

© Бухарин С.Н., Марышев Е.А., Дивуева Н.А.  
Buharin S., Maryshev E., Divueva N.

## ВЫБОР РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕГО РАНЖИРОВАНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОЛЯ

### THE CHOICE OF THE RESULTING RANKING FROM THE PERSPECTIVE OF INFORMATION FIELD THEORY

**Аннотация.** В статье рассматриваются два подхода к выбору результирующего ранжирования на основании ранжирований, указанных экспертами. Выбор результирующего ранжирования, основанный на отыскании матрицы Кемени, может быть положен в основу методологии оценки компетентности экспертов.

**Annotation.** This article describes two approaches to the selection of the resulting ranking based on the rankings, which have been specified by experts. Select the result ranking based on finding the Kemeny median, can be the basis for the methodology for assessing the competence of experts.

**Ключевые слова.** Результирующее ранжирование, медиана Кемени, матрица отношений, матрица разногласий, метод Дельфи.

**Key words.** The resulting ranking, Kemeny median, matrix relation, matrix differences, Delpbi method.

Одним из решений задачи выбора результирующего ранжирования является использование методов группового выбора, позволяющих структурировать множество альтернатив при разных мнениях экспертов. В методах поддержки принятия решений по возможности обрабатывают все экспертные суждения без исключения. К исключению прибегают в редких случаях, например, для борьбы с манипулированием, т.е. сознательным искажением экспертами своих оценок с целью лоббирования тех или иных альтернатив. В качестве примера метода группового выбора без исключения можно привести метод Дельфи [1].

Метод представляет собой многоэтапную процедуру оценки альтернатив экспертами, работающим изолированно друг от друга. В результате последовательных итераций позиции экспертов сближаются, формируются обобщенные оценки, что позволяет получить наиболее объективное представление об объекте экспертизы (см. табл.). С точки зрения теории информационного поля данную процедуру можно проиллюстрировать, как «перемещение» экспертов в информационном пространстве под воздействием информационных воздействий.

