

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Научная статья

УДК 623.623; 355.233

DOI: [10.34759/trd-2021-120-17](https://doi.org/10.34759/trd-2021-120-17)

Методика обоснования дополнительных требований к подготовке специалистов радиоэлектронной борьбы

Сергей Викторович Пешевец

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж).
Россия

dearaist@mail.ru

Аннотация. В статье обоснована целесообразность повышения качества подготовки специалистов в области радиоэлектронной борьбы. Разработана методика обоснования дополнительных требований к подготовке специалистов радиоэлектронной борьбы. Обосновано использование математических методов и моделей при обработке экспертной информации в интересах ранжирования требований к подготовке специалистов. Сформулированы дополнительные требования к подготовке специалистов радиоэлектронной борьбы.

Ключевые слова: подготовка специалистов, радиоэлектронная борьба, аэромобильная роботизированная система, беспилотный летательный аппарат, экспертное оценивание, модель Раша

Для цитирования: Пешевец С.В. Методика обоснования дополнительных требований к подготовке специалистов радиоэлектронной борьбы // Труды МАИ. 2021. № 120. DOI: [10.34759/trd-2021-120-17](https://doi.org/10.34759/trd-2021-120-17)

INFORMATICS, COMPUTATION ENGINEERING AND MANAGEMENT

Original article

Methodology for substantiating additional requirements for the training of electronic warfare specialists

Sergey V. Peshevets

Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh), Russia

dearaist@mail.ru

Abstract: The article substantiates the expediency of improving the quality of training of specialists in the field of electronic warfare. A methodology has been developed to substantiate additional requirements for the training of electronic warfare specialists. The use of mathematical methods and models in the processing of expert information is substantiated in the interests of ranking the requirements for the training of specialists. Additional requirements for the training of specialists in electronic warfare have been formulated. It is shown that the most important requirements for specialists in electronic warfare are the ability to make decisions, organize and implement the use of forces and means of electronic warfare units against aerospace control systems. According to the results of the study, using the Rush model for evaluating latent variables and a model that

takes into account the competence of experts, it was found that the most important requirements for the training of electronic warfare specialists to perform the tasks of disorganizing the control of airmobile robotic systems of foreign armies are such as: be able to make decisions on the use of forces and technical means of electronic warfare units, organize and implement the use of forces and technical means of electronic warfare units; be able to make a decision on the use of forces and technical means of electronic warfare units, organize their use of electronic warfare units and control them in the course of fulfilling the tasks of electronic reconnaissance and suppression in conditions of radio-electronic interference created by modern electronic means of leading foreign countries; know the features of the use of modern domestic samples of electronic warfare technology.

Keywords: training of specialists, electronic warfare, airborne robotic system, unmanned aerial vehicle, expert assessment, Rush's model

For citation: Peshevets S.V. Methodology for substantiating additional requirements for the training of electronic warfare specialists. *Trudy MAI*, 2021, no. 120. DOI: [10.34759/trd-2021-120-17](https://doi.org/10.34759/trd-2021-120-17)

Введение

В армиях ведущих зарубежных стран предусматривается использовать такие современные и перспективные высокотехнологичные комплексы и средства, как аэромобильные роботизированные системы и входящие в их состав беспилотные летательные аппараты (БПЛА) различного назначения (с учетом опыта их эффективного применения в военных конфликтах), оснащенные новейшими

бортовыми радиолокационными станциями, техническими средствами связи, навигации, разведки и управления оружием [1–5]. Это обуславливает появление новых задач для специалистов радиоэлектронной борьбы (РЭБ) [6], одной из которых является дезорганизация управления аэромобильными роботизированными системами иностранных армий (АРС ИА).

