УДК 519.8

ЭНТРОПИЙНЫЙ КРИТЕРИЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЛНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В. Г. Чернов[a], *доктор экон. наук, профессор*
[a]*Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, РФ*

Постановка проблемы: *выбор наилучшего решения из множества возможных альтернатив всегда происходит в условиях неопределенности. Известные методы решения этой задачи основаны на различных гипотезах о ситуации принятия решений и зачастую дают противоречивые результаты, что не соответствует методологии теории устойчивости, согласно которой только результат обработки данных, инвариантный относительно метода обработки, соответствует реальности. Целью исследования является разработка метода принятия решений в условиях неопределенности, соответствующего методологии теории устойчивости, без использования гипотез о ситуации принятия решений.* ***Результаты:*** *сформулирована многокритериальная задача принятия решений в условиях полной неопределенности, когда структурирование альтернатив выполняется на основе нечеткой энтропии. Сущность предложенного метода состоит в том, что оценки критериального соответствия представляются в виде нечетких чисел либо в форме лингвистических утверждений, формализуемых нечеткими множествами. В отличие от известных, предложенный метод не предполагает формирование гипотез о возможных ситуациях принятия решений и соответствует методологии теории устойчивости, так как вычисление нечеткой энтропии различными методами не приводит к противоречивым результатам. Доказана возможность использования нечеткой энтропии как критерия для структурирования альтернатив в условиях полной неопределенности. Разработан алгоритм вычисления нечеткой энтропии, когда оценки критериального соответствия представлены в лингвистической форме. Приведены примеры, в которых в отличие от известных методов применение нечеткой энтропии дает однозначные рекомендации по выбору наилучшего решения.* ***Практическая значимость:*** *разработанный метод структурирования альтернативных решений в условиях полной неопределенности на основе нечеткой энтропии позволяет повысить степень обоснованности принимаемых решений за счет обеспечения инвариантности результата относительно метода обработки исходных данных.*

Ключевые слова *— нечеткое множество, функция принадлежности, нечеткая энтропия, альтернативные решения, лингвистические значения, мера возможности, структурирование альтернатив, интегральная оценка, координата центра тяжести.*

Введение

В теории и практике принятия решений в отдельную группу выделяются критерии принятия решений в условиях полной неопределенности, при которой лицо, принимающее решение, сталкивается с ситуацией, когда информация о вероятностях состояний среды (природы) либо полностью отсутствует, либо не может рассматриваться как достоверная. Неопределенность такого вида называют «безнадежной», или «дурной» [1]. Известные методы структурирования альтернатив не дают однозначных решений в условиях полной неопределенности.

Для принятия решений в таких условиях обычно рекомендуется использовать критерии Вальда, Лапласа, Сэвиджа, Гурвица [1]. Необходимо отметить, что в ситуации полной неопределенности теория не дает однозначных и математически строгих рекомендаций по выбору критериев решения. В некоторых источниках можно найти только общие, весьма расплывчатые соображения по отдельным критериям. Условия применения критериев принятия решений следующие:

— критерий *Вальда* — риск не допускается, расчеты ведутся, исходя из наихудшего состояния природы;

— критерий *Лапласа* — предполагается равная вероятность состояний природы, так как нет достоверной информации;

— критерий *Гурвица* — о вероятностях состояний природы ничего не известно, реализуется малое число решений, допускается некоторый риск;

— критерий *Ходжа — Лемана* — вероятности состояний природы неизвестны, но возможны некоторые предположения о них, решение теоретически допускает бесконечно много реализаций, допускается риск при малом числе реализаций.

В большинстве источников описания критериев вообще не сопровождаются подобными сведениями. Кроме того, в практике применения указанных критериев нередки случаи, когда они не способны однозначно упорядочить возможные решения, а применение нескольких критериев к анализу одной и той же ситуации нельзя признать корректным, так как условия применения отдельных критериев противоречивы.

