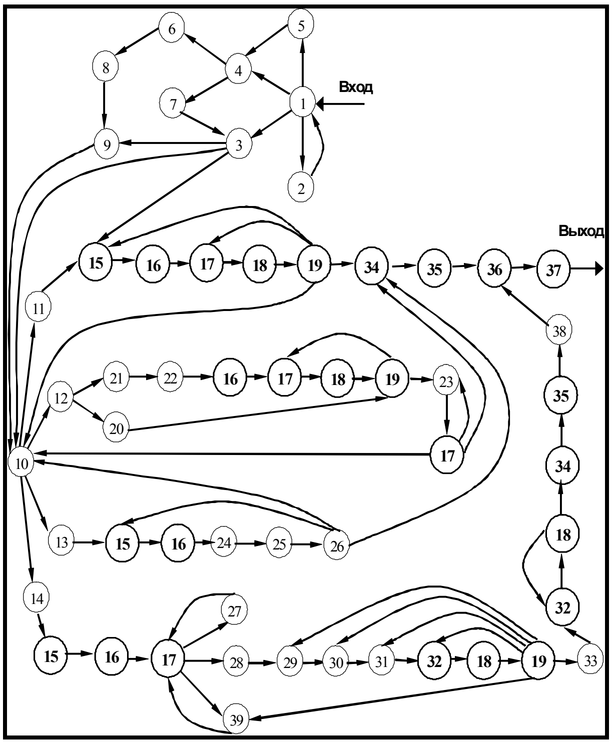

Рис. 3. Граф функционирования программной СППР с прогнозированием динамики предпочтений

