УДК 004.33(035)

Куваева В.И.
Одесский национальный политехнический университет

Болтенков В.А.
Одесский национальный политехнический университет

Позняк А.В.
Одесский национальный политехнический университет

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ АГРЕГИРОВАННОЙ КОНСЕНСУСНОЙ РАНГОВОЙ ОЦЕНКИ

Исследованы методы предварительной обработки экспертной информации в задачах построения агрегированных консенсусных ранжирований. Показана некорректность применяемых процедур редукции исходного множества альтернатив, снижающая согласованность экспертизы. Предложен метод отсева незначимых альтернатив, основанный на коэффициенте конкордации.

Ключевые слова: *экспертное оценивание, консенсусное агрегирование, ранговые предпочтения, коэффициент конкордации.*

Постановка проблемы. Задача построения коллективной оценки или агрегирования ранговых предпочтений берет свое начало в теории социального выбора, первые формулировки которой относятся к концу XVIII в. и связаны с именами Ж.-Ш. де Борда и Н. де Кондорсе, предложившими первые теории голосования [1]. В последнее десятилетие эта задача привлекает внимание исследователей как полезный инструмент для коллективного экспертного оценивания, выбора подобных объектов и других прикладных информационных технологий. Успешное решение задачи агрегирования рангов зависит от предварительной обработки сформулированных участниками коллективного оценивания индивидуальных предпочтений. Однако в литературе отсутствует систематическое, формализованное и корректное изложение методов предварительной обработки экспертной ранговой информации.

Анализ последних исследований и публикаций. Процессы построения консенсусных агрегированных ранжирований рассматриваются достаточно давно [2; 3]. В последние годы они получили дальнейшее развитие [1; 4]. Но вопросы предварительной обработки ранговой экспертной информации рассмотрены достаточно фрагментарно [5], а в работах [6; 7] изложены методы, приводящие к некорректным результатам.

Постановка задания. Целями статьи являются анализ состоятельности применяемых методов предварительной обработки ранговых предпочтений, формулировка методов, не снижающих согласованности коллективного ранжирования, и практическое подтверждение их корректности.

Изложение основного материала исследования. Формализация задачи. Пусть задано множество альтернатив $\mathbf{A} = \{A_1, A_2, \ldots, A_n\}$, подлежащих упорядочению коллективом из K экспертов по какому-либо критерию (или набору критериев). Каждый из экспертов $k\,(k = 1, \ldots, K)$ упорядочивает альтернативы и представляет индивидуальное предпочтение в виде ранжирования

$$\mathbf{P}^k = \{A_{k_1}, A_{k_2}, \ldots, A_{k_n}\}. \quad (1)$$

При этом образуется множество из K индивидуальных ранжирований

$$\mathbf{P} = \{\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \ldots, \mathbf{P}_k\}. \quad (2)$$

Предполагается, что каждый из экспертов может установить в индивидуальном предпочтении как строгий порядок на множестве альтернатив, так и слабый порядок, т. е. ввести одинаковые ранги для «неразличимых» альтернатив. Например, для множества $\mathbf{A} = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$ может быть введено ранжирование $< a_1 \succ a_2 \succ a_3 \sim a_4 \succ a_5 >$, где знак $\succ$ означает «предпочтительнее, чем <…>», знак ~ – «равнозначно с <…>». Альтернативы с одинаковыми рангами в русскоязычной литературе называют альтернативами со «связанными рангами», в англоязычной – ties (т. е. ничьими).

Задачей формирования агрегированной консенсусной ранговой оценки является построение коллективного ранжирования $\hat{\mathbf{P}}$, ближайшего по некоторой введенной мере ко всем индивидуальным ранжированиям, т. е.

$$\arg\min_{\mathbf{P}} \sum_{k=1}^{K} d(\mathbf{P}^k, \mathbf{P}) \to \hat{\mathbf{P}}. \tag{3}$$

Решение задачи (3) называется консенсусным ранжированием и является результатом коллективного экспертного оценивания.

Общая схема обработки информации при формировании консенсусного ранжирования представлена на рис. 1.

