



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 519

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ СОГЛАСОВАННОСТИ ЭКСПЕРТНЫХ ДАННЫХ БЕЗ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Балашов О.В., Кондратова Н.В.

Смоленский филиал АО «Радиозавод», Россия, (214027, г. Смоленск, улица Котовского, дом 2); e-mail: smradio@mail.ru

Рассматривается качество принимаемых решений в условиях неопределенности, основанных на экспертной информации. Предлагается способ коррекции несогласованных экспертных данных, реализующий метод определения доли относительной интенсивности альтернатив.

Ключевые слова: решение, неопределённость, данные, согласование оценок, отношение предпочтения.

A METHOD OF INCREASING THE CONSISTENCY OF EXPERT DATA WITHOUT ADDITIONAL INFORMATION

Balashov O.V., Kondratova N.V.

Smolensk branch of joint-stock company "Radio factory", Russia, (214027, Smolensk, street Kotovskogo, the house 2); e-mail: smradio@mail.ru

The quality of decisions taken in the context of uncertainty based on expert information is considered. A method for correcting uncoordinated expert data is proposed, which implements a method for determining the relative relative intensity of alternatives.

Key words: decision, uncertainty, data, agreement of estimates, preference relation.

Известно, что в организационных системах, очень трудно оценить качество принятых решений из-за большого субъективизма целевой направленности действий одного человека (ЛПР), а тем более коллективов людей. Принятые в таких системах решения часто основываются на личном опыте ЛПР и его субъективном мнении, формирующем в некоторых случаях необъяснимую даже им самим систему предпочтений. Такие решения могут проверить и оценить только эксперты, имеющие богатый опыт работы в предметной области решаемой задачи. Как вывод, оценка качества принятых решений в организационно-технических системах крайне субъективна.

Целевые свойства характеризуют степень соответствия полученного результата целям и задачам, поставленным при принятии решения. Степень соответствия может быть измерена посредством показателя адекватности характеристик полученного результата (свойства решения), тем требованиям, которые поставил ЛПР перед принятием решения в виде ограничений на каждую из характеристик. При этом допускается создание сложных оценочных моделей проверки адекватности на основе комплексного показателя, учитывающего важность каждого из частных показателей и их взаимосвязь. Свойство адекватности может быть описано через такой показатель, как точность характеристик

принятого решения. Точность может быть оценена посредством ограничений (пороговые характеристики), поставленных как на отдельные компоненты решения, так и на всё решение в целом.

Оценка качества принятых решений в организационно-технических системах, в отличие от оценки технических, проводится только по целевому свойству и сводится к тому, что само решение представляется как совокупность задач, требующих решения к определенному времени. Численным значением показателя качества принятого решения, состоящего из совокупности задач, в этом случае выступает отношение числа решенных задач к числу задач, которые требовалось решить в указанный период.

Такой подход, даже с учётом важности каждой из решаемых задач, отражает качество принятого решения только через его объём и не затрагивает «внутренних (смысловых)» характеристик каждой из частных задач. Не оцениваются характеристики частных задач и степень их соответствия требованиям предъявляемым к ним со стороны лица, принимающего решения. Следовательно, задачу оценки качества решений в организационно-технических системах необходимо решать с позиций системного подхода, то есть проводить исследования по последовательно убывающим уровням обобщения с учетом комплекса межуровневых и внутри уровневых взаимосвязей, рассматривая решение как систему, состоящую из связанных между собой подсистем – частных решений, каждое из которых имеет конечный набор свойств (характеристик), влияющих на качество принятого решения.

Способы повышения качества принимаемых решений могут быть классифицированы как по особенностям представления и преобразования информации, так и по месту их применения на разных этапах принятия решений. В зависимости от необходимости привлечения дополнительной информации для решения проблемы повышения качества и обоснованности принимаемых решений применяют два основных способа снижения уровня неопределённости:

- с привлечением дополнительной (вспомогательной) информации о свойствах альтернатив (экстенсивные меры снижения неопределённости);
- без привлечения дополнительной информации (интенсивные меры снижения неопределённости).

