УДК 519.81:004.04

В.И. Финаев, Ю.А. Заргарян

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ЭКСПЕРТОВ ПРИ ГРУППОВОМ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ

Описаны подходы к формализации предпочтений экспертов, а также способы измерения критериев, приведен анализ стохастических комбинаций критериев, обосновано применение приближенно-количественных измерений, приведены методы экспертного оценивания. В случаях чрезвычайной сложности проблемы, ее новизны, недостаточности имеющейся информации, приходится обращаться к рекомендациям компетентных специалистов, прекрасно знающих проблему, – к экспертам. Так как выбор оптимального решения сводится к выбору оптимальной оценки из множества всех возможных оценок комбинаций значений критериев, то описание предпочтений эксперта (экспертов) является самым существенным фактором, обеспечивающим поиск оптимального решения.

Принятие решений; эксперт; формализация предпочтений; критерий.

V.I. Finaev, Yu.A. Zargaryan

FORMALIZATION PREFERENCES IN EXPERT GROUP DECISION MAKING

This article describes the approaches to the formalization of the preferences of experts, as well as methods of measurement criteria, provide an analysis of stochastic combinations of criteria that justified the use of the approximately quantitative measurements are the methods of expert estimation. In cases of extreme complexity of the problem, its newness, the lack of available information, it is necessary to address the recommendations of competent professionals who know the problem – to the experts. Since the choice of the optimal solution reduces to the choice of the optimal estimate of the set of all possible combinations of values assessment criteria, the description of the preferences of expert (s) is the most important factor in the search for optimal solutions.

Decision-making; expert; formalization of preferences; criterion.

Измерения критериев. При групповом принятии решений с применением экспертных знаний может и не существовать априорных данных о какого-либо вида корреляции одного критерия с другими критериями. Определить требуемый вид шкалы оценки можно только с помощью изучения эмпирических отношений между критериями, а также элементами системы с измерениями, определяющими выбранный критерий. Действительно, если предпочтения эксперта формально определены некоторой квазисерией критериев, то им должны соответствовать измерения в ранговой шкале.

В самом общем случае, при анализе экспертами множества критериев $f_1, f_2, \ldots, f_m$ при формализации предпочтения эксперта принимается во внимание нечеткое (или четкое) отношение $\tilde{P}^m$, измеряемое на базовом множестве $X=X_1 \times X_2 \times \ldots \times X_m$, $f_i(x_i) \in X_i$. Например, если происходит формализация предпочтений эксперта, исходя из анализа трех критериев f_i, f_j и f_k, то нечеткое отношение будет содержать те и только те упорядоченных тройки (f_1, f_2, f_3), для которых значение критерия f_1 более предпочтительно по сравнению со значением критерия f_2, чем по сравнению со значением критерия f_3. В этом случае график отношения $\tilde{P}^3 \subseteq X^3$, т.е. определен на множестве $X=X_i \times X_j \times X_k$.

Известно [1], что если $R^k \subseteq X^m$ $(m_k \geq 0)$, то систему $R^*=(X, R^k)$ называют системой с отношениями, а совокупность m_k $(k \in K)$ сигнатурой этой системы. Если задано множество вещественных чисел R, ρ^k $(k \in K)$ – числовые отношения, а сигнатура системы $R^*=(R, \rho^k, (k \in K))$ совпадает с сигнатурой системы X^*, то измерение в системе R определено функцией $f\colon X \to R$:

$$(f_1,...,f_{m_k})\in R^k \leftrightarrow (f(x_1),...,f(x_{m_k}))\in \rho^k,\ k\in K. \qquad (1)$$

Если критерий $f(x)$, $(x\in X)$ измеряем в системе R^*, то функция φ: $R\to R$ является допустимым преобразованием $\varphi(f(x))$, $(x\in X)$ измерения в системе R^*, а характеризующая тип шкалы совокупность преобразований Φ, определяется системами X^* и R^*. Эксперт реализует выбор отношений ρ^k для системы R^*, причем эмпирические отношения P^K описываются в таких терминах, которые приводят к более или менее однозначному выбору ρ^k.

Например, высказыванию «критерий f_i строго предпочтительней, чем критерий f_j» соответствует числовое отношение «$f_i>f_j$». Высказыванию «критерий f_i более предпочтительней по сравнению с критерием f_j, чем критерий f_k по сравнению с критерием f_d» – отношение «$f_i- f_j>f_k-f_d$.