После формирования индивидуальных предпочтений экспертов производится предварительная обработка экспертной информации, включающая стандартизацию рангов и оценку согласованности коллективной ранговой матрицы, подлежащей агрегированию. Собственно, процедура агрегирования предпочтений не является предметом настоящего исследования, им посвящены многочисленные публикации, например [8]. Рассмотрим необходимые процедуры предварительной обработки, от корректности применения которых существенно зависит достоверность последующей агрегированной консенсусной оценки в целом.

Стандартизация рангов является обязательной процедурой обработки экспертной информации, хотя выполняется далеко не всегда, а иногда выполняется не вполне корректно. При ранжировании эксперт располагает альтернативы в порядке, который представляется ему наиболее рациональным, и приписывает каждой из них числа натурального ряда – ранги: 1, 2, 3 и так далее. Ранговая шкала по определению должна удовлетворять условию равенства числа рангов числу ранжируемых альтернатив [9]. Сумма рангов, полученная в результате ранжирования n альтернатив, должна быть равна сумме n последовательных чисел натурального ряда (натуральной арифметической прогрессии):

$$\sum_{i=1}^{n} r_i = \frac{n(n+1)}{2}. \tag{4}$$

Как указано выше, если эксперт не может отдать однозначного предпочтения одному из ранжируемых элементов (поскольку эксперт не является «идеальным измерительным инструментом» и имеет свою индивидуальную «разрешающую способность»), он приписывает им одинаковые (связанные) ранги. Эта ситуация нарушает правило (4) – количество рангов оказывается не равным числу альтернатив. В содержательном смысле присвоение m альтернативам равных рангов является сужение экспертом размаха ранговой шкалы от n до m. В случае индивидуальной экспертизы такая ситуация не меняет кардинально ее результат. В случае же консенсусного агрегирования индивидуальных экспертных ранжирований при различном числе связанных рангов m у разных экспертов агрегированию подлежат n ранжирования с разным размахом ранговой шкалы, что недопустимо. В таких случаях необходимо провести процедуру стандартизации рангов.

В. Куком и Сейфордом [2; 11] была предложена концепция дробных рангов: когда s альтернатив имеют в ранжировании один и тот же ранг p, т. е. они занимают в ранжировании позиции $(p, p+1, \dots, p+s-1)$, им назначается дробный ранг, определяемый как среднее арифметическое значение:

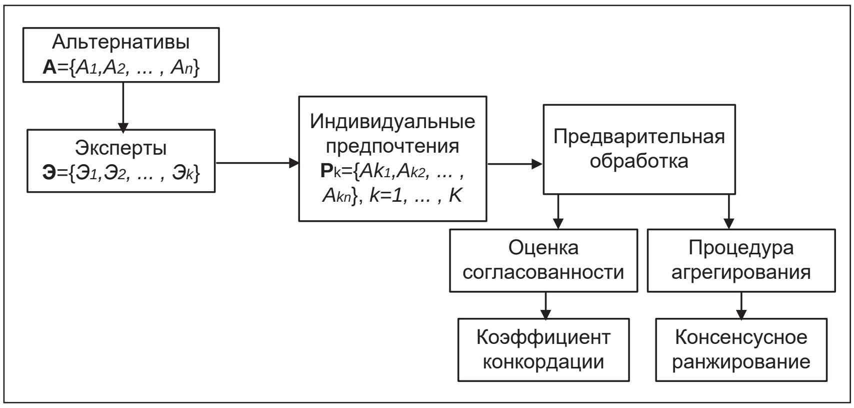

Рис. 1. Схема обработки информации при формировании консенсусного ранжирования

$$t = \frac{p + (p+1) + \ldots + (p+s-1)}{s} = \frac{2p + (s-1)}{2s} s = p + \frac{s-1}{2}. \qquad (5)$$

Полученное по формуле (5) значение имеет вид $v + \frac{1}{2}$ для любого четного s и является целым числом в противном случае (*p, s, v* – целые числа). Дробный ранг $v + \frac{1}{2}$ удобен для содержательной трактовки: альтернатива с таким рангом занимает в ранжировании позицию между *v*-й и *(v + 1)*-й.