Реализация первого способа связана с отысканием новых источников информации о свойствах альтернатив, что в ряде случаев затруднительно и не дает уверенности в том, что дополнительные оценки снизят неопределённость уже имеющейся информации. Кроме того, с увеличением числа источников информации, возрастает количество сравниваемых вариантов свойств, что приводит к увеличению размерности решаемой задачи, усложнению алгоритмов обработки информации и повышению временных затрат на получение результата решения при постоянной производительности вычислителя.

Реализация второго способа связана с отысканием набора оценок свойств альтернатив, обладающих свойствами связности и транзитивности, на множестве элементов которых ЛПР может четко выразить суждения об отношении предпочтения.

В настоящей статье экстенсивные меры снижения неопределённости не рассматриваются, как практически неприменимые для обеспечения процессов подготовки и принятия решений в условиях реального масштаба времени, когда физически невозможно получить и обработать дополнительную информацию. Далее рассматриваются только те методы и способы уменьшения неопределённости, которые относятся к интенсивным мерам.

По месту применения в схеме принятия решений различают способы корректировки исходных данных на этапах:

- подготовки решений;
- непосредственного принятия решений.

Первая группа способов направлена на уменьшение влияния условий и причин возникновения неопределенности. Способы предназначены для уменьшения ошибок, возникающих непосредственно при:

- опросе ЛПР (ошибки, появляющиеся в результате преобразования данных и знаний ЛПР из его системы представления в систему оценок, навязанную ЛПР при опросе);
- преобразовании информации (ошибки, появляющиеся в результате преобразования оценок в систему показателей предпочтения альтернатив).

Вторая группа способов направлена на уменьшение влияния последствий проявления неопределенности на полученные промежуточные и окончательные результаты задачи принятия решений. Эти способы предназначены для коррекции оценок показателей или группы оценок (в соответствии с рассматриваемой иерархией показателей) альтернатив (возможных решений) до выполнения главной процедуры выбора на множестве альтернатив. Особая роль в этой группе отводится способам и методам согласования информации.

В зависимости от того, кто или что согласует информацию, традиционно выделяют два типа процедур согласования [1, 2]: «чисто переговорные», то есть без использования вычислительной техники и многоуровневые (итеративные) без личных контактов с контролируемой обратной связью, осуществляемой специальным программным обеспечением.

Способы согласования, как правило, включают методику согласования решений (оценок), в состав которой входят методы получения, представления и преобразования оценок свойств альтернатив и оценок самих альтернативных решений по каждому из свойств. В том случае, когда не требуется предварительное преобразование информации, её согласование производится на основе одного метода, а не совокупности методов, сам метод выступает в роли способа согласования. При этом под методикой согласования подразумеваются процедуры реализации рассматриваемого метода.

В зависимости от ситуации принятия решений за основу классификации моделей согласования данных и решений может быть выбрана схема (таблица 1) [3].

Таблица 1 – Классификация моделей в зависимости от ситуации принятия решений

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
Примечание – Ситуации принятия решений {А, Б, В, Г, Д, Е, К, М}:			
А и В	–	задачи математического программирования;	
Б	–	выбор конструкции механизмов при наличии многих критериев;	
В	–	применение механизмов, использующих адаптивные алгоритмы;	
Д	–	применение многокритериальных методов;	
Е	–	при принятии личных решений;	
К	–	модели, аппроксимирующие поведение человека;	
М	–	модели, используемые при построении экспертных систем (для решения проблемы выявления знаний).	

Первая группа способов решения задач ЛПР характеризуется, в основном, критериально-экспертным выбором на основе субъективной модели, использующей уникальные неповторяющиеся данные, полученные при групповом или единоличном опросе ЛПР.

Способы второй группы характеризуются целостным выбором и сводятся к процедурам нормирования характеристик показателей решений. Эти задачи не позволяют устранять

ошибки, полученные при экспертном опросе и при преобразовании информации из одной формы представления в другую.