В связи с возникновением новой задачи для специалистов РЭБ – дезорганизации управления АРС ИА, выявлена необходимость обоснования дополнительных требований к подготовке таких специалистов. Для этих целей целесообразно использовать методы экспертного оценивания [7, 8]. Выбор метода экспертного оценивания был сделан потому, что с помощью привлечения профессионалов в области РЭБ оценивание важности требований к профессиональной подготовке является объективным, а предлагаемые методы и модели позволяют это рассчитать, обосновать, наглядно отобразить и доказать состоятельность и адекватность проведенного исследования. Поэтому задача обоснования дополнительных требований к подготовке таких специалистов может включать несколько следующих подзадач:

1. Сбор данных и выбор методик проведения экспертного оценивания.
2. Получение оценок важности требований с помощью модели Раша оценки латентных переменных.
3. Обработка результатов экспертного оценивания по модели, учитывающей компетентность экспертов.

4. Проверка согласованности экспертного мнения на основе оценки коэффициента конкордации.

Подготовку к проведению выработки новых, дополнительных требований к специалистам РЭБ начнём со сбора исходных данных и методик проведения экспертного оценивания.

1. Сбор данных и выбор методик проведения экспертного оценивания

Экспертное оценивание степени важности требований к профессиональной подготовке (в том числе, к технической подготовке) специалистов РЭБ (далее – требования) на примере выполнения задач дезорганизации управления АРС ИА было проведено с привлечением 30 экспертов – релевантных категорий специалистов в области РЭБ и респондентов, имеющих опыт подготовки специалистов в данной сфере. Эксперт выставлял баллы по степени значимости требования по шкале от 0 до 5 в порядке роста значимости. Для проведения расчетов каждому требованию (дидактической единице) присвоен идентификационный номер.

Так, в разделе 1 «**Знать**»:

1.1 Типы БпЛА, состав АРС ИА, их основные тактико-технические характеристики и решаемые ими задачи.

1.2 Способы применения БпЛА, АРС ИА, их возможности, вооружение и системы наведения оружия.

1.3 Система управления БпЛА, АРС ИА.

И другие пункты раздела 1 «Знать», всего 11 пунктов.

В разделе 2. «Уметь»:

2.1 Производить оценку радиоэлектронной обстановки в группировке БпЛА, АРС ИА, выявлять уязвимые звенья, объекты РЭБ и цели радиопомех.

2.2 Производить оценку системы управления, бортового радиоэлектронного оборудования БпЛА, АРС ИА.

И другие пункты раздела 2 «Уметь», всего 5 пунктов.

В разделе 3 «Владеть»:

3.1 Методикой оценки радиоэлектронной обстановки в группировке БпЛА, АРС ИА.

3.2 Методикой оценки системы управления, бортового радиоэлектронного оборудования БпЛА, АРС ИА и выявления в них объектов РЭБ.

В разделе 4 «Быть способным»:

4.1 Организовать применение сил и технических средств подразделений РЭБ.

4.2 Принимать решение на применение сил и технических средств подразделений РЭБ.

4.3 Осуществлять применение сил и технических средств подразделений РЭБ.

4.4 Выявлять и оценивать объекты РЭБ и цели радиопомех в системе управления, бортового радиоэлектронного оборудования БпЛА, АРС ИА.

Для обработки экспертной информации предлагается использовать следующие подходы:

1. Реализовать модель оценки интегральных показателей важности дидактических единиц, основанную на методе Раша оценки латентных переменных

[9, 10]. Указанный выбор обусловлен тем, что данная модель позволяет получать итоговые оценки требований независимо от набора оцениваемых объектов и количества экспертов, участвующих в оценивании, причем оценки производятся по линейной шкале, которую легко преобразовать в любую другую шкалу.

2. Применить модель обработки результатов группового экспертного оценивания, которая учитывает компетентность экспертов и рассчитывает вклад в интегральный показатель требований пропорционально компетентности эксперта, что позволит получать более объективные оценки требований.

3. Оценить степень согласованности экспертов с помощью коэффициента конкордации для того, чтобы быть уверенным в том, что эксперты осуществляют оценивание требований согласованно, то есть не противоречат друг другу по всей группе экспертов. Это особенно актуально при большом количестве экспертов [11].