Процедура стандартизации рангов (иногда называемая «развязыванием рангов»), основанная на концепции дробных рангов, состоит в том, что каждой группе альтернатив, имеющих один и тот же повторяющийся ранг, присваивается ранг, равный среднему значению занимаемых мест. Отметим, что после стандартизации рангов условие (4) выполняется всегда.

Изложим один из алгоритмов корректной стандартизации рангов [11]. Алгоритм предполагает осуществление следующих шагов:

1. M = Ø, где M – множество индексов, для которых уже проведена операция стандартизации. На первом шаге M – пустое множество.

2. Формируется множество $L = \{ l : r_L = \max_{k \in M} r_k \}$, состоящее из максимальных рангов по множеству не стандартизированных к данному шагу рангов. Подсчитывается количество его элементов *K* (L).

3. Проводится стандартизация для всех рангов с индексами из L.

$$K_l = \Delta_N - \frac{(K(L)-1)}{2}, \text{ где } \Delta N = \begin{cases} \Delta_1 = n, M = 0 \\ \Delta_N = \Delta_{N-1} - K(L). \end{cases}$$

4. Изменяем множество M, так что $M = M \cup L$; если $M = \overline{1, n}$, то работа алгоритма заканчивается, в противном случае переходим к шагу 2.

Приведенный алгоритм реализован в системе компьютерной математики Scilab. На рис. 2 приведен фрагмент программного кода стандартизации рангов.

Редукция исходного множества альтернатив. На основании индивидуальных ранжирований может быть построена ранговая матрица альтернатив

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1k} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2k} \\ \cdots & \cdots & r_{ij} & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nk} \end{bmatrix}, \; i = 1, \ldots, n; \; j = 1, \ldots, K, \qquad (6)$$

```
disp (A);
C=A;
T=0;
Q=zeros(10,30);//формируем единичную матрицу, куда потом будем записывать значения
после ранжирования
//процедура развязывания рангов
for i=1:10
   N=30;//количество элементов в строке
   S=0;
   while S<30//пока все ранги в сторке не будут равны 0 делаем:
      M=max(C(i,:));//максимальный элемент по строке
      K=sum(C(i,:)==M);//количество максимальных элементов
      if K>1 then
         T=T+K;//записываем количество повторяющихся рангов по всей матрице
      end
      B=N-((K-1)/2);//подсчет нового ранга
      N=N-K;//уменьшаем количество рангов, которые необходимо проверить
     for j=1:30
         if C(i,j)==M then //находим все максимальные элементы в начальной матрице
         Q(i,j)=B;//записываем в новую матрицу значение ранжирования
         C(i,j)=0;//обнуляем ранг
      end
      S=sum(C(i,:)==0);
      end
   end
end
disp ("Процедура развязывания рангов:");
disp (Q);
```

Рис. 2. Фрагмент программного кода Scilab для стандартизации рангов экспертной матрицы

где r_{ij} – ранг, присвоенный i-й альтернативе в индивидуальном ранжировании j-го эксперта.

Обычно исходное множество альтернатив имеет достаточно большую размерность, большую, чем требуется для получения состоятельной агрегированной консенсусной оценки. Это связано с различными причинами, и чаще всего с тем, что постановщик задачи коллективного экспертного оценивания стремится «увеличить ее состоятельность» путем учета максимально возможного числа альтернатив. В то же время доказано, что аксиоматически обоснованные методы консенсусного агрегирования индивидуальных ранжирований (в частности, медианные методы) представляют собой NP-задачи, т. е. задачи неполиномиальной вычислительной сложности, для которых процессорное время счета стремительно растет с ростом размерности множества альтернатив **A**. Поэтому дальнейшим этапом предварительной обработки альтернатив является выделение «значимых альтернатив» с последующим удалением тех альтернатив, которые не попали в подмножество значимых. На этом этапе часто применяется метод суммарного ранга, согласно которому в матрице $\mathbf{R}$ построчно суммируются ранги, набранные каждой альтернативой у всех K экспертов. Далее суммарный ранг альтернативы по строке принимается за характеристику ее значимости [6; 7]. В некоторых вариантах суммарные ранги альтернатив складываются, рассчитывается вес альтернативы w_i, $i = 1, \dots, n$ как отношение ее суммарного ранга по строке к общей сумме рангов. После этого вводится некоторый порог (или по сумме рангов, или по весу альтернативы) и альтернатива, характеристика которой меньше порогового значения, объявляется незначимой и исключается из дальнейшей обработки. Далее будет показана некорректность такой методики.