Способы первой группы могут устранять внесенные и полученные ошибки на основе хорошо изученных методов согласования групповых оценок [1, 2]: идеальной точки; ранжирования по Парето; с использованием кусочно-линейной аппроксимации функции предпочтения ЛППР; с использованием «лямбда» коэффициентов и другие методы.

Однако при согласовании единоличных уникальных неповторяющиеся субъективных оценок, большинство из перечисленных выше способов невозможно использовать, поскольку трудно отыскать связь между этими оценками. Одним из способов согласования информации в указанных условиях является использование процедур получения экспертных знаний по Стивену и Галантеру [4], в основу которого положена гипотеза о согласованности экспертных оценок по каждому из показателей.

Такой подход, названный «психофизическим» шкалированием, предопределяет согласованность тем, что при опросе экспертам предлагается одновременно сравнивать каждое свойство со всеми остальными свойствами, получая только одну строку (столбец) матрицы M , (см. формулу (7)). В работе [5] критикуется этот подход и утверждается, что гипотеза одномерности не может быть проверена непосредственно и что нет способа связать, одну шкалу с другой как в методе анализа иерархий. Кроме того, на практике доказано, что гипотеза о согласованности экспертных оценок по каждому из показателей очень часто не выполняется.

Другой альтернативный способ согласования экспертных оценок – применение методов транзитивного замыкания отношения предпочтения. Для реализации указанных методов необходим переход от суждений к отношениям и представление исходной субъективной информации в виде модельных отношений предпочтения.

Способ транзитивного замыкания отношения предпочтения. Отыскание набора оценок свойств альтернатив, обладающих свойствами связности и транзитивности, связано с операцией замены не транзитивного отношения R «ближайшим» к нему наименьшим транзитивным отношением R^* , включающим в себя R . Такая операция называется транзитивным замыканием отношения R . Транзитивное замыкание часто используют для уточнения экспертных данных на этапе подготовки принятия решения.

В зависимости от функционала, лежащего в основе процедуры транзитивного замыкания, различают минимаксную, максиминную, максимумультипликативную и другие стратегии. Более подробно способы транзитивного замыкания отношения предпочтения на основе наиболее часто применяемых стратегий замыкания рассмотрены в [6]. Однако все представленные способы обладают рядом существенных недостатков, ограничивающих их использование в методах анализа иерархий при коррекции субъективно полученных данных. На примере одного из способов транзитивного замыкания проведем анализ достоинств и недостатков этого способа коррекции данных.

Известно, что свойство транзитивности – необходимое условие формирования системы предпочтений [6]. По определению, отношение R называется транзитивным, если для любой тройки элементов $d_1, d_2, d_3 \in D$ выполняется условие, такое, что из условия $(d_1, d_2) \in R$ и $(d_2, d_3) \in R$ следует, что $(d_1, d_3) \in R$.

В формализованном виде операция транзитивного замыкания может быть представлена в виде равенства

$$R^* = R \cup R^2 \cup R^3 \cup \dots \cup R^n \dots,$$

где $R^2 = R \otimes R$ – композиция отношения R ;

$$R^3 = R^2 \otimes R, R^4 = R^3 \otimes R, \dots,$$

а композиция R^2 определяется по правилу перемножения матриц смежности отношений R с заменой арифметических операций операциями булевой алгебры.

В качестве примера рассматривается операция транзитивного замыкания, проведенная с целью «восстановления» транзитивности у экспертных данных, полученных при опросе [6]. Пусть при парном сравнении установлено, что W_1 не менее предпочтительнее W_2 , а W_2 не менее предпочтительнее W_3 . Указанное отношение несвязно и не транзитивно. Матрица смежности этого отношения представлена в виде матрицы

$$R = \begin{array}{c|ccc} & W_1 & W_2 & W_3 \\ \hline W_1 & 1 & 1 & 0 \\ W_2 & 0 & 1 & 1 \\ W_3 & 0 & 0 & 1 \end{array}, \quad (1)$$

а композиции отношения имеют вид

$$R^2 = \begin{array}{|ccc|} \hline 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}, \quad R^3 = \begin{array}{|ccc|} \hline 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}. \quad (2)$$

Поскольку R^3 совпадает с R^2 , то транзитивное замыкание совпадает с R^2 .

