

**ВОРОНЕЖСКИЙ ИНСТИТУТ МВД РОССИИ**

**Р. А. Жилин  
А. В. Мельников  
С. Б. Ахлюстин**

**ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ  
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
В СФЕРЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ  
(НА ПРИМЕРЕ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ)**

*Учебно-методическое пособие*

**Воронеж  
2024**

ББК 32.972  
УДК 004.942

*Рецензенты:*

*А. И. Леонов – заместитель начальника Межмуниципального отдела МВД России на особо важных и режимных объектах Воронежской области, подполковник внутренней службы;*

*Г. Е. Минаков – заместитель начальника полиции по охране общественного порядка ГУ МВД России по Воронежской области, полковник полиции.*

**Жилин Р. А.**

Практические вопросы многокритериального принятия решений в сфере эксплуатации авиационной техники (на примере беспилотных воздушных судов) : учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / Р. А. Жилин, А. В. Мельников, С. Б. Ахлюстин. – Электр. дан. и прогр. – Воронеж : Воронежский институт МВД России, 2024. – 1 электр. опт. диск (CD-ROM) : 12 см. – Систем. требования: процессор Intel с частотой не менее 1,3 ГГц ; ОЗУ 512 Мб ; операц. система семейства Windows ; CD-ROM дисковод.

ISBN 978-5-00229-137-3

В учебно-методическом пособии изложены универсальные методологические подходы к оценке и принятию решений в сфере эксплуатации авиационной техники (на примере беспилотных воздушных судов).

Предназначено для курсантов и слушателей юридического факультета Воронежского института МВД России по дисциплине «Тактические основы эксплуатации беспилотных воздушных судов».

© Р. А. Жилин, А. В. Мельников, С. Б. Ахлюстин, 2024

© Воронежский институт МВД России, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение .....                                                                                                                                                                                                                  | 4  |
| 1. Численный метод предварительной экспертизы альтернатив.....                                                                                                                                                                  | 6  |
| 2. Численный метод формирования представительных коалиций высококвалифицированных специалистов на основе последовательного исключения наименее согласованных экспертов с использованием коэффициента конкордации Кенделла ..... | 14 |
| 3. Расширенный метод генерирования всех возможных комбинаций высококвалифицированных специалистов для формирования представительной экспертной коалиции с использованием коэффициента конкордации Кенделла.....                 | 18 |
| 4. Сравнение эффективности и вычислительной сложности разработанных численных методов.....                                                                                                                                      | 20 |
| Заключение.....                                                                                                                                                                                                                 | 30 |
| Список литературы.....                                                                                                                                                                                                          | 31 |

## ВВЕДЕНИЕ

При моделировании систем поддержки принятия решений, в основе которых лежат получение, обработка и анализ экспертной информации, возникает задача привлечения большого количества мнений экспертов из различных предметных областей.

Одним из методов учета большого массива мнений экспертов является формирование и анализ таких мнений в представительных экспертных коалициях ( $W \rightarrow \max$ , при  $n \rightarrow \max$ , где  $W \geq 0,7$ ), что в свою очередь приводит к необходимости максимального охвата высококвалифицированных специалистов в предметной области ( $n \rightarrow \max$ ).

Проблема формирования представительных коалиций ( $W \rightarrow \max$ , при  $n \rightarrow \max$ , где  $W \geq 0,7$ ) является одной из ключевых при решении различных задач экспертного оценивания в связи с тем, что выбор наиболее подходящих экспертов может быть трудоемким и сложным процессом.

В работах [1, 2, 3 и др.] рассмотрены численные методы по формированию представительных экспертных коалиций, как правило, оценку их эффективности проводят на малочисленной экспертной группе ( $n < 20$ ).

В частности, в работах Е. А. Буркова [4] и К. Е. Волковицкого [5] рассматриваются вопросы формирования основных коалиций экспертов, также Е. А. Бурковым предложено формирование коалиций экспертов на основе методов математической статистики. К. Е. Волковицкий же обращает внимание на то, что коалиции образуются экспертами, которые либо полностью разделяют какую-либо точку зрения, либо полностью её отрицают. В его исследованиях группа экспертов разделена на несколько коалиций, противоречащих друг другу.

В многочисленных работах [6, 7, 8 и др.] указывается, что количество экспертов для снижения вычислительной сложности предлагается уменьшить до нескольких специалистов, а также не рассматриваются вопросы применения в исследовании большого количества (нескольких десятков) высококвалифицированных специалистов и дальнейшего формирования их в различные группы (коалиции).

В вышеприведенных работах как правило рассматривались малочисленные экспертные группы, в данной работе объектом исследования являются многочисленные группы экспертов ( $n \geq 20$ ).

В работе проведены анализ и сравнение разработанных авторами [9, 10, 11] методов формирования представительных экспертных групп и проанализированы их преимущества и недостатки.

Данные численные методы позволяют оптимизировать процесс выбора экспертов, учитывая их профессиональный опыт и знания, а также минимизировать вероятность ошибок и субъективность в принятии решений.

В работе приняты следующие определения и обозначения:

*высокосогласованная экспертная коалиция* – группа экспертов, у которой значение коэффициента конкордации Кендалла составляет 0,7 и более ( $W \geq 0,7$ );

*представительная экспертная коалиция* – группа экспертов с максимальным количеством высококвалифицированных специалистов, которая имеет максимальное значение коэффициента конкордации Кендалла ( $W \rightarrow \max$ , при  $n \rightarrow \max$ , где  $W \geq 0,7$ );

*многочисленная экспертная группа* – группа экспертов с количеством высокококвалифицированных специалистов 20 и более ( $n \geq 20$ );

*малочисленная экспертная группа* – группа экспертов с количеством высокококвалифицированных специалистов менее 20 ( $n < 20$ ).

## 1. ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ АЛЬТЕРНАТИВ

Метод проведения экспертизы, предложенный в работе [9], включает в себя несколько этапов, начальными из которых являются выбор цели и задач экспертизы (первый этап), а также процедура выбора и согласования группы экспертов (второй этап).

Реализация второго этапа осуществляется путем проведения экспертизы на основе тестовых данных.

Предлагается численный метод оценки слабоструктурированных альтернатив на начальных этапах экспертного оценивания, который позволит уменьшить вычислительную сложность за счет отсутствия необходимости попарного сравнения признаков и позволит получить вектор весовых коэффициентов относительной важности признаков.

Использование упорядоченной шкалы рангов критериев на начальных этапах экспертизы позволяет избежать проведения трудоемкой процедуры парных сравнений альтернатив метода анализа иерархий.

Разработка численного метода оценки слабоструктурированных альтернатив на начальных этапах экспертного оценивания проводится в несколько этапов:

- 1) получение информации от высококвалифицированных специалистов;
- 2) анализ информации и формирование согласованной группы специалистов;
- 3) нормирование полученных результатов с использованием разработанной лингвистической шкалы;
- 4) построение вектора приоритетов признаков.

### ***1. Получение информации от высококвалифицированных специалистов***

Пусть  $N$  высококвалифицированным специалистам предложено ранжировать  $M$  признаков по уровню значимости по шкале от 1 до  $M$  баллов.