Представляется, что основным недостатком указанных выше критериев является противоречие между декларацией о полной неопределенности условий принятия решений и точечными оценками ситуации, над которыми выполняются некоторые формальные операции. Кроме того, вводя ту или иную гипотезу о поведении среды, мы как бы снимаем неопределенность, однако сама гипотеза — это только предположение, а не знание.

Нечеткая энтропия как критерий структурирования альтернатив

Пусть некоторая ситуация принятия решений задана матрицей

$$\mathbf{M} = \left\| m_{i,j} \right\|, \qquad (1)$$

где $i = \overline{i, I}$ — количество возможных альтернативных решений A_i; $j = \overline{j, J}$ — количество состояний среды S_j; m_{ij} — результат применения решения A_i при состоянии среды S_j.

Необходимо отметить, что оценки m_{ij} имеют экспертный характер и поэтому должны рассматриваться как нечеткие.

Выберем в матрице (1) максимальный элемент

$$m_{\max} = \max(m_{ij}) \qquad (2)$$

по всем i и j. Меру возможности достижения максимально возможного результата определим как

$$Pos_{ij} = \min(m_{ij}/m_{\max}, 1) = \mu_{ij} \qquad (3)$$

или

$$Pos_{ij} = \min\{(m_{\max} - m_{ij})/m_{\max}, 1) = \mu_{ij}. \qquad (4)$$

Использование максимального элемента матрицы (1) для вычисления меры возможности по соотношениям (3) или (4), а не максимального значения шкалы, в которой оцениваются элементы матрицы (1), можно объяснить следующим образом.

В общем случае, в зависимости от конкретной задачи, матрица (1) может содержать элементы как с положительными, так и с отрицательными значениями. Для дальнейших процедур удобно привести матрицу (1) к положительному виду, при этом новые значения элементов могут выйти за пределы ранее выбранной шкалы. Например, исходная матрица имеет вид, где оценки принадлежат шкале [–10, 10]:

$$\begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} S_1 & S_2 & S_3 \end{array} \\ \left\| \begin{array}{ccc} -3 & 2 & 4 \\ 5 & 5 & -7 \\ 3 & 8 & -5 \end{array} \right\|. \end{array}$$

После приведения элементов к положительному виду их значения

$$\begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} S_1 & S_2 & S_3 \end{array} \\ \left\| \begin{array}{ccc} 4 & 9 & 11 \\ 12 & 12 & 0 \\ 10 & 15 & 2 \end{array} \right\| \end{array}$$

будут принадлежать к другой шкале, пределы которой придется определять дополнительно. При использовании соотношения (2) независимо от вида исходной матрицы последняя процедура не потребуется.

Значение μ_{ij} можно рассматривать как значение функции принадлежности нечеткого множества, определяющего лингвистическое значение «степень отклонения от наилучшего результата». Поскольку преобразования (2) или (3) выполняются над всеми элементами матрицы (1), это не вносит никаких изменений в анализируемую ситуацию, только вместо матрицы (1) будем анализировать матрицу

$$\mathbf{M}' = \left\| \mu_{i,j} \right\|. \qquad (5)$$

Необходимо отметить, что переход от исходной матрицы (1) к матрице (5) не искажает общую логику задачи, так как вид отношения доминирования оценок альтернатив по критериям сохраняется. Матрица (5) может рассматриваться как матрица нечетких значений, характеризующих неопределенность ситуации, поэтому для оценки альтернативных решений может быть использована нечеткая энтропия [2–4], которая определяется либо по классической формуле Шеннона [2]

$$H_i = -\sum_k \mu_{i,k} \log_2 \mu_{i,k}, \qquad (6)$$

либо по формуле [3]

$$H_i = \left(\sum_j \mu_{i,j} \cap \overline{\mu_{i,j}} \right) \Big/ \left(\sum_j \mu_{i,j} \cup \overline{\mu_{i,j}} \right), \qquad (7)$$

где $\overline{\mu}_{i,j}$ — дополнение μ_{ij}.