Информация о разностях между измерениями критериями в рассмотренном примере сужает: класс допустимых преобразований до класса $\Phi_Д$ положительных линейных преобразований $\varphi(x)=lx+k$, $(l>0)$.

Пусть рассматриваются эталонные значения критериев $x_0,x_1,..., x_N$, причем расстояния между значениями $f(x_{i+1})$-$f(x_i)$ равны одному и тому же числу, $i=\overline{1,N}$.

В терминах четырехместного отношения D $((f_i, f_j, f_k, f_d)\in D)$ следует, что критерий f_i не менее предпочтителен по сравнению с критерием f_j, чем критерий f_k по сравнению с критерием f_d. Это можно выразить ещё так:

$$(f(x_{i+1}), f(x_i), f(x_{j+1}), f(x_j))\in D\to(f(x_{j+1}), f(x_j), f(x_{i+1}), f(x_i))\in D,$$
$$i,j=\overline{1,N\text{-}1}. \qquad (2)$$

Числовая система для (X,D) – множество натуральных чисел N с отношением

$$D: (x_1, x_2, x_3, x_4)\in D \leftrightarrow f(x_1)\text{-}f(x_2)\geq f(x_3)\text{-}f(x_4). \qquad (3)$$

Таким образом, измерение критериев, имеющее тип шкалы $\Phi_Д$, выполнено в шкале интервалов.

Рассмотрим следующий пример. Определим критерий проявления срыва поставок изделий от двух поставщиков, например, $f(x_1)$=0,25, $f(x_2)$=0,55, т.е. выберем начало отсчета и масштаб. Тогда по свойству D для f выполнено

$$f(x_3)\text{-}f(x_2)\geq f(x_2)\text{-}f(x_1)\to f(x_2)\text{-}f(x_1)\geq f(x_3)\text{-}f(x_2).$$

Подставляя $f(x_1)$=0,25, $f(x_2)$=0,55, получим $f(x_3)$-0,55≥0,3→0,3≥$f(x_3)$-0,55, т.е. $f(x_3)$≥0,85↔f(x_3)≤0,85 так, что $f(x_3)$ определяется однозначно и равно 0,85.

Аналогично определяется $f(x_4)$ и т.д. Так как измерение однозначно при выборе начала отсчета и масштаба, то оно выполнено в интервальной шкале.

В том случае, когда не существует информации об равномерных эталонных значениях критериев на числовой оси, то измерения в интервальной шкале должны давать достаточную информацию о соотношении расстояний между оценками.

Анализ стохастических комбинаций критериев. Предположим, что критерии из множества $f_1, f_2, \dots, f_m$ выбираются экспертом случайным образом, например, в случае априори неопределенных предпочтений. На основании известных допущений фон Неймана–Моргенштерна [2] существуют ситуации, когда эксперт сравнивает по предпочтению не только сами критерии, но и их случайные комбинации.

Пусть критерий f_i может быть выбран с вероятностью p, а с вероятностью 1-p выбирается критерий f_j.

Данное событие согласно [2] назовем p-комбинацией критериев (f_i, f_j) и формально определим записью

$$pf_i\oplus(1\text{-}p)f_j,\ 0<p<1. \qquad (4)$$

Для множества критериев $f_1, f_2, \dots, f_m$ можно задать соответствующее множество вероятностей $P=(p_1, ..., p_m)$ так, что критерий f_i выбирается с вероятностью p_i.

Рассмотрим запись $pf_i \oplus (1-p)f_j \oplus f_k$. При значении p, близком к единице, p-комбинация критериев (f_i, f_j) предпочтительнее, чем критерий f_j, наоборот, при значении p, близком к нулю, критерий f_j предпочтительнее в выборе, чем p-комбинация критериев (f_i, f_k).

При промежуточном значении p p-комбинация критериев $pf_i \oplus (1-p)f_j \oplus f_k$ и критерий f_j окажутся равноценными в выборе.

Если A множество всех вероятностных комбинаций критериев, то определенные экспертами отношения на A – отношение строгого предпочтения R, и, если это отношения числовые, то рассматриваются отношение «больше» и операция определения математического ожидания.

Пусть исходное множество критериев содержит m элементов. Частный случай $(p_l, ..., p_m)$-комбинации всех критериев исходного множества является p-комбинация при любом k меньшем m.