2. Получение оценок важности требований с помощью модели Раша оценки латентных переменных

Основное преимущество оценивания важности требований по модели, основанной на теории латентных переменных (МЛП), состоит в том, что модель учитывает качество оценки каждым экспертом в плане его требовательности или лояльности. То есть, если эксперт слишком строгий и оценивает требования слишком строго, то вклад в итоговую оценку для этого эксперта будет больше, чем для нелояльных экспертов. Причем признак лояльности-строгости оценивается на основании результатов экспертного оценивания. Доказано [12], что такие оценки

будут независимыми от набора экспертов и от множества оцениваемых требований, а также будут измеряться по линейной шкале.

Перейдем к математической постановке задачи. Каждому независимому эксперту необходимо оценить важность требований согласно предварительно сформированной анкете. Исходные данные: обозначим $n=22$ требований к подготовке специалистов РЭБ как A_1, A_2, \dots, A_{22} , а экспертов, проводящих их оценку как $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_{30}$. Введем U_{ij} – оценку i -го требования j -м экспертом, $i=1,2,\dots,22$; $j=1,2,\dots,30$. Эти оценки, согласно модели Раша [8], должны измеряться по единичной шкале. Ограничения: ввиду того, что используется оценочная шкала от 0 до 5, данные оценки нужно нормализовать на единичную шкалу следующим образом:

$$u_{ij} = \frac{U_{ij}}{5}. \quad (1)$$

Рассмотрим два подхода к получению интегральной оценки важности.

Латентными переменными в математическом моделировании называются такие показатели, которые в явном виде не могут быть измерены, но могут быть оценены с помощью математических моделей, на основании измерения наблюдаемых переменных, которые называются индикаторными переменными [11]. Примерами латентных переменных служат такие показатели как качество, привлекательность, уровень подготовки и многие другие, в том числе понятие важности требований в программе подготовки специалистов РЭБ.

В данной работе предлагается использовать модель Раша, основанную на методе наименьших квадратов [13, 14].

Введем латентные переменные:

θ_i – интегральный показатель важности требования A_i , который позволит служить его оценкой при распределении трудоемкости дидактической единицы, соответствующей этому требованию;

β_j – степень лояльности эксперта \mathcal{E}_j для всей группы оцениваемого требования: чем меньше данный показатель, тем более строгим является эксперт по отношению по всей группе требований и дидактических единиц.

Тогда, в соответствии с [10], вероятность того, что i -ое требование будет оценено выше j -м экспертом, чем его уровень лояльности, будет равна:

$$P_{ij} = \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}}. \quad (2)$$

Согласно модели Раша, основанной на методе наименьших квадратов, для нахождения латентных переменных θ_i и β_j нужно приблизить вероятность (2) к эмпирическим оценкам требований экспертами (1). В результате можно сформулировать оптимизационную задачу вида:

$$\sum_{i=1}^{22} \sum_{j=1}^{30} \left(u_{ij} - \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}} \right)^2 \rightarrow \min. \quad (3)$$

Для дальнейшего практического применения полученных оценок задачу нахождения оптимальных оценок (3) можно дополнить условием их

неотрицательности, что позволит исключить из обработки в последующих операциях отрицательные значения:

$$\theta_i \geq 0; \beta_j \geq 0; i = 1, 2, \dots, 22; j = 1, 2, \dots, 30. \quad (4)$$

Решение задачи нелинейной оптимизации (3) и (4) нужно проводить с использованием численных методов. Вычисления проводились в среде *MS Excel* с использованием надстройки «Поиск решений». Методика численного решения оптимизационной задачи описана в [13, 14].

В результате численного решения (3)–(4) были получены интегральные оценки требований, которые представлены в таблице 1. Также в таблице 1 приведены ранги требований с точки зрения убывания их важности. Для наглядности на рисунке 1 приведены гистограммы оценок требований по нормированной шкале.