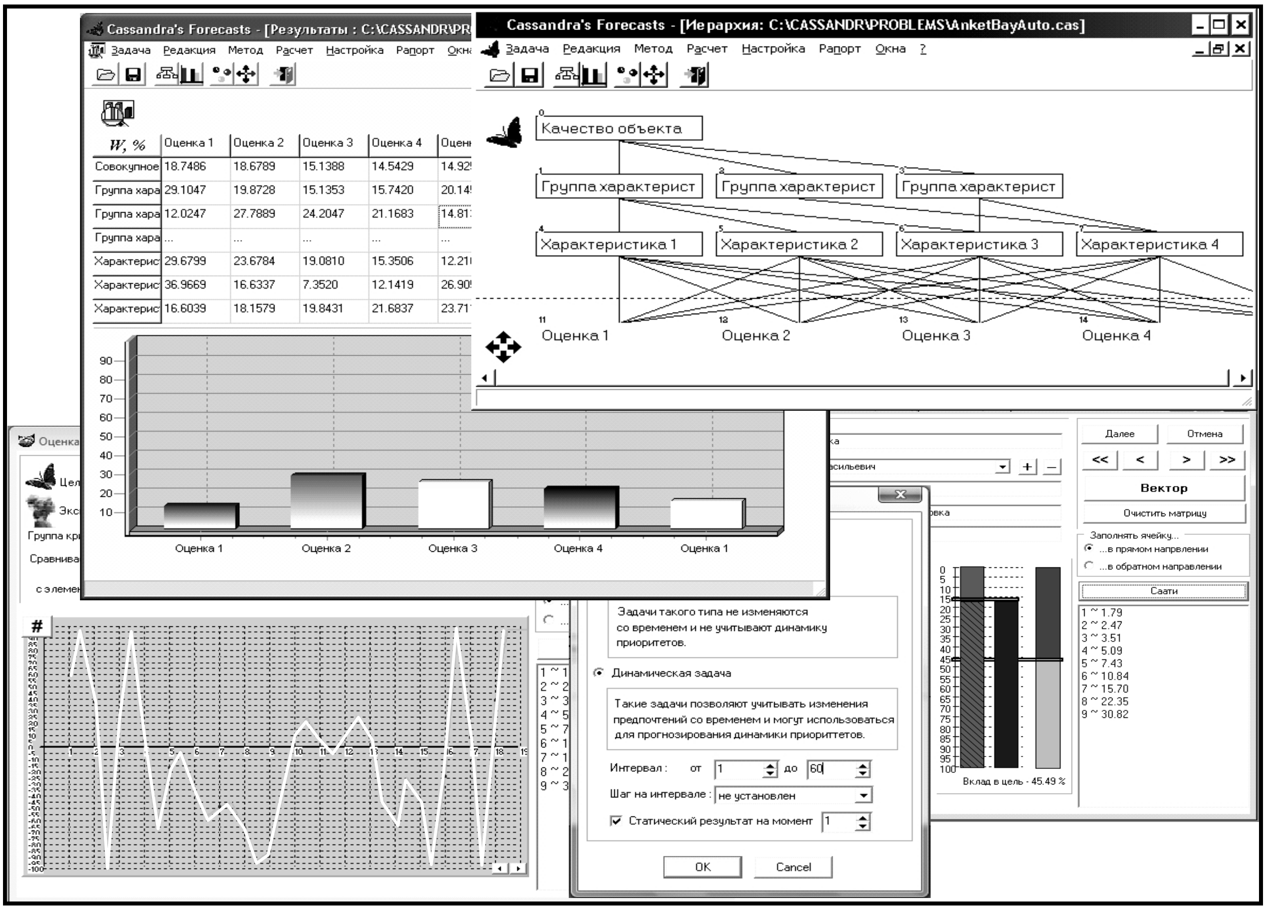

Рис. 4. Подбор параметров прогнозирования динамики предпочтений на основе автоматизированного поиска интерполяционных зависимостей

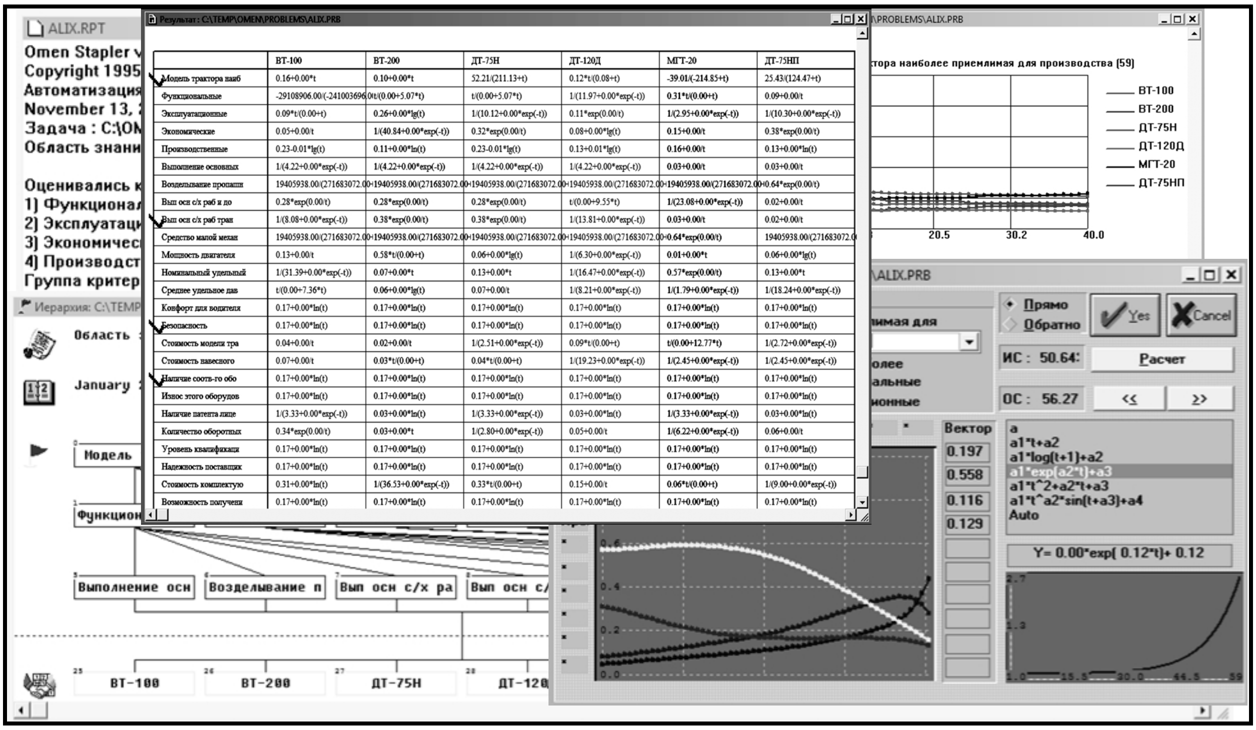

Рис. 5. Экстраполяционные зависимости, построенные на основе анализа параметрически заданных трендов