По результатам опроса формируем матрицу  $A$  размером  $M \times N$ :

$$A = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1N} \\ x_{21} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & x_{ij} & \dots \\ x_{M1} & \dots & \dots & \dots & x_{MN} \end{pmatrix}, \quad (1.1)$$

где  $N$  – общее количество высококвалифицированных специалистов;

$M$  – общее количество признаков;

$x_{ij}$  – оценка  $j$ -м специалистом  $i$ -ого признака.

## **2. Анализ информации и формирование согласованной группы специалистов**

На основе матрицы  $A$  построим корреляционную матрицу, анализ которой позволит исключить из рассмотрения несогласованных специалистов.

Каждый элемент матрицы корреляции  $R(r_{xy})$  – это коэффициент парной линейной корреляции, который показывает тесноту и направление связи между переменными, указанными в соответствующих столбцах матрицы  $A$ .

Элементы главной диагонали корреляционной матрицы равны 1, так как каждый столбец во входном диапазоне полностью коррелирует сам с собой.

На основании значений элементов матрицы корреляции  $r_{xy}$  формулируются выводы о взаимосвязи мнений высококвалифицированных специалистов об исследуемой предметной области.

Полученная матрица  $R$  является квадратной матрицей порядка  $N$ , симметричной относительно главной диагонали:

$$r_{xy} = r_{yx}. \quad (1.2)$$

Составим вектор-столбец

$$\bar{X} = \begin{pmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \dots \\ \bar{x}_M \end{pmatrix}, \quad (1.3)$$

элементы которого равны среднему значению оценки всеми специалистами  $i$ -ого признака:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij}}{N}. \quad (1.4)$$

Составим расширенную корреляционную матрицу  $R^*$ , добавив к матрице  $R$  строку  $N+1$ , элементы которой получаются при сравнении оценок, выставленных  $j$  специалистом, со значением элементов матрицы  $\bar{X}$ :

$$\bar{r}_j = \frac{\sum_{i=1}^M (a_{ij} - \bar{a}_j)(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^M (a_{ij} - \bar{a}_j)^2 \cdot \sum_{i=1}^M (x_i - \bar{x})^2}}, \quad (1.5)$$

$$\text{где } \bar{a}_j = \frac{\sum_{i=1}^M a_{ij}}{M}, \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^M x_i}{M}.$$

Полученная расширенная корреляционная матрица  $R^*$  размером  $(N+1) \times N$  будет иметь вид

$$R^* = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1N} \\ \dots & 1 & \dots & \dots \\ r_{N1} & r_{N2} & 1 & r_{NN} \\ \bar{r}_1 & \bar{r}_2 & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (1.6)$$

Полученные данные позволяют исключить несогласованных специалистов, для которых значение коэффициента корреляции меньше заданного значения:  $\bar{r}_i < r_{min}$ .

Величина  $r_{min}$  может быть выбрана с учетом принятой интерпретации коэффициентов корреляции:

$0 < |r| \leq 0,2$  – связь отсутствует;

$0,2 < |r| \leq 0,4$  – слабая связь;

$0,4 < |r| \leq 0,7$  – средняя связь;

$0,7 < |r| \leq 1$  – сильная связь;

$r < 0$  – связь обратная;

$r > 0$  – связь прямая.

Для оставшихся экспертов вновь составим вектор-столбец  $\bar{X}$ .

Расширенная корреляционная матрица – результат вычисления корреляций одного типа для каждой пары из множества переменных, измеренных в количественной шкале на одной выборке, позволяет оценить согласованность мнений всех специалистов в целом по всему множеству ранжируемых альтернатив.



В качестве меры значимости каждого специалиста можно использовать силу корреляционной связи между выставленными им оценками и средним значениями признака. Данное значение может использоваться в виде коэффициента, отражающего компетентность специалиста.

На основе расширенной корреляционной матрицы может быть проведен детальный анализ однородности группы специалистов и разбиение ее на согласованные коалиции.

### ***3. Нормирование полученных результатов балльной оценки с использованием разработанной лингвистической шкалы***

В основе решения многокритериальных задач лежит ранжирование частных признаков. Значимость (ранги) частных признаков определяются на основе их попарного сравнения с помощью шкалы лингвистических оценок.

Для проведения субъективных парных сравнений Т. Саати [12] разработана шкала относительной важности, которая предоставляет специалисту возможность соотнести степеням предпочтения одного сравниваемого объекта перед другим определенные числа.

В соответствии с методом анализа иерархий рекомендуемая лингвистическая шкала состоит из девяти градаций оценок относительной важности, представленных в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Лингвистическая шкала относительной важности Т. Саати

| №<br>п/п | Степень предпочтения<br>одного сравниваемого объекта перед другим | Численное<br>значение |
|----------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1        | Выбранный частный критерий<br>строго эквивалентен другому         | 1                     |
| 2        | Выбранный частный критерий<br>слабо предпочтительнее              | 3                     |
| 3        | Выбранный частный критерий<br>несколько предпочтительнее          | 5                     |
| 4        | Выбранный частный критерий<br>значительно предпочтительнее        | 7                     |
| 5        | Выбранный частный критерий<br>строго предпочтительнее             | 9                     |

Результатом применения разрабатываемого численного метода является вектор коэффициентов относительной важности (вектор приоритетов) признаков.

Коэффициент относительной важности  $i$ -ого признака

$$v_i = 1 - \frac{\bar{x}_i - \bar{x}_{\min}}{\bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min}}, \quad (1.7)$$

где:

$\bar{x}_i$  – среднее значение  $i$  признака (элементы матрицы  $\bar{X}$ );

$\bar{x}_{\max}$  – максимальное среднее значение признаков ( $\bar{x}_{\max} = \max_{1 \leq i \leq M} \{\bar{x}_i\}$ );

$\bar{x}_{\min}$  – минимальное среднее значение признаков ( $\bar{x}_{\min} = \min_{1 \leq i \leq M} \{\bar{x}_i\}$ ).

Рассмотрим вектор  $V = (v_1 \ v_2 \ \dots \ v_M)$ , где  $0 \leq v_i \leq 1$ . Сопоставим каждому элементу вектора  $V$  значение значимости признака  $w_i$  в соответствии с лингвистической шкалой Т. Саати (таблица 1.2).

Таблица 1.2

Соответствие значения коэффициента  
относительной важности значимости признака

| Значимость,<br>$w_i$ | Определение<br>по шкале Т. Саати | Коэффициент<br>относительной важности, $v_i$ |
|----------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|
| 1                    | Одинаковая значимость            | (0,89; 1]                                    |
| 2                    | Промежуточное<br>значение        | (0,78; 0,89]                                 |
| 3                    | Слабая значимость                | (0,67; 0,78]                                 |
| 4                    | Промежуточное<br>значение        | (0,56; 0,67]                                 |
| 5                    | Сильная значимость               | (0,45; 0,56]                                 |
| 6                    | Промежуточное<br>значение        | (0,34; 0,45]                                 |
| 7                    | Очень сильная<br>значимость      | (0,23; 0,34]                                 |
| 8                    | Промежуточное<br>значение        | (0,12; 0,23]                                 |
| 9                    | Абсолютная<br>значимость         | [0; 0,12]                                    |

Рассмотрим вектор  $W = (w_1 \ w_2 \ \dots \ w_M)$ , элементы которого упорядочены по возрастанию.