Таблица 1 – Оценки важности требований, полученные по модели Раша

Требования	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11
Абсолютная оценка	0,029	1,906	1,607	0,209	0,156	1,136	1,415	0,431	2,206	0,520	0,336
Нормированная оценка	0,001	0,058	0,049	0,006	0,005	0,034	0,043	0,013	0,067	0,016	0,010
Ранг	22	8	9	20	21	14	11	18	7	17	19
Требования	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	4.1	4.2	4.3	4.4
Абсолютная оценка	0,787	0,621	2,806	2,513	2,354	1,290	1,197	3,373	3,718	3,006	1,491
Нормированная оценка	0,024	0,019	0,085	0,076	0,071	0,039	0,036	0,102	0,112	0,091	0,045
Ранг	15	16	4	5	6	12	13	2	1	3	10

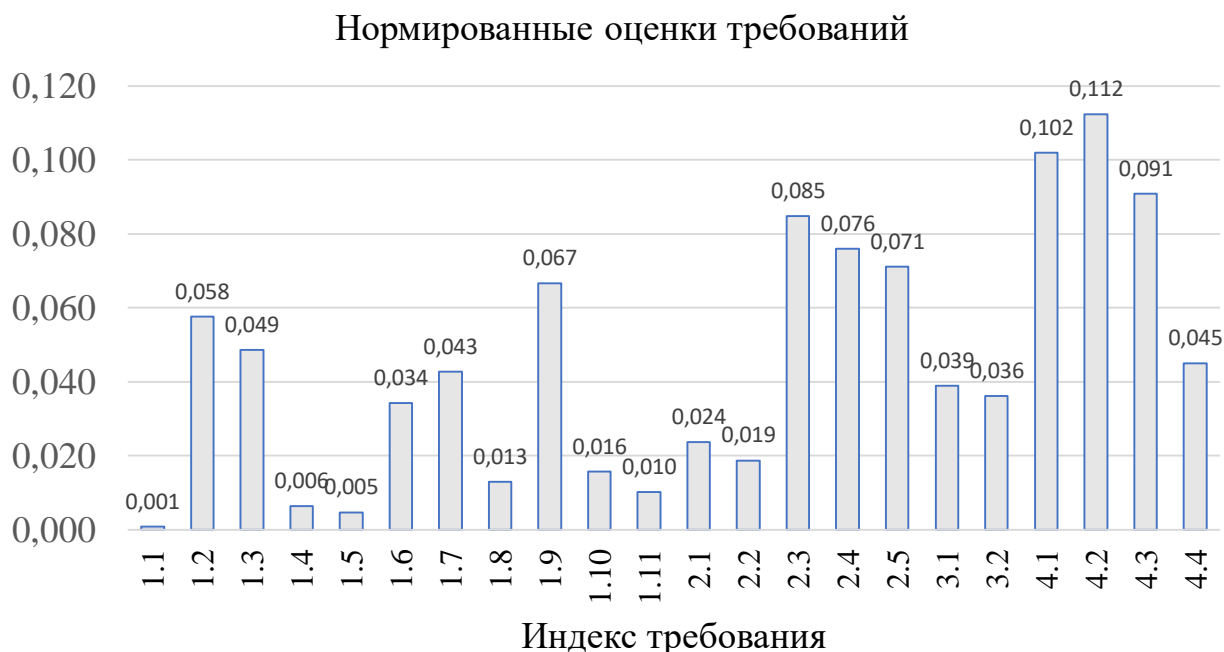


Рисунок 1. Оценки требований, полученные по модели Раша

В таблице 1 представлены абсолютные оценки важности требований, полученные по модели Раша, а также нормированные оценки. Как было ранее отмечено, модель Раша позволяет переводить оценки на любую линейную шкалу. Было проведено нормирование оценок так, чтобы их сумма равнялась единице.

Перейдем теперь к модели оценивания важностей требований по второй модели, учитывающей компетентность экспертов.