Помимо консенсусного ранжирования в результате агрегирования индивидуальных предпочтений, большое значение имеет достоверность коллективной экспертной оценки. Оценки достоверности коллективной экспертной оценки базируются на коэффициенте конкордации Кенделла, который характеризует непротиворечивость ранговой матрицы $\mathbf{R}$. Рассмотрим этот коэффициент более детально с использованием результатов работы [12].

Коэффициент конкордации Кенделла определяется как отношение дисперсии D, отражающей реальный разброс между ранжированиями, к величине $D_{\max}$, характеризующей максимально возможный разброс между ними:

$$W = D / D_{\max} . \tag{7}$$

Дисперсия рассчитывается как

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (r_i - \bar{r})^2 , \tag{8}$$

где $r_i = \sum_{j=1}^{K} r_{ij}, \ (i = 1, \dots, n)$, $\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{K} r_i$.

Для упрощения вычислений, выразим средний ранг $\bar{r}$ через количество оцениваемых альтернатив n и количество экспертов K, принявших участие в экспертизе. Для этого вычислим сумму рангов, которые приписываются альтернативам каждым экспертом

$$r_j = \sum_{i=1}^{n} r_{ij} = \frac{n(n+1)}{2}, \ j = 1, \dots, K \tag{9}$$

в связи с выполненной ранее стандартизацией рангов. Средний ранг запишем так:

$$\bar{r} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{K} r_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{K} \sum_{i=1}^{n} r_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{K} \frac{n(n+1)}{2} = \frac{(n+1)K}{2} . \tag{10}$$

Теперь с использованием очевидного равенства

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{K} r_{ij} = n\bar{r} \tag{11}$$

преобразуем выражение (8):

$$\begin{aligned} D &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (r_i - \bar{r})^2 = \\ &= \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^{n} (\sum_{j=1}^{K} r_{ij})^2 - 2\bar{r} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{K} r_{ij} - n\bar{r}^2 \right] = \\ &= \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^{n} (\sum_{j=1}^{K} r_{ij})^2 - n\bar{r}^2 \right]. \end{aligned} \tag{12}$$

Из (12) видно, что максимальное значение дисперсии достигается при наибольшем значении первого члена в квадратных скобках. В свою очередь, наибольшего значения этот член достигает тогда, когда у всех экспертов оценки оказались одинаковыми, т. е. все индивидуальные ранжирования одинаковы. В случае одинаковых ранжирований каждая строка в матрице будет содержать одинаковые целые ранги i, а значит, величину, возводимую в квадрат, можно представить в виде:

$$\sum_{j=1}^{K} r_{ij} = iK , \tag{13}$$

где i – величина среднего ранга, в данном случае – целое число.

Теперь величина первого члена в квадратных скобках может быть выражена через n и K:

$$\sum_{i=1}^{n} \left(\sum_{j=1}^{K} r_{ij} \right)^2 = K^2 \sum_{i=1}^{n} i^2 = \frac{K^2 (n+1)(2n+1)n}{6} . \tag{14}$$

Это максимально возможное значение для случая, когда оценивалось n альтернатив группой из K экспертов и ранжирования полностью совпали. Если изменится хотя бы одно из ранжирований, то сумма уменьшится. Действительно, перестановка рангов в одном из ранжирований приведет к изменению некоторых i под знаком суммирования. Причем, если $i_1 < i_2$, то i_1 возрастет на величину $(i_1 - i_2)/K$, а i_2 – уменьшится на эту же величину. Тогда можно оценить, как изменится в целом вся сумма в зависимости от тех изменений, которые произошли с двумя слагаемыми:

$$(i_1 + \frac{i_2 - i_1}{K})^2 + (i_2 + \frac{i_2 - i_1}{K})^2 = \\ = i_1^2 + i_2^2 + 2(\frac{i_2 - i_1}{K})(-(i_2 - i_1) + \frac{i_2 - i_1}{K}. \qquad (15)$$