Сопоставляя соотношения (3) и (4), нетрудно увидеть, что при $m_{ij} = m_{\max}$ из (3) следует $Pos_{ij} = 1$, а из (4) $Pos_{ij} = 0$. Необходимо отметить, что несмотря на различные значения Pos_{ij}, выбор соотношений (3) или (4) не влияет на конечный результат, поскольку при энтропийном подходе значения $Pos_{ij} = 1$ и $Pos_{ij} = 0$ эквивалентны, так как они характеризуют состояние полной определенности.

Важным обстоятельством для использования соотношений (6) и (7) является то, что они не предполагают выполнение каких-либо особых условий применения, как это имеет место для критериев Вальда и др. Кроме того, они имеют совершенно различные и независимые алгоритмы вычисления, что позволяет использовать их одновременно для получения более обоснованного решения. Известно, что энтропия используется как оценка уровня неопределенности, поэтому наилучшее решение должно иметь минимальное значение энтропии. Проверка предлагаемого подхода к выбору решения в условиях полной неопределенности была проведена для нескольких различных матриц вида (1), выбранных случайным образом из нескольких источников. Для тестирования энтропийного подхода из различных источников было выбрано несколько «неудобных» вариантов принятия решений, на которых ни один из известных критериев не дал убедительного результата:

$$\mathbf{M}=\begin{array}{c}\\ A_1\\ A_2\\ A_3\\ A_4\end{array}\!\!\begin{array}{c}\begin{matrix}S_1 & S_2 & S_3 & S_4\end{matrix}\\ \begin{Vmatrix}7 & 5 & 3 & 10\\ 5 & 3 & 8 & 4\\ 5 & 3 & 4 & 2\\ 8 & 5 & 3 & 10\end{Vmatrix}\end{array}; \quad (8)$$

$$\mathbf{M}=\begin{array}{c}\\ A_1\\ A_2\\ A_3\\ A_4\end{array}\!\!\begin{array}{c}\begin{matrix}S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5\end{matrix}\\ \begin{Vmatrix}5 & 6 & 4 & 6 & 9\\ 6 & 5 & 3 & 4 & 8\\ 7 & 6 & 6 & 7 & 5\\ 6 & 7 & 5 & 4 & 3\end{Vmatrix}\end{array}; \quad (9)$$

$$\mathbf{M}=\begin{array}{c}\\ A_1\\ A_2\\ A_3\\ A_4\end{array}\!\!\begin{array}{c}\begin{matrix}S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5\end{matrix}\\ \begin{Vmatrix}8 & 6 & 5 & 3 & 7\\ 7 & 3 & 6 & 4 & 5\\ 6 & 7 & 6 & 2 & 5\\ 5 & 8 & 3 & 5 & 7\end{Vmatrix}\end{array}. \quad (10)$$

Матрица (4), значения элементов которой рассчитаны по соотношению (3), для примера (8) имеет вид

$$\mathbf{M}'=\begin{array}{c}\\ A_1\\ A_2\\ A_3\\ A_4\end{array}\!\!\begin{array}{c}\begin{matrix}S_1 & S_2 & S_3 & S_4\end{matrix}\\ \begin{Vmatrix}0{,}7 & 0{,}5 & 0{,}3 & 1\\ 0{,}5 & 0{,}3 & 0{,}8 & 0{,}4\\ 0{,}5 & 0{,}3 & 0{,}4 & 0{,}2\\ 0{,}8 & 0{,}5 & 0{,}3 & 1\end{Vmatrix}\end{array}.$$

Расчеты для матрицы (8) по критерию Вальда в качестве лучших указали альтернативы A_1, A_2, A_4, по критерию Лапласа — A_4, Гурвица (при $\alpha = 0{,}4$) — A_1, A_4, Сэвиджа — A_3.