3. Обработка результатов экспертного оценивания по модели, учитывающей компетентность экспертов

Предлагаемая модель обработки экспертной информации позволяет учитывать компетентность экспертов [15, 16].

Модель получения итоговых оценок E_i важности требований группой экспертов основана на предположении, что компетентность каждого эксперта зависит от того, насколько его экспертная оценка будет совпадать с коллективной экспертной оценкой. В дальнейшем данную модель оценивания будем называть оцениванием, учитывающим компетентность экспертов (МКЭ).

Рассмотрим группу из 30 экспертов и 22 требований. Как и в модели МЛП, исходными данными задачи служат частные экспертные оценки важности требований x_{ij} , которые образуют матрицу экспертных оценок:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{130} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{22\ 1} & \dots & x_{22\ 30} \end{pmatrix}.$$

Далее применим итерационный подход уточнения итоговых оценок важностей требований. Полагая, что все эксперты на первой итерации одинаково компетентны, степень их относительной компетенции будет одинаковой и равна $\frac{1}{30}$. Исходя из этого, получаем средние оценки важности требований в первой итерации, которые равны среднеарифметическим оценкам:

$$Et_i^1 = \frac{1}{30} \sum_{j=1}^{30} x_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, 22, .$$

Эти показатели составляют вектор средних оценок важности требований $x^1 = (Et_1^1, Et_2^1, \dots, Et_{22}^1)$. На языке матричной алгебры этот вектор равен:

$$x^1 = X \cdot q^0,$$

где $q^0 = \left(\frac{1}{30}, \frac{1}{30}, \dots, \frac{1}{30} \right)$ – вектор показателей компетентности экспертов в начальном приближении.

С учетом рассчитанного вектора усредненных оценок компетентностей экспертов, можно получить весовые коэффициенты компетентностей, которые будут учитываться в итоговом экспертном оценивании важности требований на первом шаге итераций:

$$\bar{q}_j^1 = \sum_{i=1}^{30} x_{ij} \cdot x_i^1, \quad j=1, 2, \dots, 22. \quad (5)$$

Далее получаем вектор компетентностей $q^1 = (q_1^1, \dots, q_M^1)$ на первой итерации, нормированный так, чтобы сумма его компонентов равнялась единице:

$$q_j^1 = \frac{\bar{q}_j^1}{\sum_{j=1}^{30} \bar{q}_j^1}, \quad j=1, \dots, 22. \quad (6)$$

С точки зрения матричной алгебры и учитывая формулу (5), вектор q^1 получается в результате матричного умножения вектора x^1 на матрицу исходных данных X и дальнейшего нормирования по формуле (6).

Переноса вычисления на последующие итерации, в общем виде итерационный процесс получения оценок важности требований, а также компетентности экспертов можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} x^t = X \cdot q^{t-1}; \\ q^t = \frac{1}{\lambda^t} x^t \cdot X, \quad t = 1, 2, \dots, \end{cases} \quad (7)$$

где t – номер итерации, $\lambda^t = \sum_{i=1}^{30} \sum_{j=1}^{22} x_i^t \cdot x_{ij}$.

Переходя к матричной алгебре, предложенную итерационную модель оценивания важности требований и компетентности экспертов с учетом того, что $x^t \cdot X = X' \cdot x^t$, где штрихом обозначена операция транспонирования, а также учитывая (7), запишем в виде матричного соотношения:

$$\begin{cases} x^t = \frac{1}{\lambda^t} X \cdot X' \cdot x^{t-1}, \\ q^t = \frac{1}{\lambda^t} X' \cdot X \cdot q^{t-1}. \end{cases} \quad (8)$$

На конечном этапе определяются итоговые оценки Et_i важности требований на основании экспертного оценивания группой экспертов, которые являются компонентами вектора x^t .