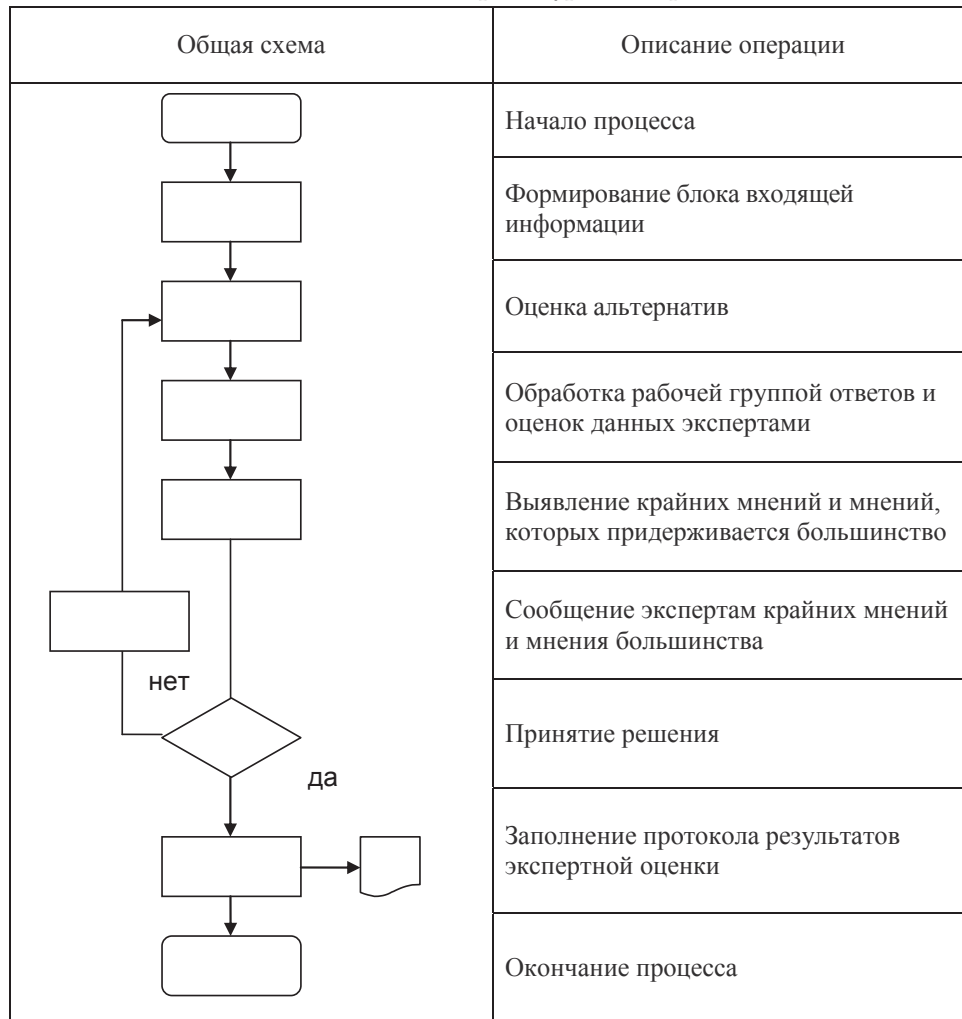
#### Алгоритм процедуры

1. Начало процедуры.
2. Формирование блока входящей информации.
  - 2.1. Каждому изолированному друг от друга эксперту выдается исходная информация для оценивания альтернатив.
  - 2.2. Каждому эксперту отдельно ставится задача экспертной оценки.
3. Оценка альтернатив.
  - 3.1. Эксперты производят оценку альтернатив.
  - 3.2. Результаты передаются рабочей группе.
4. Обработка рабочей группой ответов и оценок, данных экспертами.
5. Выявление крайних мнений и мнения, которого придерживается большинство.
  - 5.1. Выявляются крайние мнения, высказанные экспертами –  $M_k$ .
  - 5.2. Выявляется мнение, которого придерживается большинство экспертов –  $M_0$ .
  - 5.3. Оценивается «разброс мнений»  $\Delta = |M_k - M_0|$ .
6. Сообщение экспертам крайних мнений и мнения большинства.

Бухарин Сергей Николаевич – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «НИИ РИНКЦЭ»;  
Марышев Евгений Александрович – кандидат технических наук, заместитель директора, ФГБНУ «НИИ РИНКЦЭ»;  
Дивуева Наталья Александровна – начальник отдела, ФГБНУ «НИИ РИНКЦЭ», тел. 8(495)543-36-76.

Bukharin Sergey – candidate of physical and mathematical sciences, senior research fellow, FGBNU «Research institute RINKCE»;  
Maryshev Evgeny – Ph.D., Deputy Director, FGBNU «Research institute RINKCE»;  
Divueva Natalia – head of department, FGBNU «Research institute RINKCE», tel. 8 (495) 543-36-76.

## Общая схема процедуры Дельфи



6.1. Эксперты рассматривают предоставленную рабочей группой информацию.

6.2. Эксперты принимают решения на основе полученной информации.

6.3. Эксперты письменно обосновывают, почему изменили ранее принятое решение или остались с прежним мнением.

6.4. Мнения экспертов передаются в рабочую группу.

7. Принятие решения.

7.1. Если «разброс мнений» равен нулю ( $\Delta = 0$ ), то процедура экспертных оценок Дельфи заканчивается.

7.2. Если «разброс мнений» имеет место ( $\Delta \neq 0$ ), то организуются последующие итерации.

8. Заполнение протокола результатов экспертной оценки. В протокол заносятся результаты обоснованного и согласованного решения экспертов.

9. Окончание процедуры.

Вся процедура может быть проведена в виртуальном пространстве с помощью Интернета. Для участия в методе Дельфи привлекаются специалисты, информация

о которых занесена в базу данных Реестра экспертов, заполняемую и поддерживаемую с помощью процедуры формирования группы экспертов.

Метод Дельфи является одним из наиболее распространенных методов эвристического анализа, обеспечивая согласованность мнений экспертной группы и выработку конечных рекомендаций. Тем не менее, следует учитывать, что применение данного метода предъявляет высокие требования к компетенции, квалификации и объективности модератора рабочей группы; кроме того, следует учитывать значительное время, затрачиваемое на реализацию итерационного процесса экспертизы.

Для построения обобщенной ранжировки альтернатив часто рекомендуется использовать метод «медианы Кемени». Эксперты ранжируют альтернативы по принятым критериям. Затем задается способ определения расстояния между полученными оценками (ранжированиями). После этого определяют ранжирование, сумма расстояний от которого до всех полученных ранжирований минимальна. Эта ранжирование выражает итоговое мнение экспертов.

Пусть задано конечное множество  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ , состоящее из  $n$  вариантов, представленных для оценивания комиссии, состоящей из  $m$  экспертов. Задача состоит в построении итогового варианта из множества  $X$ .

Расчет медианы Кемени является одним из способов выбора результирующего ранжирования, который сводится к решению задачи отыскания такого упорядочения альтернатив, то есть строк и столбцов матрицы потерь, чтобы сумма их элементов, расположенная над диагональю, была минимальна. То есть путем поиска такого упорядочения альтернатив, при котором сумма расстояний от ответов экспертов до текущей переменной достигает минимума.