Значения нечеткой энтропии, рассчитанные по формуле (5), равны: для альтернативы A_1 — 1,38, A_2 — 1,81, A_3 — 2,36, A_4 — 1,28; по формуле (6), соответственно, 0,38, 0,54, 0,54, 0,33. Наилучшей однозначно может быть признана альтернатива A_4. Надо, конечно, отметить, что на альтернативу A_4 в качестве наилучшей среди прочих есть указания в критериях Вальда, Лапласа и Гурвица. Однако это решение не является однозначным, в то время как энтропийный критерий определенно выбрал альтернативу A_4.

Для матрицы (9) результаты структурирования по критериям: Вальда — $A_3 > A_1 > A_2 \approx A_4$, Лапласа — $A_3 > A_1 > A_2 > A_4$, Сэвиджа — $A_1 > A_2 > A_3 > A_4$, Гурвица ($\alpha = 0{,}4$) — $A_1 > A_3 > A_2 > A_4$; энтропия Шеннона — $A_3 > A_4 > A_2 > A_1$, энтропия Коско — $A_3 > A_4 > A_2 > A_1$.

Для матрицы (10) структурирование альтернатив по критериям: Вальда — $A_1 \approx A_2 \approx A_4 > A_3$, Лапласа — $A_1 > A_4 > A_3 > A_2$, Сэвиджа — $A_1 > A_3 \approx A_4 > A_2$, Гурвица ($\alpha = 0{,}4$) — $A_1 \approx A_4 > A_2 > A_3$; энтропия Шеннона — $A_1 > A_4 > A_3 > A_2$, энтропия Коско — $A_1 > A_4 > A_3 > A$. Эти примеры также указывают на то, что энтропийные критерии, в отличие от известных, дают однозначные и устойчивые решения.

Следует указать на еще одну возможность структурирования альтернатив на основе энтропийного подхода. Известно, что для нечетких множеств не выполняется принцип исключения третьего, т. е. $\mu_{ij} \cap \bar{\mu}_{ij} \neq \varnothing$. Ненулевое значение этого пересечения можно рассматривать как оценку неустраненной неопределенности, тогда альтернатива с наименьшим значением этой неопределенности может рассматриваться как лучшая. Очевидно, что и в этой ситуации интегральный уровень неопределенности может быть определен через энтропию, рассчитанную по соотношению (6). Результаты расчетов подтвердили полученную ранжировку альтернатив. Необходимо также отметить, что при расчетах по соотношению (7) можно использовать операции min-пересечения и max-объединения, а также алгебраические пересечение и объединение. При этом характер ранжировки альтернатив не изменяется. Предложенный подход соответствует методологии теории устойчивости, согласно которой результат обработки данных должен быть инвариантным относительно метода обработки.

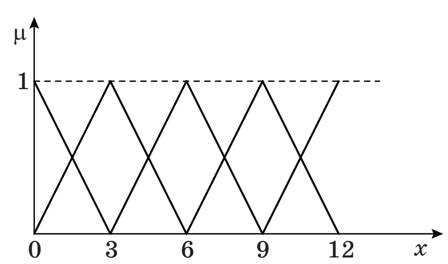
Принятие решения на основе оценок неопределенности элементов платежной матрицы

Перейти от операций над элементами платежной матрицы (1) к преобразованиям над оценками их неопределенности можно, используя следующий подход.