По рассчитанным значениям элементов  $w_i$  составим матрицу парных сравнений относительной значимости признаков. Данная матрица обладает свойством обратной симметрии, а также свойством однородности, то есть логической согласованностью всех оценок между собой.

$$W = \begin{pmatrix} 1 & w_2/w_1 & w_3/w_1 & \dots & w_M/w_1 \\ w_1/w_2 & 1 & w_3/w_2 & \dots & w_M/w_2 \\ w_1/w_3 & w_2/w_3 & 1 & \dots & w_M/w_3 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1/w_M & w_2/w_M & w_3/w_M & \dots & 1 \end{pmatrix}. \quad (1.8)$$

Сформированная матрица парных сравнений содержит сведения об оценках высококвалифицированных специалистов.

#### **4. Построение вектора приоритетов**

Вектор коэффициентов относительной важности признаков (вектор приоритетов), предложенный в работе [1], имеет вид:

$$\Gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_M), \quad (1.9)$$

где  $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_M$  – элементы собственного вектора матрицы  $W$ .

В работе [12] предложена нормировка элементов собственного вектора делением на сумму его элементов:

$$\hat{\Gamma} = (\hat{\gamma}_1, \hat{\gamma}_2, \dots, \hat{\gamma}_M), \quad (1.10)$$

где

$$\hat{\gamma}_i = \frac{\gamma_i}{\sum_{i=1}^M \gamma_i}. \quad (1.11)$$

Нормирование обеспечивает соотношение  $\sum \gamma_i = 1$ .

С точки зрения функционального анализа такая норма соответствует пространству  $R_1^m$ .

Модель, позволяющая получить численное значение имеет следующий вид:

$$J = \sum_{i=1}^M \gamma_i \cdot x_i. \quad (1.12)$$

Построение обобщенного показателя позволит устранить трудности интерпретации полученных результатов.

Предлагаемый интегральный показатель зависит от значимости, определяемой весовыми коэффициентами, сумма которых должна равняться единице.

Веса определяются на основе метода анализа иерархий путем поиска собственных значений и собственных векторов матрицы парных сравнений, составленной высококвалифицированными специалистами.

Для выбора предпочтений одного показателя перед другим специалисты используют лингвистический подход.

По полученным значениям интегральных показателей для основной и альтернативной коалиций возможно определить их расхождение:

$$\varepsilon = \frac{|J_{OK} - J_{AK}|}{J_{OK}}. \quad (1.13)$$

Будем учитывать мнение альтернативной коалиции специалистов лишь в том случае, если полученные значения признаков различаются более чем на 5% ( $\varepsilon \geq 0,05$ ).

Применительно к рассматриваемой предметной области можно сделать следующие выводы:

1) учитывать интегральные показатели, полученные для альтернативных коалиций, целесообразно, если отличие от показателя для основной коалиции составляет более 5%;

2) при значениях интегральных показателей по основной и альтернативной коалициям, начиная с некоторой величины  $J_{zp}$ , результаты становятся слаборазличимыми, при значениях, меньших  $J_{zp}$ , результаты отличаются более чем на 5%;

3) экспериментально установлено значение  $J_{zp} = 0,55$ :

$$\begin{cases} J < 0,55 \Rightarrow J_{ок} + J_{ак}; \\ J > 0,55 \Rightarrow J_{ок}. \end{cases} \quad (1.14)$$

Проведенные эксперименты доказали устойчивость данного метода к исходным данным (к экспертной информации).

Разработанный численный метод оценки слабоструктурированных альтернатив на начальных этапах экспертного оценивания позволил осуществить следующее:

- 1) на реальных данных оценить специалистов на согласованность, то есть выделить согласованные коалиции;
- 2) оценить, насколько сформированная кластеризация соответствует реальным объектам;
- 3) оценить правильность разбиения признаков на классы;
- 4) оценить сформированное множество признаков.

## **2. ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫХ КОАЛИЦИЙ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ИСКЛЮЧЕНИЯ НАИМЕНЕЕ СОГЛАСОВАННЫХ ЭКСПЕРТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА КОНКОРДАЦИИ КЕНДЕЛЛА**

В теории и практике анализа многокритериальных оценочных проблем, достаточно часто встречаются задачи, которые относятся к классу слабоструктурированных. Сложность данных задач заключается в отсутствии четкой структуры информации и регламентированных способов ее обработки. Для решения подобных проблем, как правило, используются экспертные технологии.

Организация экспертизы включает целую серию задач, которые должны быть адаптированы под специфику предметной области. Даже определение целей, задач и этапов экспертизы при исследовании слабоструктурированных проблем не является типовым этапом организации экспертизы.

Особую важность и актуальность имеет организация как раз первых этапов, посвященных определению целей и задач обработки экспертной информации, формированию множества оценочных признаков, выделению согласованных групп экспертов, от корректного проведения данных этапов в целом зависит эффективность полученных в ходе экспертизы оценок и возможность их результативного использования.

Для решения серьезных оценочных проблем привлекается достаточно большое количество экспертов, представляющих разные подразделения и сферы ответственности.

Рассмотрим этапы численного метода по формированию представительных коалиций высококвалифицированных специалистов на основе последовательного исключения наименее согласованных экспертов с использованием коэффициента конкордации Кенделла.

1. Формирование матрицы оценок экспертов.
2. Последовательный расчет коэффициента конкордации Кендалла, исключая при этом каждый раз только по одному эксперту из рассмотрения.
3. Формирование вектора значений коэффициентов конкордации Кендалла.
4. Выбор минимальных значений коэффициента конкордации Кендалла из всего множества полученных.

5. Исключение вектор-столбца с минимальным значением коэффициента конкордации Кендалла ( $W_{min}$ ) из рассмотрения и формирование матрицы оценок экспертов меньшего порядка ( $A^*$ ).

6. Формирование представительной коалиции на основе полученных данных.

### **1. Формирование матрицы оценок экспертов**

Пусть  $N$  экспертам предложено ранжировать  $M$  признаков по уровню значимости по шкале от 1 до  $M$  баллов. По результатам опроса экспертов сформируем матрицу  $A$  размером  $M \times N$ :

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & a_{ij} & \dots \\ a_{M1} & \dots & \dots & \dots & a_{MN} \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

где  $N$  – количество экспертов;

$M$  – количество признаков;

$a_{ij}$  – оценка  $i$ -того признака  $j$ -ым экспертом.

### **2. Расчет коэффициента конкордации Кендалла**

Наиболее часто для оценки согласованности мнений экспертов используется коэффициент конкордации Кендалла. Несложность его вычисления и возможность проверки статистических гипотез о его значимости обусловили его широкое применение в самых различных областях исследований:

$$W = \frac{12S}{(m^2(n^3 - n))} \quad (2.2)$$

где  $n$  – количество экспертов;

$m$  – количество признаков;

$S$  – сумма квадратов фактически встречающихся отклонений суммы рангов по  $j$  – ому направлению исследований от среднего арифметического сумм рангов по  $n$  направлениям исследований:

$$S = \sum_{j=1}^n \left\{ \sum_{i=1}^m x_{ij} - \frac{1}{2} m(n+1) \right\}^2 \quad (2.3)$$

Величина  $W$  может быть выбрана с учетом принятой интерпретации:

1)  $W < 0,5$  – низкая степень согласованности группы экспертов;

2)  $0,5 \leq W < 0,7$  – средняя степень согласованности группы экспертов;

3)  $W \geq 0,7$  – высокая степень согласованности группы экспертов.