Из выражения (15) следует, что сумма уменьшается на величину дополнительного слагаемого, которое всегда отрицательно. Следовательно, дисперсия имеет максимальное значение только в случае полного совпадения мнений экспертов. Подставляя (14) в (12) и расписывая $\bar{r}$, получаем выражение для вычисления значения максимальной дисперсии.

$$D_{\max} = \frac{K^2(n+1)(2n+1)n}{6} - \\ - \frac{n(n-1)^2 K^2}{4} = \frac{K^2(n^3 - n)}{12(n-1)}. \qquad (16)$$

Когда дисперсия равна нулю, имеет смысл рассматривать случай $K = n$. Именно в этом случае возникает ситуация, когда один и тот же объект оценивается экспертами по-разному, т. е. все n ранжирований различны. А для разных ранжирований первый член в выражении (12) равен

$$\sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{j=1}^{K} r_{ij}\right)^2 = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{K(K+1)}{2}\right)^2 = \frac{K^2(K+1)^2 n}{4}. \qquad (17)$$

При $K = n$ полученное выражение полностью совпадает с выражением для $n\bar{r}^2$, следовательно, величина дисперсии в рассматриваемом случае равна нулю. Если ввести обозначение

$$D = \frac{1}{n-1} S, \qquad (18)$$

где $S = \sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{j=1}^{K} r_{ij} - \bar{r}\right)^2$,

получим окончательное выражение Кенделла для коэффициента конкордации

$$W = \frac{12S}{K^2(n^3 - n)}. \qquad (19)$$

В [10] показано, что все изложенное справедливо и для дробных рангов, кратных $\frac{1}{2}$, образующихся в результате стандартизации рангов. Если в полученных ранжировках есть связанные ранги, то коэффициент конкордации нужно скорректировать, так как максимальное значение дисперсии становится меньше, чем в случае отсутствия связанных рангов. Скорректированный коэффициент конкордации вычисляется по формуле

$$W = \frac{12S}{K^2(n^3 - n) - K\sum_{j=1}^{K} T_j}, \qquad (20)$$

где T_j – показатель связанных рангов в j-м ранжировании

$$T_j = \sum_{k=1}^{H_j} (h_k^3 - h_k).$$

Здесь H_j – число групп равных рангов в j-м ранжировании, h_k – число равных рангов в k-й группе связанных рангов в ранжировании, полученном от j-эксперта.

Коэффициент конкордации W равен 1 в тех случаях, когда индивидуальные ранжирования экспертов по всем объектам полностью совпадают, и равен 0, когда все ранжирования различны. В остальных случаях его значения удовлетворяют неравенству $0 < W < 1$, причем, чем ближе значение W к 1, тем теснее связь между ранжировками и надежнее агрегированная консенсусная оценка.

Коэффициент конкордации, вычисленный по выражениям (19) или (20), является статистической точечной оценкой истинного значения и представляет собой случайную величину. Поэтому возникает необходимость в проверке значимости статистической оценки. Если число альтернатив $n > 7$, то значимость оценки коэффициента конкордации проверяется с помощью критерия χ^2. Доказано [13], что при $n > 7$ величина

$$\chi^2 = WK(n-1), \qquad (21)$$

имеет χ^2-распределение с $\nu = n - 1$ степенями свободы. Если в некоторых ранжировках есть связные ранги, то для проверки значимости коэффициента конкордации используется статистика:

$$\chi^2 = \frac{12S}{Kn(n+1) - (n-1)^{-1}\sum_{j=1}^{K} T_j}. \qquad (22)$$

Для проверки значимости коэффициента конкордации вычисляется статистика хи-квадрат по выражениям (21) или (22) и сравнивается с табличным значением $\chi^2_{табл}$ для заданного уровня значимости α для $\nu = n - 1$ степеней свободы. В случае $\chi^2 > \chi^2_{табл}$ гипотеза о значимости коэффициента конкордации принимается.