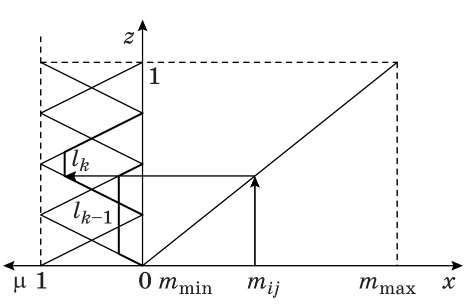
На области определения значений платежной матрицы можно построить терм-множество лингвистических значений $L = \{l_k\colon k = 1, \ldots, K\}$ и соответствующие нечеткие множества $\mu_{lk}(z)$, $z \in [m_{\min}, m_{\max}]$, где $m_{\min}$ и $m_{\max}$ — предполагаемые минимальное и максимальное значения платежной матрицы (1) (рис. 1). Количество лингвистических значений и вид функций принадлежности, так же как и оценки альтернатив, будут определяться характером задачи и представлениями экспертов, привлекаемых к ее решению. При построении функций принадлежности может использоваться прямой способ [5] с соблюдением условий, сформулированных в работе [6], либо косвенный, например метод парных сравнений [5]. На рис. 1 представлен возможный вариант набора лингвистических значений и соответствующие функции принадлежности. Треугольный вид функций принадлежности выбран только из соображений простоты графического представления. Набор лингвистических значений, очевидно, может быть и другим. В данном случае он имеет только иллюстративный характер. Необходимо отметить, что вид функций принадлежности повлияет только на числовые значения получаемых оценок, не влияя в то же время на порядок ранжирования альтернатив. Процедура перехода от числовых значений элементов матрицы (1) к лингвистическим представлена на рис. 2. Каждому из элементов матрицы (1) будут поставлены в соответствие два лингвистических значения, которые для общности обозначим l_{k-1}, l_k с функциями принадлежности $\mu_{l_k}(m_{ij})$, $\mu_{l_{k-1}}(m_{ij})$. Для конкретного значения m_{ij} имеет место неравенство $\mu_{l_k}(m_{ij}) > \mu_{l_{r-1}}(m_{ij})$.

Если интерпретировать значения функций принадлежности как оценку истинности соответствующего лингвистического значения, $\mu_{l_k}(m_{ij})$ — это оптимистическая оценка истинности, $\mu_{l_{k-1}}(m_{ij})$ — пессимистическая, кроме того, может быть построена и комбинированная оценка $l_k \cup l_{k-1}$ с функцией принадлежности

$$\mu_{l_k \cup l_{k-1}}(m_{ij}) = \mu_{l_k}(m_{ij}) \cup \mu_{l_{k-1}}(m_{ij}) = = \max\left(\mu_{l_k}(m_{ij}), \mu_{l_{k-1}}(m_{ij})\right). \quad (11)$$



■ *Рис. 1.* Функции принадлежности



■ *Рис. 2.* Переход от числовых оценок к лингвистическим

Любое из указанных значений может быть использовано в качестве элементов матрицы (5). Однако при переходе к лингвистическим значениям в соответствии с рис. 1, 2 возможна ситуация, когда нескольким совершенно различным значениям m_{ij} будут соответствовать различные лингвистические значения, но с одинаковыми значениями соответствующих функций принадлежности

$$\begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \end{array} \\ \begin{Vmatrix} 0{,}66 & 0{,}66 & 1 & 0{,}66 \\ 0{,}66 & 1 & 0{,}66 & 0{,}66 \\ 0{,}66 & 1 & 0{,}66 & 0{,}66 \\ 0{,}66 & 0{,}66 & 1 & 0{,}66 \end{Vmatrix} \end{array}, \quad (12)$$

что может сделать невозможным принятие решения.

Если используются оптимистические или пессимистические оценки, то для ситуаций, аналогичных представленной матрицей (12), можно поступить следующим образом. Вычислив интегральные оценки

$$r_{l_k}(i,j) = \mu_{l_k}(m_{ij}) \times m_{ij}$$

или

$$r_{l_{k-1}}(i,j) = \mu_{l_{k-1}}(m_{ij}) \times m_{ij} \quad (13)$$

для всех m_{ij} и их нормированные значения

$$r^{\text{н}}_{l_k}(i) = r_{l_k}(i,j) / \max_{i,j} r_{l_k}(i,j)$$

или

$$r^{\text{н}}_{l_{k-1}}(i) = r_{l_{k-1}}(i,j) / \max_{i,j} r_{l_{k-1}}(i,j) \quad (14)$$

для всех i и j, построим матрицы

$$\mathbf{R}^{\text{н}}_{l_k} = \left\| r^{\text{н}}_{l_k}(i,j) \right\| \text{ или } \mathbf{R}^{\text{н}}_{l_{k-1}} = \left\| r^{\text{н}}_{l_{k-1}}(i,j) \right\|, \quad (15)$$