Известно, что информацию о ранжированиях  $P_1, \dots, P_m$  можно представить в виде матрицы отношений  $\|p_{ij}^1\|, \dots, \|p_{ij}^m\|$  [2,4] или матриц парных сравнений, элементы которых характеризуют число экспертов, считающих альтернативу  $a_i$  более предпочтительной, чем альтернативу  $a_j$ . При введении мер близости, как правило, рассматривают матрицы потерь  $\|r_{ij}\|$  [3].

Введем определение матрицы потерь. Расстояния от произвольного ранжирования  $P$ , которому соответствует матрица  $\|p_{ij}\|$  до всех ранжирований  $P_1, \dots, P_m$  указанных экспертами, которым соответствуют матрицы отношений  $\|p_{ij}^1\|, \dots, \|p_{ij}^m\|$ , определяется по формуле

$$\sum_{v=1}^m d(P, P_v) = \sum_{i < j} \sum_{v=1}^m d_{ij}(P, P_v),$$

где  $d_{ij}(P, P_v) = |p_{ij}^{(v)} - p_{ij}|$ .

Следует отметить, что при  $p_{ij} = 1$

$$d_{ij}(P, P_v) = \begin{cases} 0, & \text{если } p_{ij}^{(v)} = 1; \\ 1, & \text{если } p_{ij}^{(v)} = 0; \\ 2, & \text{если } p_{ij}^{(v)} = -1. \end{cases}$$

Элемент матрицы потерь  $r_{ij}$  определяется как

$$r_{ij} = \sum_{v=1}^m d_{ij}(P, P_v), \text{ при } p_{ij}=1.$$

Таким образом, матрицы  $r_{ij}$  потерь определяются ранжированиями  $P_1, \dots, P_m$  и не зависят от ранжирования  $P$ .

В настоящее время медиана Кемени<sup>1</sup> считается одним из наиболее обоснованных способов выбора результирующего ранжирования на основании ранжирований, указанных экспертами. Определение медианы Кемени в формальном виде можно представить следующим образом:

$$M^*(P_1, \dots, P_m) = \text{Arg min} \sum_{v=1}^m d_{ij}(P, P_v).$$

То есть результирующие ранжирования – это те значения  $x$ , при которых достигается минимума указанная сумма расстояний от ответов экспертов до текущей переменной, по которой и проводится минимизация.

Задача отыскания медианы Кемени для ранжирования, таким образом, сводится к задаче отыскания такого упорядочения альтернатив, то есть строк и столбцов матрицы потерь, чтобы сумма их элементов, расположенная над диагональю, была минимальна. То есть задача отыскания медианы Кемени является следующей задачей оптимизации [3]:

1 Чтобы охарактеризовать свойства коллективных предпочтений, вводятся три определения. Нейтральность – симметричность относительно перестановки альтернатив. Согласованность – мнение комиссии совпадает с общим мнением любых двух её подкомиссий. Кондорсетовость – из того, что  $S_j > S_p$ , где  $S_j$  число экспертов, считающих  $x_j$  более предпочтительной, чем  $x_p$ , следует, что  $(\dots, x_p, x_j, \dots) \notin F(V)$ , где  $V$  – ранжирование подгруппы экспертов, а  $F(V)$  – общее мнение подгруппы.

Выбор медианы основан на том, что медиана Кемени – единственное результирующее строгое ранжирование, являющееся нейтральным, согласованным и кондорсетовым. Таким образом, медиана удовлетворяет принципу выбора Кондорсе, не приводя к парадоксу Кондорсе. Парадокс Кондорсе – парадокс теории общественного выбора, впервые описан маркизом Кондорсе в 1785 г. Он заключается в том, что при наличии более двух альтернатив и более двух избирателей коллективная ранжировка альтернатив может быть циклической (не транзитивна), даже если ранжировки всех избирателей не являются циклическими (транзитивны). Таким образом, волеизъявления разных групп избирателей, каждая из которых представляет большинство, могут вступать в парадоксальное противоречие друг с другом. Обобщен теоремой «о невозможности Эрроу».

Известны пять принципов, которым должно удовлетворять результирующее решение. Они были проанализированы Эрроу:

- 1) независимость – расширение или сужение множества альтернатив при сохранении отношений на общем подмножестве альтернатив не меняет на нём результирующего отношения;
- 2) универсальность множества допустимых отношений – для любой тройки альтернатив должны найтись отношения такие, что первое связывает все три альтернативы попарно, второе и третье только первые две альтернативы и требование транзитивности результирующего отношения;
- 3) условие монотонности – если какой-то эксперт изменил своё мнение в пользу результирующего отношения, то оно от этого не изменится;
- 4) ненавязанность – для любой пары альтернатив существуют множества отношений, такие, что для первого множества пара альтернатив принадлежит оптимальному решению, а для второго нет;
- 5) отсутствие диктатора – нет эксперта, мнение которого определяет решение независимо от остальных экспертов.