Так как элементами множества критериев являются не только объекты, но и их комбинации, то необходимо формально определить возможностные вариации этих комбинаций.

Для любых комбинаций справедливо

$$p_1 f_1 \otimes \dots \otimes p_m f_m = p_{i_1}, f_{i_1} \otimes \dots \otimes p_{i_m}, f_{i_{1m}},\ i_1,\dots,i_m \in \overline{1,m}, \quad (5)$$

где $i_1,\dots,i_m$ – любая комбинация индексов.

Формулы (5) позволяют представить любую комбинацию из элементов множества критериев $f_1, f_2, \dots, f_m$ в виде случайных событий из исходных объектов.

Применение приближенно-количественных измерений. Для упорядоченного множества критериев $f_1, f_2, \dots, f_m$ обозначим через x_i оценку критерия f_i. Получим m-мерный вектор $x=(x_1,..,x_m)$ оценок.

Эксперты при сравнении критериев по предпочтительности формулируют неравенства в m-мерном пространстве [5]. Например, предикат «критерий f_1, предпочтительнее критерия f_2» формально определен $f_1 \geq f_2$. Множество предикатов, как результатов сравнения формально определенных системой неравенств, выраженных в матричном виде $B_x \geq 0$, где вектор $x=(x_1,..,x_m)$, B – матрица с m столбцами и числом строк, равным числу предикатов.

Если оценка критерия $x \in X$, то для любого положительного $\lambda \geq 0$ вектор λx также содержится в X:

$$Bx \geq 0 \leftrightarrow \lambda(Bx) \geq 0 \leftrightarrow B(\lambda x) \geq 0. \quad (6)$$

Множество X называется конусом [1]. Конус $X=\{x \mid B_x \geq 0\}$ характеризует совокупность допустимых преобразований шкалы. Вектор измерений x определен однозначно, если зафиксировать значения двух координат.

Если $p(x,y)$ – показатель близости m-мерных векторов, то в качестве показателя разброса множества X выбирают $\sup\limits_{x,y \in X} p(x,y)$, характеризующий «диаметр» X, или $\inf\limits_{x \in X} \sup[p(x,y)]$, характеризующий «радиус» $\tilde{X}$. Если степень разброса множества измеряется показателем $r(\tilde{X})$, то можно говорить, что измерения выполнены в интервальной шкале с точностью $\varepsilon>0$, если $r(\tilde{X}) < \varepsilon$.

Рассмотрим предикат, как отношение D «значение x_1 критерия f_1 более предпочтительно по сравнению со значением x_2 критерия f_2, чем значение x_3 критерия f_3 по сравнению со значением x_4 критерия f_4». Можно сделать вывод, что измерение критерия f очень близко к измерению в интервальной шкале, причем с увеличением числа объектов погрешность ε, как правило, резко уменьшается [16].

Например, для четырех критериев f_1, f_2, f_3 и f_4 изделия получены оценки $f_1=x_1=0$, $f_2=x_2=1$, $f_3=x_3=2{,}1$, $f_4=x_4=3$, и допустимыми являются любые преобразования, сохраняющие четырехместное отношение D. Множество оценок X определяется условиями:

$$x_1=0,\ x_2=1,\ x_4\text{-}x_3\leq x_2\text{-}x_1\leq x_3\text{-}x_2\leq x_4\text{-}x_2\leq x_4. \quad (7)$$

Подставляя $x_1=0$ и $x_2=1$ в систему неравенств (7), описывающую D, получим

$$x_4\text{-}x_3\leq 1\leq x_3\text{-}1\leq x_4\text{-}1\leq x_4. \quad (8)$$

Эти соотношения эквивалентны следующим: $2\leq x_3\leq x_4\leq x_3+1$, так что x_4 отличается от x_3 не больше, чем на 1, а x_3 не меньше двух и может как угодно сильно отличаться от $x_3=1$.

Множество X не ограничено и его «диаметр» равен бесконечности. Измерение, сохраняющее D, не может рассматриваться как метрическое, даже приближенно.