которые для матрицы (12) будут соответственно равны

$$\begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \end{array} \\ \begin{Vmatrix} 0{,}7 & 0{,}62 & 0{,}45 & 1 \\ 0{,}62 & 0{,}45 & 0{,}8 & 0{,}4 \\ 0{,}69 & 0{,}45 & 0{,}4 & 0{,}2 \\ 0{,}8 & 0{,}25 & 0{,}45 & 1 \end{Vmatrix} \end{array};$$

$$\begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \end{array} \\ \begin{Vmatrix} 0{,}7 & 0{,}5 & 0{,}45 & 1 \\ 0{,}5 & 0{,}45 & 0{,}8 & 0{,}4 \\ 0{,}5 & 0{,}45 & 0{,}4 & 0{,}2 \\ 0{,}8 & 0{,}5 & 0{,}45 & 1 \end{Vmatrix} \end{array}.$$

В рассматриваемом случае при переходе к лингвистическим оценкам они получаются в виде нечетких множеств с трапецеидальными функциями принадлежности. Тогда при вычислениях по соотношению (11) оценок $r_k(i, j)$ $r_{k-1}(i, j)$ вместо значений m_{ij} можно использовать оценку Чью — Парка [7]

$$C_p(i, j) = (a_1(i, j) + a_2(i, j) + a_3(i, j) +$$

$$+ a_4(i, j))/4 + w(a_2(i, j) + a_3(i, j))/2,$$

где $a_1(i, j)$, $a_4(i, j)$, $a_2(i, j)$, $a_3(i, j)$ — координаты нижнего и верхнего оснований трапецеидальной функции принадлежности; при симметричной трапецеидальной функции принадлежности, что имеет место в нашем случае, параметр w можно принять равным единице [6].

Если используется комбинация лингвистических значений, то для интегральной оценки необходимо найти обобщенную характеристику комбинации лингвистических оценок, представленной соответствующим нечетким множеством (11). Известно, что обобщенной характеристикой системы материальных точек является координата центра тяжести [8]. Функцию принадлежности нечеткого множества (11) можно рассматривать как систему материальных точек, массы которых равны значениям функции принадлежности. Тогда интегральная оценка вида (13) при использовании комбинации лингвистических значений (11) может быть вычислена как

$$r_{l_k \cup l_{k-1}}(i,j) = \mu_{l_k \cup l_{k-1}}(CG_{l_k \cup l_{k-1}})CG_{l_k \cup l_{k-1}},$$

где

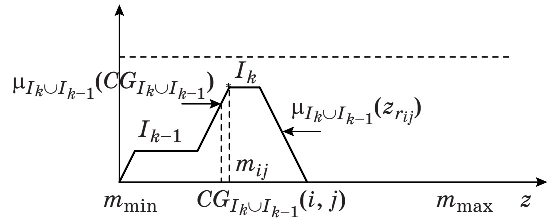
$$CG_{l_k \cup l_{k-1}}(i,j) = \left(\sum_{n_{ij}} \mu_{l_k \cup l_{k-1}}(z_{n_{ij}}) z_{n_{ij}}\right) \Bigg/ \left(\sum_{n_{ij}} \mu_{l_k \cup l_{k-1}}(z_{n_{ij}})\right)$$

— координата центра тяжести комбинации лингвистических оценок; $z_{n_{ij}} \in [m_{\min}, m_{\max}]$; индексы i и j указывают, что вычисления выполняются для значения m_{ij} (рис. 3).