Осуществляем последовательный расчет коэффициента конкордации Кендалла, исключая при этом каждый раз только по одному эксперту из рассмотрения.

Необходимо осуществить перебор всех экспертов, входящих в состав экспертной группы.

### **3. Формирование вектора значений коэффициентов конкордации Кендалла**

$$W = (W_1 \ W_2 \ \dots \ W_j), \text{ где } 0 \leq W_j \leq 1 \quad (2.4)$$

### **4. Выбор минимального значения коэффициента конкордации Кендалла из всего множества полученных**

$$W_{\min} = \min_j W \quad (2.5)$$

**5. Исключение вектор столбца с минимальным значением коэффициента конкордации Кендалла ( $W_{\min}$ ) из рассмотрения и формирование матрицы оценок экспертов меньшего порядка ( $A^*$ ).**

### **6. Формирование основной коалиции экспертов.**

$$W \geq 0,7 \quad (2.6)$$

Алгоритм по формированию основной экспертной коалиции представлен на рисунке 2.1.



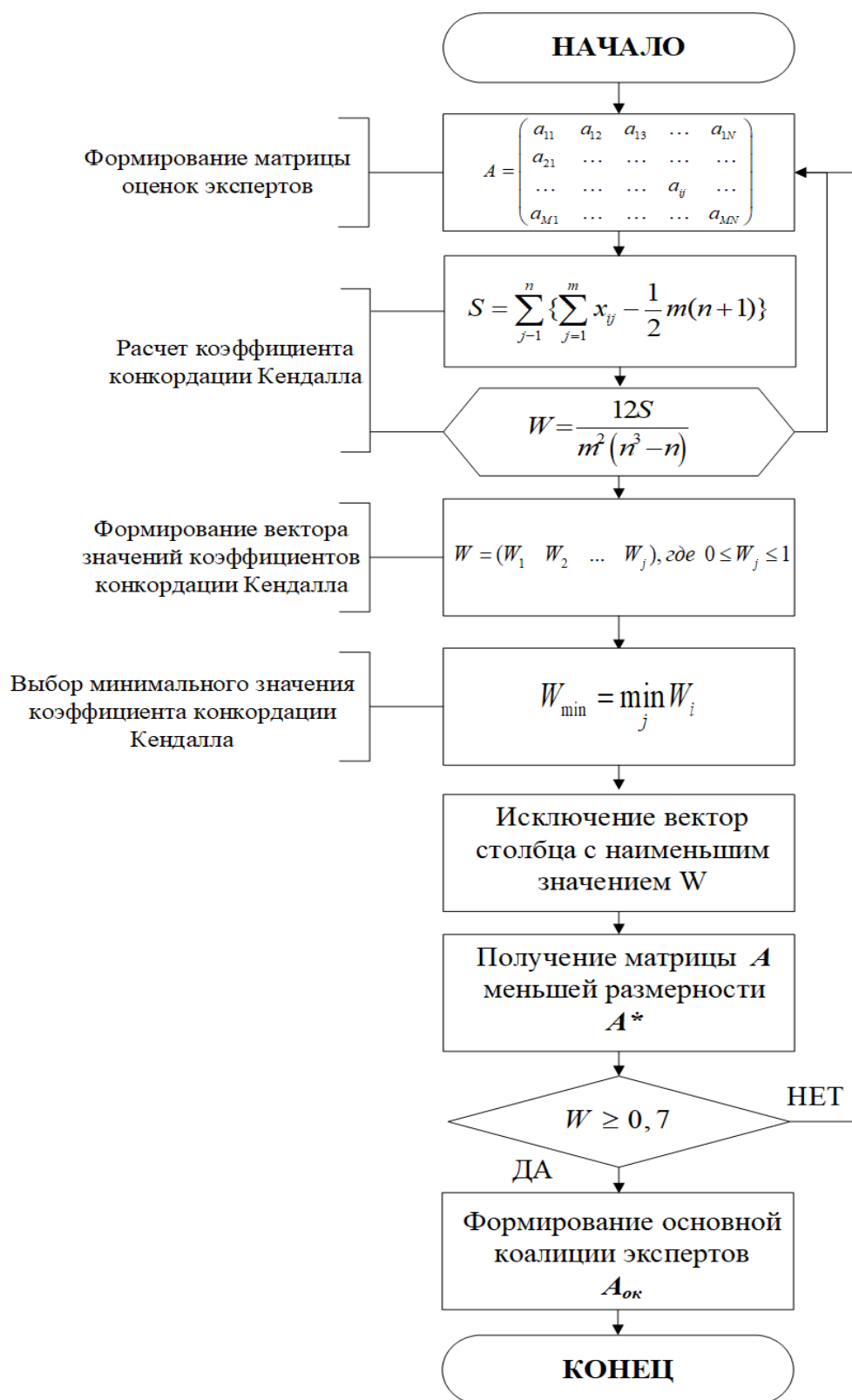


Рисунок 2.1 – Алгоритм по формированию основной экспертной коалиции с использованием полного перебора

### **3. РАСШИРЕННЫЙ МЕТОД ГЕНЕРИРОВАНИЯ ВСЕХ ВОЗМОЖНЫХ КОМБИНАЦИЙ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ КОАЛИЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА КОНКОРДАЦИИ КЕНДЕЛЛА**

Современные технологические и научные задачи становятся все более сложными и многогранными, требуя участия высококвалифицированных специалистов различных предметных областей.

Однако объединение позиций данных специалистов может проходить достаточно сложно, так как они могут иметь различные точки зрения, подходы и методологии работы. В таких случаях формирование представительной экспертной коалиции становится важным шагом для обеспечения наилучшего результата и достижения поставленных целей.

Одним из подходов к формированию представительной коалиции является метод полного перебора всех возможных комбинаций экспертов. Он основывается на идее генерирования всех возможных комбинаций из всего многообразия мнений высококвалифицированных специалистов и выбора наилучшей комбинации на основе заранее определенных метрик, в данном случае коэффициента конкордации Кенделла.

Процесс формирования представительной экспертной коалиции методом полного перебора с использованием коэффициента конкордации Кенделла состоит из следующей последовательности.

1. Проведение опроса высококвалифицированных специалистов.
2. Ввод матрицы оценок экспертов.
3. Генерирование всех возможных вариаций из всего многообразия мнений экспертов.
4. Расчет коэффициента конкордации Кенделла для каждой сформированной комбинации.
5. Выбор представительной экспертной коалиции с использованием коэффициента конкордации Кенделла при соблюдении следующего условия:  $W_i \geq 0,7$ ; при  $n \rightarrow \max$ .

Где:

$W_i$  – значение коэффициента конкордации Кенделла для каждой сгенерированной комбинации высококвалифицированных специалистов;

$n$  – количество экспертов в каждой сгенерированной комбинации высококвалифицированных специалистов.

Структурная схема расширенного метода генерирования всех возможных комбинаций высококвалифицированных специалистов для формирования представительной экспертной коалиции с использованием коэффициента конкордации Кенделла представлена на рисунке 3.1.