Однако при рассмотрении дополнительного критерия f_5 ситуация изменится. Пусть $f_5=x_5=3{,}8$. В этом случае множество оценок X будет определено условиями:

$$x_1=0,\ x_2=1,\ x_5\text{-}x_3\leq x_4\text{-}x_3\leq 1\leq x_3\text{-}1\leq x_5\text{-}x_3\leq x_4\text{-}1\leq x_3\leq x_5\text{-}1\leq x_5. \quad (9)$$

Выпишем независимые ограничения из данной системы: $x_5+x_3\leq 2x_4$, $x_4\leq x_3+1$, $2\leq x_3$, $2x_3\leq x_5+1$, $x_5\leq x_4+1$. Очевидно, что если $x_5\leq x_4+1\leq x_3+2$, то $2x_3\leq x_5+1\leq x_3+3$. Следовательно, $x_3\leq 3$, $2\leq x_4\leq 4{,}3\leq x_5\leq 5$. Множество $\tilde{X}$ ограничено, причем значения x_3, x_4, x_5 определены с точностью до 2.

Добавление новых критериев с не очень отличающимися оценками еще больше увеличит точность измерения.

Отметим, что точность измерения можно также обеспечить за счет добавления не только критериев, а дополнительных сравнений в предикат отношения D.

Отношение D упорядочивает разности $x_{ij}=x_i\text{-}x_j$ оценок критериев. Если отношение D порождает ранжирование величин x_{ij}, то называют его ранжированием второго порядка (упорядоченная метрика), в отличие от ранжирования оценок $x_i\text{-}x_j$.

Рассмотренное применение приближенно-количественных измерений может быть расширено на выполнение оценок критериев в виде нечетких интервалов. В этом случае отношение рассматривается, как нечеткое отношение.

Методы экспертного оценивания. В многочисленных источниках приведено описание многих методов экспертных оценок, которые применимы для сравнения критериев. Рассмотрим некоторые из них [1, 4, 6 и др.].

При применении метода непосредственной оценки в выбранной балльной шкале эксперт при оценке критериев следит за тем, чтобы равные расстояния между балами соответствовали равным изменениям интенсивности предпочтения данного критерия. Сумма оценок всех критериев эксперта составляет заранее заданное число, например, 1 или 100. Оценки трактуют как относительные интенсивности предпочтения. Нормированная шкала предъявляет больше требований к эксперту, чем обычное присвоение баллов критериям.

Вероятностное оценивание критериев по методу фон Неймана–Моргенштерна состоит в следующем.

Пусть критерий критериев f_i, – наилучший, а критерий f_j – наихудший для из критериев для эксперта. Для каждого критерия эксперт должен указать такое число p_k, что критерий f_k и p_k-комбинация критериев (f_i, f_j) неразличимы.

Пусть для критериев f_i, f_j и f_k существуют оценки x_i, x_j и x_k соответственно. Тогда оценка x_k характеризует расстояние от оценки x_k критерия f_k до оценки x_j: $p_k=(x_k\text{-}x_j)/(x_i\text{-}x_j)$.

Если эксперту сложно определить оценку x_k, то он может указать наименьшее значение $p = p_k^+$ так, что p_k^+ – комбинация критериев (f_i, f_j) лучше критерия f_k, и наибольшее $p = p_k^-$, для которого p_k^- – комбинация критериев (f_i, f_j) хуже критерия f_k. Тогда расстояние между оценками x_k и x_j определено неоднозначно, хотя однозначно, что

$$p_k^- \le \frac{x_k - x_j}{x_i - x_j} \le p_k^+. \tag{10}$$

Для корректировки оценок, данных экспертом, следует указывать вероятности и для комбинаций других критериев, отличных от критериев f_i и f_j.

Можно также заранее задать значения вероятностей $p_1, ..., p_m$ для каждого критерия, а эксперт укажет критерии, неразличимые от 0,5-комбинации критериев (f_i, f_j).

При применении метода упорядочения разностей эксперт ранжирует не только критерии, но и разности между оценками критериев. Однако число разностей оценок критериев быстро увеличивается с ростом m.

Эксперт может использовать только упорядочение разностей соседних оценок критериев, но точность оценивания при этом понижается. Как и при вероятностном оценивании, может быть использован метод равного деления. Вначале указывается критерий, находящийся, по мнению эксперта, ровно посредине между наихудшим и наилучшим критериями, затем полученные отрезки вновь делятся пополам и т.д.