Нормируя значения $r_{l_k \cup l_{k-1}}(i, j)$, формируем матрицу

$$\mathbf{R}^{\text{н}}_{l_k \cup l_{k-1}} = \left\| r^{\text{н}}_{l_k \cup l_{k-1}}(i,j) \right\|,$$

где $r^{\text{н}}_{l_k \cup l_{k-1}}(i, j) = r_{l_k \cup l_{k-1}}(i, j) / \max\limits_{i,j} r_{l_k \cup l_{k-1}}$, которая



■ *Рис. 3.* Расчет интегральной оценки при комбинировании лингвистических значений

для примера, представленного матрицей (8), будет иметь вид

$$\begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{array} \begin{array}{cccc} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ \left\| \begin{array}{cccc} 0{,}73 & 0{,}5 & 0{,}49 & 1 \\ 0{,}5 & 0{,}49 & 0{,}82 & 0{,}45 \\ 0{,}5 & 0{,}49 & 0{,}45 & 0{,}31 \\ 0{,}82 & 0{,}5 & 0{,}49 & 1 \end{array} \right\| \end{array}.$$

Значения $r^{\text{н}}_{l_k \cup l_{k-1}}(i, j)$ можно рассматривать как интегральную оценку неопределенности достижения оценками альтернатив при различных состояниях природы максимального предполагаемого значения. Для выбора наилучшей альтернативы, которой должен соответствовать минимальный уровень интегральной неопределенности, можно воспользоваться любым из соотношений (6) или (7) либо обоими одновременно.

В столбцах 2, 4 таблицы приведены результаты расчетов, соответствующие пессимистической оценке ситуации, в 3, 5 — оптимистической, в столбцах 6, 7 результаты соответствуют комбинации лингвистических оценок. Следует отметить важное обстоятельство: в таблице сведены результаты тестирования энтропийных критериев при переходе от числовых оценок, представленных в матрице (8), к лингвистическим. При этом структурирование альтернатив $A_4 > A_1 > A_2 > A_3$ полностью совпадает с тем, которое было получено при использовании только числовых оценок из матрицы (8).

Еще одно обстоятельство заключается в следующем. Матрица (1) может содержать оценки как положительных результатов от выбора решения, так и негативных, что надо учитывать при записи окончательной ранжировки. Так, для положи-

■ Результаты тестирования энтропийного критерия

Альтернатива	$H(l_{k-1})$ (6)	$H(l_k)$ (6)	$H(l_{k-1})$ (7)	$H(l_k)$ (7)	$H(l_k \cup l_{k-1})$ (6)	$H(l_k \cup l_{k-1})$ (7)
1	2	3	4	5	6	7
A_1	1,378603	1,302398	0,454545	0,391304	1,326616	1,326616
A_2	1,804715	1,72851	0,632653	0,553398	1,950958	1,950958
A_3	2,011558	1,883199	0,632653	0,558974	2,043265	2,043265
A_4	1,275944	1,275944	0,315789	0,290323	1,237417	1,237417

тельных результатов будет получена ранжировка $A_4 > A_1 > A_2 > A_3$, для негативных — $A_3 > A_2 > A_1 > A_4$.

Заключение

Предложенный энтропийный подход к выбору решения в условиях полной неопределенности не требует выполнения дополнительных условий, характерных для известных критериев. Применение энтропийного подхода обеспечивает полное соответствие методологии теории устойчивости, согласно которой результат обработки данных, инвариантный относительно метода обработки, соответствует реальности, в то время как при использовании известных критериев результат обработки зависит от метода обработки и отражает субъективизм исследователя, а не объективные соотношения.

Литература

1. **Дубров А. М., Лагоша Б. А., Хрусталев Е. Ю., Барановская Т. П.** Моделирование рисковых ситуаций в экономике и бизнесе. — М.: Финансы и статистика, 2001. — 224 с.
2. **Deshmukh K. C., Khot P. G.** Generalized Measures of Fuzzy Entropy and their Properties // World Academy of Science, Engineering & Technology. 2011. Iss. 56. P. 93–106.
3. **Kosko B.** Neural Networks and Fuzzy Systems. — Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1992. — 449 p.
4. **Манасян Н. С., Чернов В. Г.** Нечеткая энтропия как критерий отбора инновационных проектов // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2013. № 1(33). С. 49–53.
5. **Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П.** Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. — Рига: Зинатне, 1990. — 184 с.
6. **Малышев Н. Г., Берштейн Л. С., Боженюк А. В.** Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 136 с.
7. **Chui Y. C., Chan S. P.** Fuzzy Cash Flow Analysis Using Present Worth Criterion // Engineering Economist. 1994. N 39. P. 113–138.
8. **Diday E., Lemaire L., Pouget J., Testu F.** Analyse Discriminante sur Variables Qualitatives. — Paris: Politechnica, 1994. — 270 p.