Литература

1. Борисов А.Н. Методическое обеспечение технологии принятия решений. Системы обработки знаний в автоматизированном проектировании / А.Н. Борисов. – Рига: Риж. техн. ун-т. 1992. – С. 12-15.
2. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С.А. Орловский. – М.: Наука, 1981. – 206 с., ил.
3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий : [Пер. с англ.] / Т. Саати. – М.: Радио и связь. 1993. – 316 с.
4. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
5. Терелянский П.В. Информационные технологии прогнозирования технических решений на основе иерархических моделей : Монография / А.В. Андрейчиков, П.В. Терелянский, О.Н. Андрейчикова. – Волгоград : ВолгГТУ, 2004. –156 с.
6. Терелянский П.В. Распределенная система поддержки принятия решений на основе метода анализа иерархий / П.В. Терелянский // Materialy IV mezinarodni vedecko-praktika conference «Evropska veda XXI stoleti – 2008» – Dil 16. Technicke vedyni. Moderni informacni technologie: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o. – 64 stran. – p. 55-58.
7. Терелянский П.В. Концепция распределенной системы поддержки принятия решений / П.В. Терелянский, Р.М.-Р. Бахмудов // Известия ВУЗов: Машиностроение. – 2004. – № 7. – С. 49-54.
8. Острейковский В.А. Теоретико-множественое и динамическое описание систем: Конспект лекций по курсу «Основы теории систем" / В.А. Острейковский. – Обнинск: Обнинский институт атомной энергетики, 1987. – 102 с.
9. Терелянский П.В. Исследование динамических систем для принятия решений / П.В. Терелянский // Современные проблемы информатизации. Тезисы докладов IV Международной электронной научной конференции. – Воронеж: Воронежский государственный педагогический университет, 1999. – С. 77-78.
10. Терелянский П.В. Компьютерная система принятия решений с прогнозированием динамики предпочтений / П.В. Терелянский // Международная конференция по проблемам управления (29 июня – 2 июля 1999 г.).: Тез. докл. В 3 т. Т. 2. – М.: Фонд «Проблемы управления», 1999. – с. 342-345.
11. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process / T.L. Saaty. – Mc.Graw-Hill, 1980. – 267 p.

Терелянский Павел Васильевич

РЕЦЕНЗИЯ

Более десяти лет на кафедре «Информационные системы в экономике» Волгоградского государственного технического университета ведутся исследования в области создания универсальных систем поддержки принятия решений (СППР). В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с практической программной реализацией теоретических положений одного из самых известных методов принятия решений – метода анализа иерархий. Этот метод имеет много сторонников и множество противников. Автор приводит некоторые аргументы в пользу применения этого метода и предлагает его существенную модернизацию – применение равномерной непрерывной интервальной шкалы вместо традиционной шкалы наименований, состоящей из 19 вербальных оценок. Кроме того, автор предлагает уникальную технологию расчета матриц парных сравнений, которые содержат функциональное описание динамики предпочтений. Классические подходы позволяют рассчитывать квадратные матрицы только размерностью до четырех. Предложенная методика не только снимает ограничения на количество одновременно проводимых парных сравнений, но и предлагает более простую технологию построения функций экспертных предпочтений, так как в процессе эксплуатации СППР выяснилось, что экспертам, чья деятельность не связана с алгебраическим представлением знаний достаточно трудно работать с параметрически заданными функциями. В статье подробно рассмотрен математический аппарат, который позволяет не только осуществлять поддержку принятия решений, но и строить прогнозы поведения исследуемой системы. В конце статьи приведен укрупненный граф функционирования и экранные формы разработанной автором СППР. Программная система полностью реализовывает весь математический аппарат, приведенный в статье, включая оценку на основе лингвистических стандартов и маргинальных приоритетов. Программная система реализовывает не имеющий аналогов метод прогнозирования на основе динамических парных оценок, метод улучшения согласованности экспертов, а также методы анализа и поиска сходных задач в базе данных.

Работа автора поддерживалась грантами РФФИ 05-08-01470-а, РФФИ 04-07-96502-р2004 поволжье_в, РФФИ 01-01-00043-а, РФФИ 04-07-96502 и РФФИ 98-07-90007-в. Материалы прогнозов, полученные с помощью данного метода и программной системы, а также математические модели описаны в трех монографиях автора (с соавторами) – «Информационные технологии прогнозирования технических решений на основе нечетких и иерархических моделей», «Нечеткие модели и средства для принятия решений на начальных этапах проектирования» и «Информационные технологии прогнозирования технических решений на основе иерархических моделей», и в более чем 50 других публикациях. Актуальность и востребованность данных исследований подтверждаются актами внедрения Научно-исследовательского и проектного института автоматизированных систем управления г. Волгограда (ЗАО НИПИ АСУ).