Вернемся к вопросу об определении значимости альтернатив с последующим исключением по сумме рангов наименее значимых. Для этого рассмотрим иллюстративный пример: пусть $n = 2$ альтернативы рассмотрены $K = 6$ экспертами и матрица рангов имеет следующий вид:

$$R=\begin{bmatrix}1&2&3&4&5&6\\6&5&4&3&2&1\end{bmatrix}.$$

Ранжирования по строкам противоположны, расчетный коэффициент конкордации $W=0$ (в случае нечетного числа экспертов он мало отличается от нуля за счет совпадения среднего по строке ранга). Это говорит о несостоятельности коллективной экспертизы. В то же время, если пользоваться правилом построчной суммы рангов, обе альтернативы являются значимыми и должны быть оставлены в матрице рангов. Этот пример показывает некорректность применения правила суммарного ранга для редукции множества альтернатив, поскольку оно катастрофически искажает результаты экспертизы и ставит под сомнение ее состоятельность.

Для корректной редукции множества альтернатив предлагается следующий метод.

Шаг 1. В качестве исходного выбираем полное множество альтернатив A_0 размерности n. Формируется матрица рангов для A_0 – R_0. Рассчитывается коэффициент конкордации для полного множества альтернатив $W(R_0)$.

Шаг 2. Полагаем счетчик $i=1$. Список номеров альтернатив, подлежащих удалению, полагается пустым: $\{\ List\_\bar{A}\ \}=\varnothing$.

Шаг 3. Из множества альтернатив A_0 удаляем альтернативу A_i, а из матрицы R_0 удаляем *i*-ю строку.

Шаг 4. Рассчитываем коэффициент конкордации для усеченного множества альтернатив: $W(R_{0-i})$.

Шаг 5. Если $W(R_{0-i})-W(R_0)>\Delta W$, где ΔW – некоторый экспериментально установленный порог, то присутствие альтернативы A_i в списке альтернатив и матрице рангов снижает согласованность коллективного консенсусного ранжирования, номер i этой альтернативы заносится в список удаляемых альтернатив – $\{\ List\_\bar{A}\ \}=\{\ List\_\bar{A}\ \}+i$.

Шаг 6. $i=i+1$. Если $i>n$, вычисления закончены. В противном случае – переход к шагу 3.

Шаг 7. Из множества альтернатив удаляются альтернативы с номерами, содержащимися в списке $\{\ List\_\bar{A}\ \}$, а из матрицы рангов удаляются строки с индексами, содержащимися в списке $\{\ List\_\bar{A}\ \}$.

Предложенный метод гарантирует, что после такой редукции множества альтернатив коэффициент конкордации W возрастет по сравнению с $W(R_0)$, тем самым согласованность коллективного консенсусного ранжирования будет повышена и результат экспертизы станет более достоверным. Метод также реализован программно в системе Scilab.

Пример практической реализации корректной редукции исходного множества альтернатив. Для разработки серверной части системы поддержки принятия решений (далее – СППР) абитуриентами, поступающими на ИТ-специальности Института компьютерных систем Одесского национального политехнического университета, была проведена коллективная экспертная оценка качеств, знаний и умений (далее – необходимых качеств), необходимых абитуриенту для успешного обучения на соответствующей специальности. Клиентская часть выполнена в виде Android-приложения и содержит вопросы для абитуриента, ответы на которые позволяют оценить наличие у него тех или иных качеств, знаний и навыков. В результате функционирования СППР подсказывает абитуриенту рекомендуемую для него ИТ-специальность [14].

Для оценки необходимых качеств для шести специальностей: 113 «Прикладная математика», 121 «Инженерия программного обеспечения», 122 «Компьютерные науки», 123 «Компьютерная инженерия», 126 «Информационные системы и технологии», 151 «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии», были сформированы шесть коллективов экспертов численностью соответственно 8, 15 16, 12, 16, 10 человек из ведущих преподавателей выпускающих кафедр. Каждому из экспертов был предложен список альтернатив, состоящий из 30 требуемых качеств (ТКi), приведенный в таблице 1.

Для формирования консенсусного агрегирования результатов коллективной экспертизы по специальности 151 «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии», в которой участвовали 10 экспертов, к полученной ранговой матрице были применены различные методы редукции множества альтернатив.