Итерационный процесс уточнения итогового оценивания важности требований и компетентности экспертов (7), что эквивалентно (8), фактически представляет собой процесс определения собственного вектора матриц $X \cdot X'$ и $X' \cdot X$. В случае неразложимости данных неотрицательных матриц данный процесс является сходящимся к конечному значению. Проведенные вычислительные эксперименты показали, что для достижения точности, определенной на уровне 0,01 % между итерациями, часто достаточно двух или максимум трех шагов итерационного процесса. В результатах расчетов, представленных ниже, для более высокой точности результатов были использованы три итерации.

Результаты расчета оценок важностей требований по данной модели приведены в таблице 2, там же приведены нормированные на единичную сумму оценки, которые преобразовывались по тому же принципу, что и для МЛП. В таблице 3 приведены оценки компетентности экспертов. Гистограммы нормированных оценок требований, полученные по МКЭ, изображены на рисунке 2.

Таблица 2 – Оценки важности требований, полученные по модели МКЭ

Требования	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11
Абсолютная оценка	1,437	3,452	3,171	1,609	1,554	2,609	2,971	1,826	3,690	1,919	1,731
Нормированная оценка	0,022	0,053	0,049	0,025	0,024	0,040	0,046	0,028	0,057	0,030	0,027
Ранг	22	8	9	20	21	14	11	18	7	17	19
Требования	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	4.1	4.2	4.3	4.4
Абсолютная оценка	2,209	2,033	4,324	4,048	3,911	2,829	2,725	4,541	4,709	4,451	3,070
Нормированная оценка	0,034	0,031	0,067	0,062	0,060	0,044	0,042	0,070	0,073	0,069	0,047
Ранг	15	16	4	5	6	12	13	2	1	3	10

Таблица 3 – Оценки компетентности экспертов

Номер эксперта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Оценка компетентности	3,072	3,437	3,658	3,690	4,180	3,590	3,427	3,158	2,737	2,137
Номер	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

эксперта										
Оценка компетентнос ти	2,795	3,205	3,377	3,627	4,237	3,690	3,437	2,974	2,749	2,212
Номер эксперта	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Оценка компетентнос ти	2,775	3,080	3,300	2,957	2,406	2,886	3,181	3,423	3,594	4,118

Нормированные оценки требований

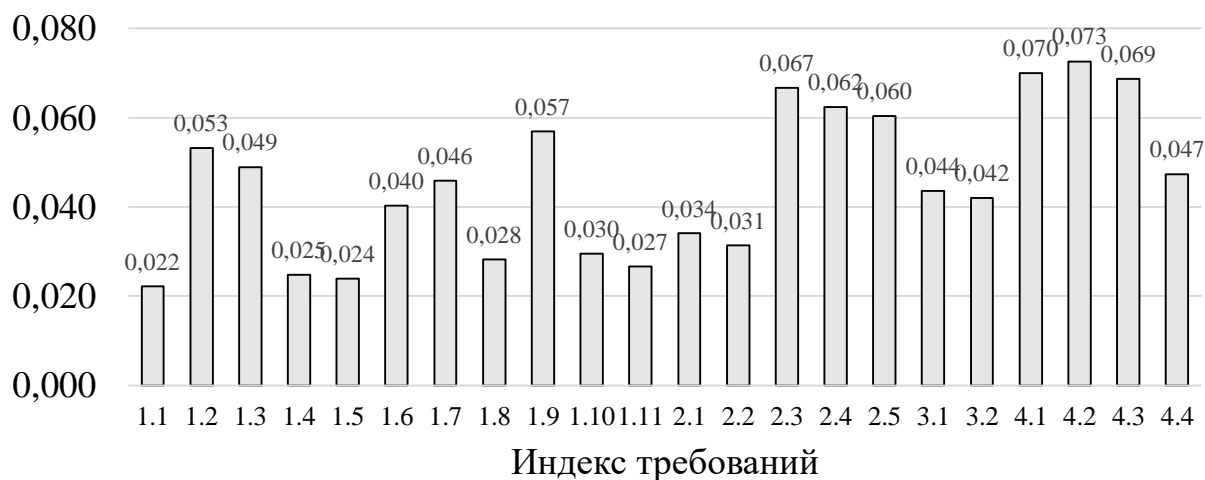


Рисунок 2. Оценки требований, полученные по модели, учитывающей компетентность экспертов

Целесообразно провести сравнение оценок важности требований, рассчитанных с помощью МЛП и МКЭ, на предмет их сопоставимости друг с другом. Результат такого сравнения приведен на рисунке 3.