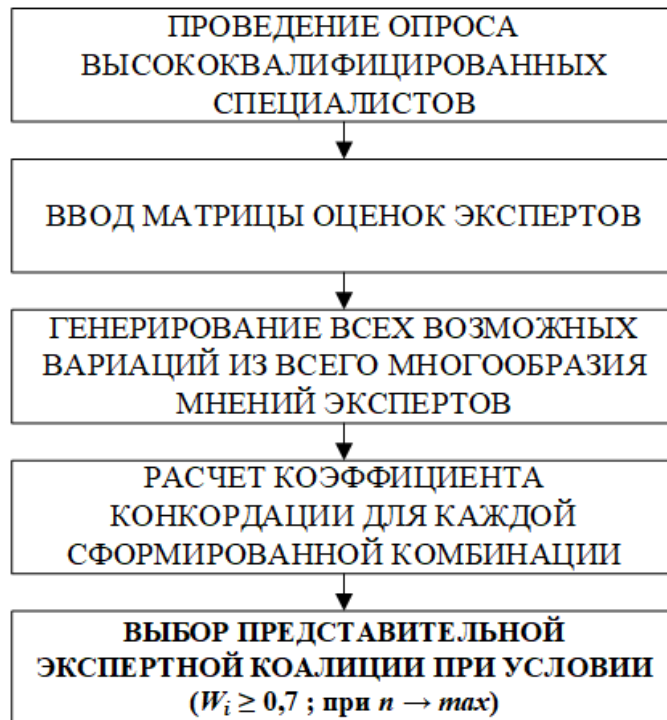


Рисунок 3.1 – Структурная схема расширенного метода генерирования всех возможных комбинаций высококвалифицированных специалистов

Метод полного перебора комбинаций с использованием коэффициента конкордации Кенделла позволяет сгенерировать все возможные вариации экспертов для формирования представительной экспертной коалиции, после чего для каждой комбинации рассчитывается коэффициент конкордации Кенделла, который позволяет оценить степень согласованности между экспертами в сформированной комбинации. На основе данных коэффициентов возможен выбор наиболее согласованной коалиции, которая будет представительной для дальнейшего исследования.

Формирование представительной позиции является важным этапом при принятии сложных решений, особенно в условиях неопределенности и разногласии мнений экспертов.

#### 4. СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ РАЗРАБОТАННЫХ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ

В ранних работах авторов [9, 10, 11] были предложены следующие численные методы по формированию представительных экспертных коалиций:

1. Численный метод предварительной экспертизы альтернатив [9].
2. Численный метод формирования представительных коалиций высококвалифицированных специалистов на основе последовательного исключения наименее согласованных экспертов с использованием коэффициента конкордации Кенделла [11].
3. Расширенный метод генерирования всех возможных комбинаций высококвалифицированных специалистов для формирования представительной экспертной коалиции с использованием коэффициента конкордации Кенделла [10].

Для оценки вычислительной сложности и эффективности разработанных методик будем использовать следующие критерии.

1.  $f(x)$ , где  $x$  – количество операций. Вычислительная сложность (количество этапов работы разработанного численного метода, количество этапов расчета до формирования представительной экспертной коалиции).
2.  $n \rightarrow \max$ . Количество высококвалифицированных специалистов, входящих в состав представительной экспертной коалиции.
3.  $W_i \geq 0,7$ . Значение коэффициента конкордации Кендалла сформированной представительной коалиции.
4.  $r_{cp} \rightarrow \max$ . Среднее значение коэффициента корреляции в сформированной представительной коалиции.

Данные критерии являются основой для постановки оптимизационной задачи.

Рассмотрим преимущества и недостатки разработанных авторами численных методов по формированию представительных экспертных коалиций из многочисленной экспертной группы.

##### ***Численный метод предварительной экспертизы альтернатив***

*Преимущества:*

1. Позволяет проанализировать альтернативы на однородность и принципиальную сходимость результатов, оценить корректность постановки задачи экспертизы, а также сопоставить результаты, полученные на этапе предварительной экспертизы с результатами, полученными в ходе использования классического метода анализа иерархий.

2. Учитывает как силу корреляционной связи между мнениями экспертов, так и их близость к среднему значению множества оценок.

3. Является быстрым и эффективным способом формирования представительной экспертной коалиции.

4. Учитывает важность экспертов на основе анализа их связей и взаимодействий в расширенной корреляционной матрице. Это позволяет выделить более представительных экспертов и включить их в экспертную коалицию.

*Недостатки:*

1. При формировании согласованных позиций высококвалифицированных специалистов из многочисленной экспертной группы возможны пропуски более представительных экспертных коалиций.

***Расширенный метод генерирования всех возможных комбинаций высококвалифицированных специалистов для формирования представительной экспертной коалиции с использованием коэффициента конкордации Кенделла***

*Преимущества:*

1. Путем генерирования всех возможных комбинаций экспертов позволяет охватить все возможные варианты формирования коалиций.

2. Анализ всех возможных сгенерированных вариаций сформированных коалиций позволяет выбрать наиболее эффективное решение.

*Недостатки:*

1. Высокая вычислительная сложность и трудоемкость.

***Численный метод формирования представительных коалиций высококвалифицированных специалистов на основе последовательного исключения наименее согласованных экспертов с использованием коэффициента конкордации Кенделла***

*Недостатки:*

1. Метод не всегда применим, если эксперты имеют сильно различные точки зрения или низкий уровень согласованности.

2. При формировании согласованных позиций высококвалифицированных специалистов из многочисленной экспертной группы возможны пропуски более представительных экспертных коалиций.

3. Большая вычислительная сложность и трудоемкость.

С целью сравнения эффективности и вычислительной сложности выше предложенных численных методов по формированию представительных экспертных коалиций из многочисленной экспертной группы проведем вычислительный эксперимент.

Верификация полученных результатов осуществлена на примере опросов сотрудников полиции эксплуатантов беспилотной авиационной техники (БПЛА) [13, 14, 15].

Данные экспертной группы из двадцати высококвалифицированных специалистов представлены в таблице 4.1

Таблица 4.1

Данные опроса экспертной группы

| Опрос сотрудников полиции эксплуатантов беспилотной авиационной техники (БПЛА)      | БАС тип 1 | БАС тип 2 | БАС тип 3 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Общее количество экспертов, принимавших участие в опросе                            | 20        | 20        | 20        |
| Значение коэффициента конкордации Кендалла для экспертной группы из 20 специалистов | 0,212     | 0,234     | 0,394     |

Результаты обработки опроса группы высококвалифицированных специалистов с использованием численных методов представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Результаты сформированных представительных коалиций экспертов с использованием численных методов

| Наименование численного метода                                                 | Численный метод предварительной экспертизы альтернатив                                                                                                                                                           |           |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Тип коалиции                                                                   | Представительная                                                                                                                                                                                                 |           |           |
| Опрос сотрудников полиции эксплуатантов беспилотной авиационной техники (БПЛА) | БАС тип 1                                                                                                                                                                                                        | БАС тип 2 | БАС тип 3 |
| Количество этапов работы разработанного численного метода                      | 3 этапа<br>1. Формирование матрицы оценок экспертов.<br>2. Составление вектор-столбца, элементы которого равны среднему значению оценки всеми экспертами.<br>3. Формирование расширенной корреляционной матрицы. |           |           |