UDC 519.8

Entropic Criterion for Decision Making under Total Uncertainty

Chernov V. G.[a], Dr. Sc., Econ., Professor,Vladimir.chernov44@mail.ru
[a]Vladimir State University named after Alexander and Nicholay Stoletovs, 87, Gorky St., 600000, Vladimir, Russian Federation

Purpose: Choosing the best solution from many possible alternatives always occurs under uncertainty. The available methods of solving this problem are based on various hypotheses about decision-making, often giving contradictory results. This does not conform with the methodology of stability theory according to which only a methodically invariant result of data processing agrees with the reality. The aim of this work is developing a decision-making method which would work under uncertainty, without using hypotheses about the decision-making situation and in accordance with the stability theory methodology. **Results:** A multi-criterial decision-making problem has been formulated for the case of total uncertainty, when the alternatives are structured on the base of fuzzy entropy. The essence of the method is that the criteria compliance evaluations are represented as fuzzy numbers or as linguistic statements formalized by fuzzy sets. This method, unlilke others, does not need hypotheses about possible decision-making situations and fits the stability theory methodology, as fuzzy entropy calculation by different methods does not lead to contradictory results. The use of fuzzy entropy as a criterion for structuring alternatives under total uncertainty has been demonstrated. A fuzzy entropy calculation algorithm has been developed, with the criteria compliance evaluations presented in linguistic form. Examples are given in which, unlike the other available methods, the use of fuzzy entropy gives unambiguous guidelines for the best decision-making. **Practical relevance:** The proposed method of structuring alternative solutions under total uncertainty on the base of fuzzy entropy can increase the validity of the decisions you make by providing the result invariance in regard to the original data processing method.

Keywords — Fuzzy Set, Membership Function, Fuzzy Entropy, Alternative Solutions, Linguistic Meaning, Measure Opportunities Alternatives, Structuring, Integrated Value, Coordinate of the Center of Gravity.

References

1. Dubrov A. M., Lagosha B. A., Khrustalev E. Iu., Baranovskaia T. P. *Modelirovanie riskovykh situatsii v ekonomike i biznese* [Modeling Risk Situations in Economics and Business]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2001. 224 p. (In Russian).
2. Deshmukh K. C., Khot P. G. Generalized Measures of Fuzzy Entropy and their Properties. *World Academy of Science, Engineering & Technology*, 2011, iss. 56, pp. 93–106.
3. Kosko B. *Neural Networks and Fuzzy Systems*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1992. 449 p.
4. Manasyan N. S., Chernov V. G. Fuzzy Entropy as Innovation Projects' Selection Criterion. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*, 2013, no. 1(33), pp. 49–53 (In Russian).
5. Borisov A. N., Krumberg O. A., Fedorov I. P. *Priniatie reshenii na osnove nechetkikh modelei: Primery ispol'zovaniia* [Decision Making Based on Fuzzy Models: Examples]. Riga, Zinatne Publ., 1990. 184 p. (In Russian).
6. Malyshev N. G., Bershtein L. S., Bozheniuk A. V. *Nechetkie modeli dlia ekspertnykh sistem v SAPR* [Fuzzy Models for Expert Systems in CAD]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991. 136 p. (In Russian).
7. Chui Y. C., Chan S. P. Fuzzy Cash Flow Analysis Using Present Worth Criterion. *Engineering Economist*, 1994, no. 39, pp. 113–138.
8. Diday E., Lemaire L., Pouget J., Testu F. *Analyse Discriminante sur Variables Qualitatives.* Paris, Politechnica, 1994. 270 p. (In French).