Метод суммарных рангов. Для выявления значимости каждой альтернативы определены коэффициенты значимости *(K_j)* по формуле:

$$K_j=\frac{mn-S_j}{0,5mn(n-1)}, \qquad (23)$$

где S_j – сумма рангов по строкам для каждой альтернативы.

Для выделения из *n* альтернатив наиболее значимых, согласно [7] был введен порог значимости коэффициентов $K_i\geq 1/n$ и выделены наиболее значимые альтернативы. В результате вычислений выявлено 10 наиболее значимых альтернатив: {ТК1, ТК2, ТК3, ТК28, ТК22, ТК25, ТК23, ТК26, ТК27, ТК11} (упорядоченность соответствует полученным коэффициентам значимости).

Расчеты коэффициента конкордации показывают следующее. Если для исходной полной матрицы рангов коэффициент конкордации W = 0,6615, для редуцированной до 10 значимых факторов коэффициент конкордации W = 0,1336, в обоих случаях значимость W подтверждена по критерию χ^2 с уровнем значимости $\alpha = 0,95$. Катастрофическое снижение коэффициента конкордации свидетельствует о некорректности применения метода средних рангов для редукции множества альтернатив. Объясняется такое снижение коэффициента конкордации тем, что сумма рангов никоим образом не учитывает последовательность мест, занимаемых альтернативами в индивидуальных ранжированиях экспертов.

Таблица 1

Список альтернатив
(знаний, умений, личных качеств абитуриента)

№	Качества абитуриента	Обозначение
1.	Хорошая школьная подготовка по математике	ТК1
2.	Хорошая школьная подготовка по физике	ТК2
3.	Хорошая школьная подготовка по информатике	ТК3
4.	Успешное участие в олимпиадах по математике	ТК4
5.	Успешное участие в олимпиадах по физике	ТК5
6.	Успешное участие в олимпиадах по информатике	ТК6
7.	Успешное участие в работе МАН	ТК7
8.	Опыт разработки программного продукта	ТК8
9.	Практическое владение английским языком	ТК9
10.	Практическое владение другим иностранным языком	ТК10
11.	Практическое владение одним из языков программирования	ТК11
12.	Опыт работы с приложениями под ОС Windows	ТК12
13.	Опыт работы с приложениями под ОС Android	ТК13
14.	Опыт работы с приложениями под ОС iOS	ТК14
15.	Практические знания аппаратной части компьютера	ТК15
16.	Практические умения по установке ОС на компьютер	ТК16
17.	Практические умения по настройке домашнего Wi-Fi роутера	ТК17
18.	Умение работать в команде	ТК18
19.	Умение быстро найти необходимую информацию в интернете	ТК19
20.	Умение руководить небольшой группой	ТК20
21.	Умение решать нестандартные задачи	ТК21
22.	Умение самостоятельно разобраться в незнакомой теме	ТК22
23.	Умение убедительно объяснить свою точку зрения	ТК23
24.	Стрессоустойчивость	ТК24
25.	Усидчивость	ТК25
26.	Дисциплинированность	ТК26
27.	Широкий кругозор	ТК27
28.	Стремление овладеть новыми знаниями и навыками	ТК28
29.	Ораторское искусство	ТК29
30.	Умение слушать	ТК30

Расчеты коэффициента конкордации показывают следующее. Если для исходной полной матрицы рангов коэффициент конкордации W = 0,6615, для редуцированной до 10 значимых факторов коэффициент конкордации W = 0,1336, в обоих случаях значимость W подтверждена по критерию χ^2 с уровнем значимости $\alpha = 0,95$. Катастрофическое снижение коэффициента конкордации свидетельствует о некорректности применения метода средних рангов для редукции множества альтернатив. Объясняется такое снижение коэффициента конкордации тем, что сумма рангов никоим образом не учитывает последовательность мест, занимаемых альтернативами в индивидуальных ранжированиях экспертов.