|                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                              |             |                                        |             |                                                  |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|
| Количество этапов расчета до формирования представительной коалиции                                     | 3                                                                                                                                                                                                            |             |                                        |             |                                                  |             |
| Количество экспертов, входящих в состав представительной экспертной коалиции                            | 3                                                                                                                                                                                                            |             | 7                                      |             | 9                                                |             |
| Значение коэффициента конкордации Кендалла для сформированной представительной коалиции                 | 0,75                                                                                                                                                                                                         |             | 0,71                                   |             | 0,73                                             |             |
| Номера экспертов, входящих в состав представительной коалиции                                           | № 4, № 12, № 13                                                                                                                                                                                              |             | № 6, № 7, № 10, № 12, № 13, № 15, № 17 |             | № 6, № 7, № 8, № 9, № 11, № 12, № 13, № 17, № 19 |             |
| Среднее значение коэффициента корреляции в сформированной представительной коалиции                     | 0,842                                                                                                                                                                                                        |             | 0,847                                  |             | 0,844                                            |             |
| Ранг по оценкам всех экспертов ( $\bar{v}_i$ ) и среднее значение оцениваемых признаков ( $\bar{x}_i$ ) | $A_{тер}$                                                                                                                                                                                                    |             | $A_{крим}$                             |             | $A_{кин}$                                        |             |
|                                                                                                         | $\bar{v}_i$                                                                                                                                                                                                  | $\bar{x}_i$ | $\bar{v}_i$                            | $\bar{x}_i$ | $\bar{v}_i$                                      | $\bar{x}_i$ |
| $a_1$                                                                                                   | 8                                                                                                                                                                                                            | 6,67        | 6                                      | 6,41        | 10                                               | 9,66        |
| $a_2$                                                                                                   | 4                                                                                                                                                                                                            | 4,34        | 4                                      | 3,71        | 6                                                | 6,11        |
| $a_3$                                                                                                   | 2                                                                                                                                                                                                            | 2,66        | 3                                      | 3           | 4                                                | 4,22        |
| $a_4$                                                                                                   | 6                                                                                                                                                                                                            | 6           | 1                                      | 2,14        | 1                                                | 1,33        |
| $a_5$                                                                                                   | 5                                                                                                                                                                                                            | 5           | 2                                      | 2,42        | 2                                                | 2,22        |
| $a_6$                                                                                                   | 3                                                                                                                                                                                                            | 4,33        | 7                                      | 6,42        | 3                                                | 4           |
| $a_7$                                                                                                   | 7                                                                                                                                                                                                            | 6,66        | 9                                      | 8,14        | 9                                                | 8,22        |
| $a_8$                                                                                                   | 9                                                                                                                                                                                                            | 8,33        | 8                                      | 7,71        | 7                                                | 6,22        |
| $a_9$                                                                                                   | 1                                                                                                                                                                                                            | 1           | 10                                     | 9,42        | 5                                                | 5,77        |
| $a_{10}$                                                                                                | 10                                                                                                                                                                                                           | 10          | 5                                      | 5,57        | 8                                                | 7,22        |
| Наименование численного метода                                                                          | <b>Численный метод формирования коалиций высококвалифицированных специалистов на основе последовательного исключения наименее согласованных экспертов с использованием коэффициента конкордации Кендалла</b> |             |                                        |             |                                                  |             |
| Тип коалиции                                                                                            | Представительная                                                                                                                                                                                             |             |                                        |             |                                                  |             |
| Опрос сотрудников полиции эксплуатантов беспилотной авиационной техники (БПЛА)                          | БАС тип 1                                                                                                                                                                                                    |             | БАС тип 2                              |             | БАС тип 3                                        |             |

|                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |             |                                        |             |                                                  |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|
| Количество этапов работы разработанного численного метода                                               | 5<br>1. Формирование матрицы оценок экспертов.<br>2. Расчет коэффициента конкордации Кендалла.<br>3. Формирование вектора значений коэффициентов конкордации Кендалла.<br>4. Исключение эксперта с минимальным значением коэффициента конкордации Кендалла из всего множества полученных.<br>5. Повторение полученной процедуры до формирования представительной экспертной коалиции. |             |                                        |             |                                                  |             |
| Количество этапов расчета до формирования представительной коалиции                                     | 17 этапов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |             | 13 этапов                              |             | 10 этапов                                        |             |
| Количество экспертов, входящих в состав представительной экспертной коалиции                            | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |             | 7                                      |             | 9                                                |             |
| Значение коэффициента конкордации Кендалла для сформированной представительной коалиции                 | 0,75                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |             | 0,71                                   |             | 0,73                                             |             |
| Номера экспертов, входящих в состав представительной коалиции                                           | № 4, № 12, № 13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |             | № 6, № 7, № 10, № 12, № 13, № 15, № 17 |             | № 6, № 7, № 8, № 9, № 11, № 12, № 13, № 17, № 19 |             |
| Среднее значение коэффициента корреляции в сформированной представительной коалиции                     | 0,842                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |             | 0,847                                  |             | 0,844                                            |             |
| Ранг по оценкам всех экспертов ( $\bar{v}_i$ ) и среднее значение оцениваемых признаков ( $\bar{x}_i$ ) | $A_{тер}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |             | $A_{крим}$                             |             | $A_{кин}$                                        |             |
|                                                                                                         | $\bar{v}_i$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | $\bar{x}_i$ | $\bar{v}_i$                            | $\bar{x}_i$ | $\bar{v}_i$                                      | $\bar{x}_i$ |
| $a_1$                                                                                                   | 8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 6,67        | 6                                      | 6,41        | 10                                               | 9,66        |
| $a_2$                                                                                                   | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 4,34        | 4                                      | 3,71        | 6                                                | 6,11        |
| $a_3$                                                                                                   | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2,66        | 3                                      | 3           | 4                                                | 4,22        |
| $a_4$                                                                                                   | 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 6           | 1                                      | 2,14        | 1                                                | 1,33        |
| $a_5$                                                                                                   | 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 5           | 2                                      | 2,42        | 2                                                | 2,22        |
| $a_6$                                                                                                   | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 4,33        | 7                                      | 6,42        | 3                                                | 4           |
| $a_7$                                                                                                   | 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 6,66        | 9                                      | 8,14        | 9                                                | 8,22        |
| $a_8$                                                                                                   | 9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 8,33        | 8                                      | 7,71        | 7                                                | 6,22        |
| $a_9$                                                                                                   | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1           | 10                                     | 9,42        | 5                                                | 5,77        |
| $a_{10}$                                                                                                | 10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 10          | 5                                      | 5,57        | 8                                                | 7,22        |