Медиана Кемени удовлетворяет 2–5 условиям Эрроу, не удовлетворяя лишь условию 1.

Из всего сказанного можно заключить, что медиану Кемени можно считать одним из наиболее корректных результирующих отношений.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{ij} x_{ij} \rightarrow \min$$

при следующих ограничениях:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i \in \{1, \dots, n\};$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j \in \{1, \dots, n\};$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1; & \\ i, j \in \{1, \dots, n\}; & \\ 0. & \end{cases}$$

В настоящее время известно несколько алгоритмов поиска медианы Кемени [3].

Приведем пример выбора результирующего ранжирования. Три эксперта оценивают пять альтернатив:

1. Теоретическое исследование и численное моделирование процессов теплопереноса и процесса диссипации электромагнитного излучения металлическими и магнитными фрактальными антеннами.

2. Изучение изобарных конфигураций в основном состоянии легких ядер.

3. Развитие квантовой теории поля и проверка фундаментальных свойств стандартной модели на ускорителях частиц и ядер.

4. Фундаментальные закономерности влияния атомной и электронной структуры новых наноструктурированных материалов для хранения водорода на их функциональные свойства.

5. Исследование процессов получения и дообогащения стабильных изотопов, а также изучение их свойств.

Задача заключается в ранжировании перечисленных направлений исследований по приоритетам. В результате экспертной оценки были получены следующие ранжирования:

$$P_1 = \begin{pmatrix} a_3 \\ a_5 \\ a_2 \\ a_4 \\ a_1 \end{pmatrix}; \quad P_2 = \begin{pmatrix} a_3 \\ a_5 \\ a_4 \\ a_2 \\ a_1 \end{pmatrix}; \quad P_3 = \begin{pmatrix} a_5 \\ a_3 \\ a_2 \approx a_4 \\ a_1 \end{pmatrix}.$$

Соответствующие данным ранжированиям матрицы отношений

$$M(P_1) = \begin{pmatrix} 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$M(P_2) = \begin{pmatrix} 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix};$$

$$M(P_3) = \begin{pmatrix} 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Вычисление матрицы разногласий дало следующий результат:

$$\|r_{ij}\| = \begin{pmatrix} 0 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 0 & 0 & 6 & 3 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 3 & 6 & 0 & 6 \\ 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Применение эвристического и комбинированного алгоритмов вычисления медианы Кемени привели к одинаковому результату

$$P_r = \begin{pmatrix} a_3 \\ a_5 \\ a_2 \approx a_4 \\ a_1 \end{pmatrix}.$$

Матрица отношений имеет вид

$$M(P_r) = \begin{pmatrix} 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Расстояния ранжирований, проведенных экспертами, до результирующего ранжирования, соответственно  $d(P_1, P_r)=2$ ;  $d(P_2, P_r)=2$ ;  $d(P_3, P_r)=1$ .

Таким образом, наиболее близким к результирующему оказалось ранжирование, полученное в результате оценивания третьим экспертом.

Наличие явного фаворита среди представленных альтернатив, малое количество оцениваемых альтернатив и экспертов делает представленный пример тривиальным, однако он демонстрирует возможности описанного метода выбора результирующего ранжирования. Данный метод приобретает актуальность в отсутствии фаворита, разброса мнений экспертов и наличия значительного числа альтернатив. Кроме того, медиана Кемени может быть использована при решении задачи оцен-

ки компетентности экспертов по величине разброса расстояний их оценок от результирующего ранжирования (медианы Кемени).

С точки зрения теории информационного поля медиана Кемени – это точка в информационном пространстве сумма расстояний, от которой до положений экспертов в данном пространстве достигает минимума.

### **Выводы**

1. В работе представлены два подхода в решении задачи выбора результирующего ранжирования. В результате определения медианы Кемени определяется та-

кое ранжирование, при котором оно достигает минимума суммы расстояний от ответов экспертов до текущей переменной, по которой и проводится минимизация. При этом оценки экспертов остаются неизменными. В случае использования метода Дельфи оценки экспертов могут изменяться в сторону их сближения. Данные результаты проиллюстрированы в терминах теории информационного поля.

2. Метод выбора результирующего ранжирования может быть использован для решения задачи оценки компетентности экспертов.

### *Литература*

1. Цыганов В.В., Бухарин С.Н. Информационные войны в бизнесе и политике. Теория и методология. М.: Академический проект. 2007.
2. Кемени Дж., Снелл Дж., Томпсон Дж. Введение в конечную математику. – М., 1963. – С. 486.
3. Литвак Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа. М., 2009.
4. Бухарин С.Н., Дивуева Н.А. Меры близости на информационном пространстве // Информационные войны. 2013. № 4.

Материал поступил в редакцию 07.09. 2014 г.