По аналогии с транзитивным замыканием отношения R , транзитивное замыкание нечёткого отношения \tilde{R}^* может быть представлено в виде равенства

$$\tilde{R}^* = \tilde{R} \cup \tilde{R}^2 \cup \tilde{R}^3 \cup \dots \cup \tilde{R}^n, \quad (3)$$

где $\tilde{R}^2 = \tilde{R} \otimes \tilde{R}$ – композиция нечёткого отношения \tilde{R} , а значения функции принадлежности элементов композиции нечёткого отношения \tilde{R}^2 могут быть найдены на множестве элементов из выражения

$$\mu_{R^2}(d_1, d_3) = \max_{d_2} \min \{m_R(d_1, d_2), m_R(d_2, d_3)\} \text{ для любых } d_1, d_2, d_3 \in D,$$

где $\mu_{R^2}(d_1, d_3)$ – уточнённая оценка.

Приведем пример транзитивного замыкания нечёткого отношения \tilde{R} .

Исходные данные представлены в виде обратно симметричной матрицы значений функции принадлежности μ_R .

$$\tilde{R} = \begin{array}{|ccc|} \hline 1 & 0,6 & 0 \\ 0,4 & 1 & 0,3 \\ 0 & 0,7 & 1 \\ \hline \end{array}, \quad (4)$$

а композиции отношения имеют вид

$$\tilde{R}^2 = \begin{array}{|ccc|} \hline 1 & 0,6 & 0,3 \\ 0,4 & 1 & 0,3 \\ 0,4 & 0,7 & 1 \\ \hline \end{array}, \quad \tilde{R}^3 = \begin{array}{|ccc|} \hline 1 & 0,6 & 0,3 \\ 0,4 & 1 & 0,3 \\ 0,4 & 0,7 & 1 \\ \hline \end{array}. \quad (5)$$

Поскольку \tilde{R}^3 совпадает с \tilde{R}^2 , то транзитивное замыкание совпадает с \tilde{R}^2 . Уточненные оценки, полученные на основе выбора из исходного множества экспертных оценок, обладают рядом существенных недостатков:

- в них присутствует изначально заложенная экспертом погрешность суждений;
- значения уточнённых оценок ограничиваются множеством исходных значений, что по своей сути противоречит суждениям эксперта;
- после завершения процедуры транзитивного замыкания возникает «через диагональная несогласованность данных» (см. в полученной матрице \tilde{R}^3 (5) значения, расположенные в первой строке третьего столбца и третьей строке первого столбца).

В противоположность методу транзитивного замыкания, основанному на булевой алгебре, предлагается более точный (по показателю отношение согласованности [5]) и более простой (по количеству реализованных процедур вычислений и проверочных циклов, соответствующих числу итераций) способ аппроксимации экспертных оценок, названный способом корректировки несогласованных экспертных данных методом отношений.

Способ коррекции несогласованных экспертных данных, реализующий метод определения доли относительной интенсивности альтернатив. Физическая интерпретация предложенного способа заключается в том, что при выполнении условий связности и транзитивности все оценки должны быть связаны между собой. Эта связь особенно наглядно проявляется в том случае, когда экспертные оценки получены при парном сравнении рассматриваемых показателей свойств методом отношений. В этом случае по численным значениям оценок только одной строки матрицы \mathbf{M} (см. (7)) могут быть найдены все остальные значения оценок. Способ коррекции несогласованных экспертных данных использует результаты, полученные методом определения доли относительной интенсивности альтернатив (или отношений) и состоит из следующих процедур:

- преобразование экспертных оценок, полученных в виде численных значений функции принадлежности, в оценки функции отношения предпочтения при парном выражении предпочтения как доли относительной интенсивности (шкала отношений предпочтения);
- определение рангов показателей свойств как доли суммарной интенсивности всех оценок по каждому из свойств в интегральной оценке всех свойств (нормированная интервальная шкала оценок);
- обратное преобразование интервальных оценок в согласованные оценки по шкале отношений и заполнение полученными данными обратно симметричной матрицы отношений предпочтений.