Рисунок 3. Оценки важности требований, полученные по методам МЛП и МКЭ

Как видно из рисунка 3, полученные оценки требований хорошо согласуются друг с другом. Коэффициент корреляции Пирсона [8] оказался равным 0,992. Кроме того, ранжирование требований по важности, как видно из таблиц 3 и 6, полностью совпадает. Это подтверждает то, что оба метода обработки экспертной информации дают адекватные оценки и дополняют друг друга.

В заключение для окончательного доказательства адекватности экспертного мнения о важности требований проверим согласованность действия экспертов.

4. Проверка согласованности экспертного мнения на основе оценки коэффициента конкордации

Для применения группового экспертного оценивания необходимо быть уверенным в том, что эксперты осуществляют оценивание требований согласованно, то есть не противоречат друг другу по всей группе экспертов. Это особенно

актуально при большом количестве экспертов. В нашей задаче оценки важности требований группу с количеством экспертов, равном 30, явно можно считать большой.

Принято считать, что мерой согласованности экспертов является коэффициент конкордации или коэффициент согласия [10], который основан на ранжировке объектов оценивания в порядковой шкале согласованности оценок экспертов в виде ранжирования их мнений.

Рассмотрим матрицу результатов ранжировки 22 объектов группой из 30 экспертов: $\|r_{ij}\|$ ($j=1,2,\dots,30, i=1,2,\dots,22$), где r_{ij} – ранг, присваиваемый j -м экспертом i -ому требованию. Если ранги для нескольких требований одинаковые, то в качестве ранга берется их среднеарифметическое. Составим суммы рангов по каждой строке. В результате получим вектор с компонентами

$$r_i = \sum_{j=1}^{30} r_{ij}, \quad (i=1,2,\dots,22).$$

Будем рассматривать величины r_i как реализации случайной величины и найдем оценку дисперсии. Как известно, оптимальная по критерию минимума среднего квадрата ошибки оценка дисперсии определяется формулой

$$D = \frac{1}{21} \sum_{i=1}^{22} (r_i - \bar{r})^2,$$

где \bar{r} – оценка математического ожидания, равная:

$$\bar{r} = \frac{1}{22} \sum_{i=1}^{22} r_i.$$

Дисперсионный коэффициент конкордации определяется как отношение оценки дисперсии [11] к максимальному значению этой оценки:

$$W = \frac{D}{D_{\max}}, \quad (9)$$

Коэффициент конкордации изменяется от нуля до единицы, то есть: $0 \leq D \leq D_{\max}$, при этом максимальное значение дисперсии равно:

$$D_{\max} = \frac{22^2(30^3 - 30)}{12(30 - 1)} = 1210,$$

Введем обозначение:

$$S = \sum_{i=1}^{22} \left(\sum_{j=1}^{30} r_{ij} - \bar{r} \right)^2.$$

Тогда оценку дисперсии можно представить в виде:

$$D = \frac{1}{29} S.$$

Подставляя полученные выражения в (9) и сокращая на множитель 29, запишем окончательное выражение для коэффициента конкордации

$$W = \frac{12}{22^2(30^3 - 30)} S = \frac{S}{22475}.$$

Данная формула определяет коэффициент конкордации для случая отсутствия связанных рангов. Если в ранжировках имеются связанные ранги [11], то коэффициент конкордации может быть вычислен по формуле:

$$W = \frac{12S}{22^2(30^3 - 30) - 22 \sum_{j=1}^{30} T_j} = \frac{12S}{870 \cdot 22^2 - 22 \sum_{j=1}^{30} T_j}, \quad \text{где } T_j = \sum_{k=1}^{H_j} (h_k^3 - h_k). \quad (10)$$