| Наименование численного метода                                                                          | Расширенный метод генерирования всех возможных комбинаций высококвалифицированных специалистов для формирования представительной экспертной коалиции с использованием коэффициента конкордации Кендалла                                                                                                                                                                                                                                                     |             |                                        |             |                                                  |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|
| Тип коалиции                                                                                            | Представительная                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |                                        |             |                                                  |             |
| Опрос сотрудников полиции эксплуатантов беспилотной авиационной техники (БПЛА)                          | БАС тип 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |             | БАС тип 2                              |             | БАС тип 3                                        |             |
| Количество этапов работы разработанного численного метода                                               | 5<br>1. Формирование матрицы оценок экспертов.<br>2. Генерирование всех возможных комбинаций высококвалифицированных специалистов.<br>3. Расчет коэффициента конкордации Кендалла для сформированных коалиций экспертов.<br>4. Исключение экспертных групп с низкой и средней степенями согласованности.<br>5. Выбор представительной экспертной коалиции с максимальным количеством экспертов из всего множества сформированных высокосогласованных групп. |             |                                        |             |                                                  |             |
| Количество этапов расчета до формирования представительной коалиции                                     | 1140 комбинаций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |             | 77520 комбинаций                       |             | 167960 комбинаций                                |             |
| Количество экспертов, входящих в состав представительной экспертной коалиции                            | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |             | 7                                      |             | 9                                                |             |
| Значение коэффициента конкордации Кендалла для сформированной представительной коалиции                 | 0,76                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |             | 0,71                                   |             | 0,73                                             |             |
| Номера экспертов, входящих в состав представительной коалиции                                           | № 1, № 17, № 19                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |             | № 6, № 7, № 10, № 12, № 13, № 15, № 17 |             | № 6, № 7, № 8, № 9, № 11, № 12, № 13, № 17, № 19 |             |
| Среднее значение коэффициента корреляции в сформированной представительной коалиции                     | 0,876                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |             | 0,847                                  |             | 0,844                                            |             |
| Ранг по оценкам всех экспертов ( $\bar{v}_i$ ) и среднее значение оцениваемых признаков ( $\bar{x}_i$ ) | $A_{тер}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |             | $A_{krim}$                             |             | $A_{кии}$                                        |             |
|                                                                                                         | $\bar{v}_i$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $\bar{x}_i$ | $\bar{v}_i$                            | $\bar{x}_i$ | $\bar{v}_i$                                      | $\bar{x}_i$ |

|          |    |      |    |      |    |      |
|----------|----|------|----|------|----|------|
| $a_1$    | 1  | 2,66 | 6  | 6,41 | 10 | 9,66 |
| $a_2$    | 2  | 3    | 4  | 3,71 | 6  | 6,11 |
| $a_3$    | 4  | 3,66 | 3  | 3    | 4  | 4,22 |
| $a_4$    | 3  | 3,33 | 1  | 2,14 | 1  | 1,33 |
| $a_5$    | 7  | 6,66 | 2  | 2,42 | 2  | 2,22 |
| $a_6$    | 5  | 4    | 7  | 6,42 | 3  | 4    |
| $a_7$    | 6  | 4,66 | 9  | 8,14 | 9  | 8,22 |
| $a_8$    | 8  | 9    | 8  | 7,71 | 7  | 6,22 |
| $a_9$    | 9  | 9    | 10 | 9,42 | 5  | 5,77 |
| $a_{10}$ | 10 | 9    | 5  | 5,57 | 8  | 7,22 |

Исследование показало, что все рассмотренные методы имеют свои преимущества и недостатки. Некоторые методы демонстрируют более высокую точность, но при этом требуют больше времени для работы. Другие методы показывают более высокую эффективность, но при этом точность может быть ниже. Также было установлено, что эффективность методов зависит от специфики задачи и характеристик данных.

В результате были выявлены перспективы развития разработанных методик и их важность для повышения качества принимаемых решений в различных научно-технических областях.

Используя критерии, представленные выше, сравним разработанные численные методы по формированию представительных экспертных коалиций.

Сравнение разработанных методик на примере опроса сотрудников полиции эксплуатантов беспилотной авиационной техники (беспилотных летательных аппаратов) представлены в таблице 4.3.

При использовании метода полного перебора возможны вариации экспертов, при которых могут быть представительные коалиции, однако этот вычислительный эксперимент и другие [16, 17, 18] показали, что метод предварительной экспертизы может быть использован в качестве основы для формирования представительных экспертных коалиций. Точность данного метода соответствует требованиям, предъявляемым к проведению экспертных опросов в сфере общественного порядка и безопасности.

Таблица 4.3

Результаты сравнения разработанных численных методов по формированию представительных экспертных коалиций на примере опроса сотрудников полиции эксплуатантов беспилотной авиационной техники (БПЛА)

| Метод / критерий                                                                                        | численный метод предварительной экспертизы альтернатив | расширенный метод генерирования всех возможных комбинаций высококвалифицированных специалистов для формирования представительной экспертной коалиции с использованием коэффициента конкордации Кенделла | численный метод формирования представительных коалиций высококвалифицированных специалистов на основе последовательного исключения наименее согласованных экспертов с использованием коэффициента конкордации Кенделла |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Опрос сотрудников полиции эксплуатантов беспилотной авиационной техники (БПЛА)                          | <b>БАС тип 1</b>                                       |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                        |
| Количество этапов работы разработанного численного метода                                               | 3                                                      | 5                                                                                                                                                                                                       | 5                                                                                                                                                                                                                      |
| Количество этапов расчета до формирования представительной экспертной коалиции                          | 3                                                      | 1140 комбинаций                                                                                                                                                                                         | 17                                                                                                                                                                                                                     |
| Количество высококвалифицированных специалистов, входящих в состав представительной экспертной коалиции | 3                                                      | 3                                                                                                                                                                                                       | 3                                                                                                                                                                                                                      |
| Значение коэффициента конкордации Кендалла сформированной представительной коалиции                     | 0,75                                                   | 0,76                                                                                                                                                                                                    | 0,75                                                                                                                                                                                                                   |
| Среднее значение коэффициента корреляции в сформированной представительной коалиции                     | 0,842                                                  | 0,876                                                                                                                                                                                                   | 0,842                                                                                                                                                                                                                  |

| <b>Метод / критерий</b>                                                                                 | численный метод предварительной экспертизы альтернатив | расширенный метод генерирования всех возможных комбинаций высококвалифицированных специалистов для формирования представительной экспертной коалиции с использованием коэффициента конкордации Кенделла | численный метод формирования представительных коалиций высококвалифицированных специалистов на основе последовательного исключения наименее согласованных экспертов с использованием коэффициента конкордации Кенделла |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Опрос сотрудников полиции эксплуатантов беспилотной авиационной техники (БПЛА)                          | <b>БАС тип 2</b>                                       |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                        |
| Количество этапов работы разработанного численного метода                                               | 3                                                      | 5                                                                                                                                                                                                       | 5                                                                                                                                                                                                                      |
| Количество этапов расчета до формирования представительной экспертной коалиции                          | 3                                                      | 77520 комбинаций                                                                                                                                                                                        | 13 этапов                                                                                                                                                                                                              |
| Количество высококвалифицированных специалистов, входящих в состав представительной экспертной коалиции | 7                                                      | 7                                                                                                                                                                                                       | 7                                                                                                                                                                                                                      |
| Значение коэффициента конкордации Кендалла сформированной представительной коалиции                     | 0,71                                                   | 0,71                                                                                                                                                                                                    | 0,71                                                                                                                                                                                                                   |
| Среднее значение коэффициента корреляции в сформированной представительной коалиции                     | 0,847                                                  | 0,847                                                                                                                                                                                                   | 0,847                                                                                                                                                                                                                  |

| <b>Метод / критерий</b>                                                                                     | численный метод предварительной экспертизы альтернатив | расширенный метод генерирования всех возможных комбинаций высококвалифицированных специалистов для формирования представительной экспертной коалиции с использованием коэффициента конкордации Кенделла | численный метод формирования представительных коалиций высококвалифицированных специалистов на основе последовательного исключения наименее согласованных экспертов с использованием коэффициента конкордации Кенделла |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Опрос сотрудников полиции эксплуатантов беспилотной авиационной техники (беспилотных летательных аппаратов) | <b>БАС тип 3</b>                                       |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                        |
| Количество этапов работы разработанного численного метода                                                   | 3                                                      | 5                                                                                                                                                                                                       | 5                                                                                                                                                                                                                      |
| Количество этапов расчета до формирования представительной экспертной коалиции                              | 3                                                      | 167960 комбинаций                                                                                                                                                                                       | 10 этапов                                                                                                                                                                                                              |
| Количество высококвалифицированных специалистов, входящих в состав представительной экспертной коалиции     | 9                                                      | 9                                                                                                                                                                                                       | 9                                                                                                                                                                                                                      |
| Значение коэффициента конкордации Кендалла сформированной представительной коалиции                         | 0,73                                                   | 0,73                                                                                                                                                                                                    | 0,73                                                                                                                                                                                                                   |
| Среднее значение коэффициента корреляции в сформированной представительной коалиции                         | 0,844                                                  | 0,844                                                                                                                                                                                                   | 0,844                                                                                                                                                                                                                  |