К сожалению, автор оставил открытыми вопросы дальнейшего совершенствования математического аппарата и модернизации разработанных им программных систем.

Вместе с тем, считаю, что статья может быть рекомендована к печати именно в том виде, в котором представлена автором.

Московцев А.Ф., д.э.н., профессор, заведующий кафедрой «Менеджмент, маркетинг и организация производства», декан факультета «Экономика и управление» Волгоградского государственного технического университета

11.2. MATHEMATICAL AND INSTRUMENTAL SUPPORTING OF DECISION MAKING IN THE ECONOMICS

P.V. Tereljansky, Candidate of Science (Technical), the Senior Lecturer «Intelligence Systems in Economy»

Volgograd State Technical University

The basic conditions of the mathematical foundation of optimum selection are examined in the article. There are a lot of methods of the analysis of optimality. Their distinguishing feature is the method of the mathematical integration of the quantitatively indices. Passage from the quality indicator to the quantitative is composes the systematic and instrument basis of many methods. The method of the analysis of the dynamics of priorities for obtaining the integral criterion of quality is examined. The procedure of paired estimations on the basis of the uniform interval scale, verbal expressed in the percentages is proposed. The amalgamated graph of the functioning of the program's decision support system on the basis of the method of percent estimations is represented in the article. The basic functions of program system are enumerated and briefly described.

Literature

1. A.N. Borisov. Methodical Providing of Technology of Decision Making. Systems of Processing Knowledge in the CAD / A.N. Borisov. - Riga: Rizhskiy Tech. University. 1992. - pp.12-15.
2. S.A. Orlovskiy. Problems of Decision Making with the Fuzzy Initial Information / S.A. Orlovskiy. – M.: Nauka, 1981. - 206 p.
3. V.A. Ostrejkovskiy. Theoretical-set's and the Dynamic Description of the Systems: Summary of lectures on the course «The bases of the theory of systems» V.A. Ostreykovskiy – Obninsk: Obninsk Institute of Atomic Power Engineering, 1987. – 102 p.
4. T.L. Saaty. The Analytic Hierarchy Process/ T. L. Saaty. – Mc.Graw-Hill, 1980. – 267 p.
5. T. Saaty. The Decision Making. The Analytic Hierarchy Process: [trans. from Engl.] / T. Saati. – M.: Radio i svjaz'. 1993. – 316 p.
6. T. Saaty, K. Kerns. The Analytical Planning. The Organization of the Systems: Trans. from Engl. - M.: Radio i svjaz', 1991. - 224 p.

7. P.V. Terelyansky. Distributed System of the Support of Decision Making on the Basis of the Method of the Analysis of Hierarchies. / P.V. Terelyansky // Materialy IV mezinarodni vedecko-praktika conference «Evropska veda XXI stoleti – 2008» – Dil 16. Technicke vedyni. Moderni informacni technologie: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o. – 64 p. – pp. 55-58.
8. P.V. Terelyansky. Computer System of Decision Making with the Prognostication of the Dynamics of the Preferences/ P.V. Terelyanskiy // International conference on the problems of control (June 29 – July 2, 1999).: Theses. report. In three volumes. Vol.2. - M.: Fund «The Problems of Control», 1999. – pp. 342-345.
9. P.V. Terelyansky. Concept of the Distributed System of the Support of Decision Making/ P.V. Terelyansky, R. M.-R. Bakhmudov // Izvestiya Vuzov. Machinostroenie, № 7, 2004. - pp. 49-54.
10. P.V. Terelyansky. Research of Dynamic Systems for Decision Making / P.V. Terelyansky // The contemporary problems of informatization. Theses of the reports IV of international electronic scientific conference. – Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 1999. – pp. 77-78.
11. P.V. Terelyansky. The Information Technologies of the Prognostication of the Technical Solutions on the Basis of the Hierarchical Models: The monograph / A.V. Andreychikov, P.V. Terelyansky, O.N. Andreychikova. - Volgograd: VSTU, 2004. – 156 p.