Основное содержание способа коррекции данных состоит в преобразовании экспертных оценок, полученных в виде функции принадлежности $\mu_R(d_k, d_f)$, в оценки функции отношения предпочтения W_{kf}

$$W_{kf} = W(d_k, d_f) = \frac{\mu_R(d_k, d_f)}{\mu_R(d_f, d_k)} \quad (6)$$

и представлении их в виде отношения предпочтения сравниваемых показателей a, b, c, d , объединенных в обратно симметричную матрицу (7).

$$\mathbf{M} = \begin{vmatrix} 1 & W_{12} & W_{13} & W_{14} \\ W_{21} & 1 & W_{23} & W_{24} \\ W_{31} & W_{32} & 1 & W_{34} \\ W_{41} & W_{42} & W_{43} & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & a/b & a/c & a/d \\ b/a & 1 & b/c & b/d \\ c/a & c/b & 1 & c/d \\ d/a & d/b & d/c & 1 \end{vmatrix}. \quad (7)$$

Представление оценок в виде отношений позволяет отказаться от применения процедур булевой алгебры и перейти к альтернативным способам корректировки данных, основанным на методе отношений и методе определения наибольшего собственного значения матрицы отношений. Комплексное использование этих методов для решения поставленной задачи коррекции экспертных оценок позволяет заменить математическую модель

последовательной проверки на транзитивность отношении между выбранной оценкой и всеми парами связанных с ней оценок моделью параллельной проверки на транзитивность отношения между выбранной оценкой и всеми связанными с ней оценками.

Численные значения самих показателей a , b , c , d неизвестны. Однако, применяя процедуру отыскания рангов показателей свойств объекта, предложенную в работе [5], доля суммарной интенсивности каждого из свойств определяется по формуле

$$\lambda_f = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n W_{ji}} \times \frac{1}{\sum_{j=1}^n \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n W_{ji}}} \quad (8)$$

Для перехода от интервальной шкалы оценок к шкале отношений рассчитываются уточненные значения оценок

$$W_{kf}^* = \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n W_{ki}}}{\sum_{j=1}^n \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n W_{ji}}} \div \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n W_{fi}}}{\sum_{j=1}^n \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n W_{ji}}} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \frac{W_{ki}}{W_{fi}}} = \frac{\lambda_k}{\lambda_f} \quad (9)$$

где $k, f = \overline{1, n}$.

Полученные значения заносятся в массив экспертных оценок, представленный в виде обратно симметричной матрицы отношений предпочтения.

Особенность предложенного способа состоит в том, что при любом уровне несогласованности экспертных оценок корректировка их численных значений проводится только за один период уточнения (для сравнения, при равных условиях эксперимента для корректировки экспертных оценок методом транзитивного замыкания требуется от 3 до 5 периодов уточнения). При этом степень несогласованности полученных данных предложенные в работе методом составляет порядка 10^{-8} (при использовании метода транзитивного замыкания – 10^{-2}). Для программной реализации процедуры корректировки несогласованных экспертных данных методом отношений могут быть использованы нейронные сети с обратным распространением сигнала.

Физическая сущность процедуры корректировки состоит в том, что одновременно корректируются значения всех экспертных оценок за счёт других оценок (оценок того ряда и столбца матрицы, которым принадлежит уточняемая оценка). Несогласованность отдельных оценок как бы «размывается» по всем оценкам равномерно. В результате этого с локальным перераспределением несогласованности появляется транзитивность.

Однако рассмотренный способ корректировки экспертных данных обладает одним существенным недостатком – ограничением на область применения. Использование способа возможно лишь в том случае, когда ЛПР согласно с полученными рангами альтернатив. При использовании предложенного способа ранги альтернатив сохраняются неизменными. Изменяются сами экспертные оценки в направлении улучшения свойств связности и транзитивности рассматриваемых отношений.