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные методы демонстрируют высокую эффективность, лишены значительных погрешностей при проведении вычислений. Позволяют оптимизировать процесс выбора экспертов, учитывая их профессиональный опыт и знания, а также минимизировать вероятность ошибок и субъективность в принятии решений.

Численный метод предварительной экспертизы альтернатив показал высокую эффективность при обработке мнений большого количества высококвалифицированных специалистов ( $n > 20$ ). Позволяет сформировать с низкой вычислительной сложностью представительную и несколько альтернативных коалиций экспертов. Недостатком является лишь пропуск более представительных экспертных групп.

Как показали вычислительные эксперименты, расширенный метод генерирования всех возможных комбинаций высококвалифицированных специалистов обладает наибольшей вычислительной сложностью, которая не позволяет осуществлять обработку больших массивов данных на слабых ЭВМ.

В целом, для решения задачи формирования представительных экспертных коалиций необходимо осуществлять выбор численных методов в зависимости от специфики исследования и требуемых результатов.

Данные результаты могут быть использованы для выбора наиболее подходящего метода в конкретной ситуации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников А. В. Кластерно-иерархические методы экспертизы технических и экономических объектов : дисс. ... докт. техн. наук : 05.13.18/ Мельников Александр Владимирович. – Воронеж, 2014. – 354 с.
2. Бугаев Ю. В. Экстраполяция экспертных оценок в оптимизации технологических систем / Ю. В. Бугаев // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2003. – № 3. – С. 90–96.
3. Денисов А. В. Разработка методов и алгоритмов автоматизированной системы экспертного оценивания слабо формализуемых объектов транспорта [Текст] : дис.....канд. техн. наук : 05.13.06 : защищена 20.04.2009 : утв. 25.10.2009 / Денисов Андрей Витальевич. – Ростов-на-Дону, 2009. – 188 с.
4. Бурков Е. А. Методы и алгоритмы анализа и агрегирования групповых экспертных оценок [Текст] : дис.....канд. техн. наук : 05.13.01 : защищена 14.11.2011 : утв. 25.04.2012 / Бурков Евгений Александрович. – Санкт-Петербург, 2011. – 189 с.
5. Волковицкий К. Е. Исследование пространства ранговых оценок и разработка пакета прикладных программ классификационной обработки данных экспертного оценивания [Текст] : дис.....канд. физ-мат. Наук : 01.01.09 : защищена 15.07.1984 : утв. 25.03.1985 / Волковицкий Кирилл Евгеньевич. – Москва, 1984. – 154 с.
6. Ахлюстин С. Б. Математическое моделирование оценки защищенности объектов с эргатическими интегрированными системами безопасности : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 : защищена 12.03.2020 / Ахлюстин Сергей Борисович. – Воронеж, 2019. – 181 с.
7. Бабкин С. А. Анализ методов определения количественного и качественного состава экспертной группы / С. А. Бабкин, В. В. Конобеевских, А. С. Мальцев // Инновационные технологии и экономика
8. Батищев Д. И. Многокритериальный выбор с учетом индивидуальных предпочтений / Д. И. Батищев, Д. Е. Шапошников. – Нижний Новгород : ИПФ РАН, 1994.
9. Жилин Р. А. Численный метод предварительной экспертизы альтернатив нарушителей охраны объектов общекриминальной направленности / Р. А. Жилин, А. В. Мельников, И. В. Щербакова // Вестник Воронежского института МВД России. – 2019. – № 3. – С. 46–54.
10. Жилин Р. А. Расширенный метод генерирования всех возможных комбинаций высококвалифицированных специалистов для формирования представительной экспертной коалиции с использованием коэффициента

конкордации Кендалла / Р. А. Жилин, А. В. Мельников, В. И. Сумин // Вестник Воронежского института ФСИН России. – 2023. – № 3.

11. Жилин Р. А. Численный метод формирования коалиций высококвалифицированных специалистов на основе последовательного исключения наименее согласованных экспертов с использованием коэффициента конкордации Кендалла / Р. А. Жилин, А. В. Мельников, С. А. Бабичев, М. А. Алексюк // Вестник Воронежского института МВД России. – 2023. – № 2.

12. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – Москва : Радио и Связь, 1993. – 278 с.

13. Жилин Р. А. Особенности тактических действий сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации по противодействию авиационной технике в особых условиях (на примере беспилотных воздушных судов) / Р. А. Жилин, Е. Н. Барков // Охрана, безопасность, связь. – 2024. – № 9-3. – С. 226–230.

14. Жилин Р. А. Функции экипажа, эксплуатирующего авиационную технику в особых условиях несения службы (на примере беспилотных воздушных судов и беспилотных авиационных систем) / Р. А. Жилин, Д. В. Бутурлакин // Охрана, безопасность, связь. – 2024. – № 9-3. – С. 231–233.

15. Жилин Р. А. Особенности применения беспилотных воздушных судов в деятельности органов внутренних дел Российской Федерации / Р. А. Жилин, А. А. Петренко // Охрана, безопасность, связь. – 2024. – № 9-3. – С. 243–245.

16. Жилин Р. А. Особенности использования программы для формирования высокосогласованных групп экспертов на основе численного метода предварительной экспертизы / Р. А. Жилин // Вестник Воронежского института ФСИН России. – 2022. – № 1. – С. 40–45.

17. Мельников А. В. Метод формирования коалиций экспертов в рамках решения задачи экспертизы альтернатив со слабоформализуемыми критериями / Мельников А. В., Щербакова И. В., Жилин Р. А. // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики // Сборник трудов Международной научной конференции. ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет». – 2020. – С. 968–975.

18. Жилин Р. А. Обоснование критерия корректности исходных данных при моделировании оценки эффективности слабоструктурированных альтернатив систем безопасности объектов органов внутренних дел / Р. А. Жилин, А. В. Мельников, Ю. Н. Гарусов // Вестник Воронежского института МВД России. – 2022. – № 2. – С. 28–36.



Учебное издание

**Роман Андреевич Жилин,**  
*кандидат технических наук;*  
**Александр Владимирович Мельников,**  
*доктор технических наук, доцент;*  
**Сергей Борисович Ахлюстин,**  
*кандидат технических наук*

**ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ  
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
В СФЕРЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ  
(НА ПРИМЕРЕ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ)**

*Учебно-методическое пособие*

В авторской редакции.  
Компьютерный набор Р. А. Жилина  
Объем 0,73 МБ.  
Воронежский институт МВД России  
394065, Воронеж, просп. Патриотов, 53