Выше было уделено внимание ранжированию критериев экспертами с применением бинарных (в общем случае нечетких) отношений. После окончания ранжирования появляется задача принятия решений на основе многокритериального выбора. Данные задача представляет собой задачу скаляризации векторного критерия $f_1, f_2, \ldots, f_m$, как преобразование множества $f_1, f_2, \ldots, f_m$ в интегральный критерий. Предлагается несколько вариантов решение данной задачи [5, 6, 7], а именно:

- из области Парето выбор единственного из Парето-оптимальных решений;
- введение для скалярных критериев из множества $f_1, f_2, \ldots, f_m$ приоритетов и выполнение последовательной оптимизации;
- введение для скалярных критериев из множества $f_1, f_2, \ldots, f_m$ рангов (весовых коэффициентов) или предельных значений, и оптимизация на основе анализа отношений между критериями;
- задание идеального значения критерия и выполнение оптимизации, как приближения к этому выбранному значению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Миркин Б.Г.* Проблема группового выбора. – М.: Наука, 1974. – 256 с.
2. *Фон Нейман Дж., Моргенштерн О.* Теория игр и экономическое поведение. – М.: Наука, 1970. – 983 с.
3. *Shepard R.N.,* Metrical structures in ordinal data // J. Mathem. Psych. – 1999. – Vol. 3, № 2. – P. 287-315.
4. *Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я.* Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
5. *Заргарян Ю.А., Айбазова А.А.,* Принятие решений при многих критериях в условиях неполноты данных // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 2 (102). – С. 161-166.
6. *Заргарян Ю.А., Затылкин В.В.* Многокритериальное принятие решений по данным опроса мнений // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 1 (102). – С. 104-110.
7. *Ларичев О.И.* Теория и методы принятия решений: Учебник. – М.: Логос, 2000. – 296 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Я.Е. Ромм.

Финаев Валерий Иванович – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: finaev_val_iv@tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371773; кафедра систем автоматического управления; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Заргарян Юрий Артурович – e-mail: jury.zargaryan@gmail.com; тел.: 88634371689; кафедра систем автоматического управления; ассистент.

Finaev Valery Ivanovich – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: finaev_val_iv@tsure.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371773; the department of automatic control systems; head of the department; dr. of eng. sc.; professor.

Zargaryan Yuri Arturovich – e-mail: jury.zargaryan@gmail.com; phone: +78634371689; the department of automatic control systems; assistant.

УДК 620.9.001.12/.18

Г.А. Саратикян, В.И. Финаев, Ю.И. Иванов, В.А. Черёмушкин

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА: НЕОБХОДИМОСТЬ, КОНЦЕПЦИЯ И ПУТЬ РЕАЛИЗАЦИИ

На основе метода системного анализа в статье исследованы основные положения концепции «Интеллектуальная энергетическая система с активно-адаптивной сетью». Предложен путь реализации концепции с разделением на уровни от городского до высшего и рассмотрены вопросы создания перспективного базового варианта городской интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью. Изложенный в статье путь реализации интеллектуальной энергетической системы является результатом системного анализа постановки задачи по модернизации электроэнергетики Российской Федерации.

Техническая система; электроэнергетическая система; автоматические системы; системы искусственного интеллекта.

G.A. Saratikyan, V.I. Finaev, Yu.I. Ivanov, V.A. Cheremushkin

INTELLECTUAL ELECTRICITY: NEED, CONCEPT AND IMPLEMENTATION OF THE WAY

For base system analize method in this paper was research basic principles of concept «Intellectual energy system with activ and adapting grid». The way of conception realization have distributiv levels on town level to supreme level was suggested and was consider questions create of perspectiv base version town Intellectual energy system with activ and adapting grid. In this paper is Set out the path of intellectual energy system realization is the result of systematic analysis of the problem statement to modernize the power of the Russian Federation.

Technical system; electricpower system; automatic system; artificial intellectual system.

Особенности реформирования электроэнергетики в РФ. Электроэнергетика является энергетической базой функционирования и развития промышленности и других отраслей экономики. В истории развития мировой электроэнергетики было несколько этапов: тепловые электростанции, гидроэлектростанции и атомные электростанции. По организационному признаку в мировой практике существует опыт зарубежных стран с рыночной электроэнергетикой частных компаний и опыт СССР, где в 1956 г. была создана государственная Единая энергетическая система (ЕЭС) СССР, которая объединяла линии электропередачи высокого на-