В том случае, когда численные значения рангов альтернатив не удовлетворяют требованиям системы предпочтений ЛПР, а сами экспертные оценки не согласованы и отношение не обладает свойством транзитивности, применение предложенного способа коррекции нецелесообразно по причине того, что вновь полученные (или уточненные) экспертные оценки, обладая свойствами связности и транзитивности, по-прежнему не будут удовлетворять системе предпочтений ЛПР. Это объясняется тем, что при коррекции численных значений экспертных оценок, вне зависимости от степени их согласованности по каждому из сравниваемых показателей свойств, проводится их аппроксимация на множестве близлежащих оценок. Это означает, что уточненная оценка получается на множестве оценок, принадлежащих строке и столбцу обратно симметричной матрицы отношений предпочтения, которым принадлежит и уточняемая оценка. В том случае, когда близлежащие оценки

получены с ошибкой, эта ошибка усредняется и передается в качестве уточняющего приращения корректируемой оценке.

Для устранения указанной недостатка и коррекции несогласованных экспертных данных при заранее неизвестном отношении ЛПР к получаемым рангам альтернатив должна применяться процедура уточнения наименее согласованных экспертных оценок на основе наиболее согласованных. Такой подход оправдан тем, что по своей природе экспертные знания неоднородны, а следовательно, уточнению должны быть подвергнуты не все оценки, а только те, в которых заложена ошибка, полученная при опросе.

Таким образом, анализ способов выражения предпочтений и методов коррекции данных, полученных на их основе, показал, что для получения надежных и обоснованных решений, удовлетворяющих системе предпочтений лица, принимающего решения, исходная информация должна быть проверена на согласованность и непротиворечивость, полноту и однозначность. Эти свойства информации определяют выбор на множестве альтернатив. Такой выбор возможен только при наличии отношений связности и транзитивности в системе предпочтений ЛПР. Следовательно, главная цель этапа подготовки принятия обоснованных решений – определение показателя уровня согласованности исходной информации и сравнение его численного значения с допустимым значением. Повышение уровня согласованности исходных данных возможно на основе транзитивного замыкания отношения предпочтения или коррекцией исходных данных в направлении получения отношения связности и транзитивности между ними.

Список литературы

1. Трахтенгерц Э.А. Компьютерные методы реализации экономических и информационных управленческих решений. В 2-х томах. Том 1. Методы и средства. – М.: СИНТЕГ, 2009.
2. Мулен Э. Кооперативное принятие решений: Аксиомы и модели /Пер. с англ. – М.: Мир, 1991.
3. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. – М.: Логос, 2002.
4. Балашов О.В., Кондратова Н.В., Ошеров А.Я. Советующие системы для принятия решений при управлении организационно-техническими системами. – Смоленск: изд-во Смоленского филиала АНО ВПО ЦС РФ «Российский университет кооперации», 2012.
5. Саати Т. Л., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. – М.: Радио и связь, 1991.
6. Кофман А. Введение в теорию нечётких множеств /Под ред. С. И. Травкина. – М.: Радио и связь», 1982.

References

1. Trakhtengerts E. A. Computer methods of realisation of economic and information administrative decisions. In 2 volumes. Volume 1. Methods and means. – M.: SINTEG, 2009. (in Russian)
 2. Moulin E. Co-operative decision-making: Axioms and models / Trans. with English. – Moscow: The World, 1991. (in Russian)
 3. O.I. Larichev. Theory and methods of decision-making. – M.: Logos, 2002. (in Russian)
 4. Balashov O.V., Kondratova N.V., Osheroov A.Ya. Advising systems for decision-making in the management of organizational and technical systems. – Smolensk: publishing house of the Smolensk branch of the ANO VPO of the RF Central Committee "Russian University of Cooperation", 2012. (in Russian)
 5. Saati TL, Kerns K. Analytical planning. Organization of systems. – M.: Radio and Communication, 1991. (in Russian)
 6. Kofman, A., Introduction to the theory of fuzzy sets, Ed. SI Travkina. – M.: Radio and Communication, 1982. (in Russian)
-