Применение предложенного ***метода корректной редукции множества альтернатив*** позволило получить следующие результаты: редуцированное множество из 15 альтернатив – {ТК1, ТК2, ТК3, ТК6, ТК7, ТК8, ТК21, ТК22, ТК23, ТК25, ТК26, ТК27, ТК28, ТК29, ТК30}. Расчет коэффициента конкордации дает статистически подтвержденное значение по критерию χ^2 с $\alpha = 0,95$ W =0,7875. Применение корректного метода редукции множества альтернатив позволило существенно повысить согласованность матрицы рангов и тем самым повысить достоверность экспертизы в целом.

Выводы. Исследованы процедуры предварительной обработки экспертной информации, представленной в виде набора индивидуальных ранговых предпочтений. Показано, что на результирующее консенсусное агрегированное ранжирование существенно влияет корректность методов предварительной обработки. Сформулирован и программно реализован принцип стандартизации рангов. Установлено, что редукция множества альтернатив на основании метода среднего ранга является некорректной и может привести к существенному снижению уровня согласованности коллективной экспертной оценки. Предложен корректный метод редукции множества альтернатив. Изложение проиллюстрировано конкретным примером коллективной ранговой оценки для построения системы принятия решений.

Список литературы:

1. Петровский А. Теория принятия решений. М.: Академия, 2009. 400 с.
2. Cook W., Seiford L. Priority ranking and consensus formation. Management Science.1978. Vol. 24. № 16. P. 1721–1732.
3. Cook W., Seiford L. A general framework for distance-based consensus in ordinal ranking models.European Journal of Operational Research. 1997. Vol. 96. № 2. P. 392–397.
4. Самохвалов Ю., Науменко Е. Экспертное оценивание. Методический аспект. Киев: ДУИКТ, 2007. 262 с.
5. Орлов А. Организационно-экономическое моделирование: в 3 ч. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. Ч. 2: Экспертные оценки. 486 с.
6. Кондратюк И., Сдвижкова Е. Выбор и обоснование значимых информативных факторов выбросоопасности угля и газа. Збірник наукових праць Національного гірничого університету. 2013. № 40. С. 77–84.
7. Хэбе Н., Ковшов Е. Модель лицензирования программных решений с открытым кодом. Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 69.
8. Ronald D., Cook W., Lawrence M. Priority Ranking and Consensus Formation: The Case of Ties. Management Science. 1982. Vol. 28. P. 638–645.
9. Катаев А. Актуальные функциональные задачи маркетинговой товарной политики. Харьков: Издательский центр «Диалог», 2016. 124 с.
10. Bury H., Wagner D. Group Judgement with Ties. Distance-Based Methods. New Approaches in Automation and Robotics. Vienna: I-Tech Education and Publishing, 2008. P. 153–173.
11. Писарева О. Методы социально-экономического прогнозирования. М., 2003. 396 с.
12. Давнис В., Тинякова В. Прогнозные модели экспертных предпочтений. Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 2005. 248 с.
13. Кобзарь А. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
14. Куваева В., Позняк А., Болтенков В. Применение методов экспертного оценивания при построении систем поддержки принятия решений. Системи та засоби штучного інтелекту: тези доповідей Міжнародної наукової молодіжної школи. Київ. 2017. С. 104–108.

ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ЕКСПЕРТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПІД ЧАС ФОРМУВАННЯ АГРЕГОВАНИХ КОНСЕНСУСНИХ РАНГОВИХ ОЦІНОК

Досліджено методи попередньої обробки експертної інформації в задачах побудови агрегованих консенсусних ранжирувань. Показано некоректність процедур редукції вихідної множини альтернатив, що застосовуються та знижують узгодженість експертизи. Запропоновано метод відсіву незначущих альтернатив, заснований на коефіцієнті конкордації.

Ключові слова: *експертне оцінювання, консенсусне агрегування, рангові переваги, матриця рангів, коефіцієнт конкордації.*

PRE-PROCESSING OF EXPERT INFORMATION IN AGGREGATED CONSENSUS RANKING FORMATION

The methods for pre-processing of expert information in the problems of aggregated consensus rankings constructing have been studied. The incorrectness of the applied procedures for the initial set of alternatives reduction, which reduces the concordance of expertise, has been demonstrated. A method for eliminating insignificant alternatives based on the concordance coefficient was proposed.

Key words: *expert estimation, consensus aggregation, ranking preferences, ranks matrix, coefficient of concordance.*