В формуле (10) T_j – показатель связанных рангов в ранжировке, сделанной j -ым экспертом, H_j – число групп равных рангов, имеющих в ранжировке сделанной j -ым экспертом, h_k – число равных рангов в k -ой группе связанных рангов при ранжировке s -м экспертом. Если совпадающих рангов нет, то $H_j=0$, $h_k=0$ и, следовательно, $T_j=0$. Коэффициент конкордации равен 1, если все ранжировки экспертов одинаковы, и равен нулю, если все ранжировки различны.

Из предшествующих рассуждений следует, что коэффициент конкордации, вычисляемый по приведенным выше формулам, представляет собой случайную величину. На основании оценки этой величины мы должны подтвердить или отбросить гипотезу о согласованности экспертных оценок. В ряде работ показано, что эта задача может быть решена по критерию χ^2 .

Показано, что при наличии связанных рангов χ^2 – распределение с $\nu=30-1=29$ степенями свободы имеет величину $\chi^2=22(30-1)W$ или с учетом (9):

$$\chi^2 = \frac{12S}{22 \cdot 30(30+1) - \frac{1}{30-1} \sum_{j=1}^9 T_j} = \frac{S}{20460 - \frac{1}{29} \sum_{j=1}^9 T_j}. \quad (11)$$

Сравнивая эту величину с табличной, полученной для этих же степеней свободы и требуемого уровня значимости, мы можем отвергнуть или принять гипотезу о согласованности оценок экспертов.

Если $\chi^2_{\text{табл}} < \chi^2$, где $\chi^2_{\text{табл}}$ находится по таблице обратного распределения χ^2 [17], то гипотеза о согласии экспертов в оценке требований принимается, а если $\chi^2_{\text{табл}} > \chi^2$ – то гипотеза о согласованности отвергается.

Рассчитывая по формулам (10) и (11) коэффициент конкордации и статистику критерия χ^2 , получаем следующие результаты:

$$\sum_{j=1}^{30} T_j = 1983, S = 661665,5, W = 0,90, \chi^2 = 565,25, \chi^2_{\text{табл}} = 32,67.$$

Таким образом, $\chi^2_{\text{табл}} < \chi^2$, гипотеза о согласии экспертов в оценки требований принимается, то есть эксперты принимали решение согласованно и осознанно, и их экспертному мнению целесообразно доверять.

Следовательно, можно сделать статистически обоснованное заключение, что ранжирование требований по важности, которое представлено в таблицах 1 и 2, можно считать объективным и использовать при планировании обучения специалистов РЭБ для выполнения задач дезорганизации управления АРС ИА [18–20].

По результатам проведенного исследования с помощью модели Раша оценки латентных переменных и модели, учитывающей компетентность экспертов, установлено, что важнейшими требованиями к подготовке специалистов радиоэлектронной борьбы для выполнения задач дезорганизации управления аэромобильными роботизированными системами иностранных армий являются такие, как: быть способным принимать решение на применение сил и технических средств подразделений РЭБ-С, организовать и осуществлять применение сил и технических средств подразделений РЭБ-С; уметь принимать решение на применение сил и технических средств подразделений РЭБ-С, организовать их применение и и управлять ими в ходе выполнения задач радиоэлектронных разведки

и подавления в условиях радиоэлектронных помех, создаваемых современными радиоэлектронными средствами ведущих зарубежных государств; знать особенности применения современных отечественных образцов техники радиоэлектронной борьбы.

Выводы

По результатам проведенного исследования разработана методика обоснования дополнительных требований к подготовке специалистов РЭБ. Особенности предложенного подхода к обработке данных экспертного исследования стали: реализация модели оценки интегральных показателей важности дидактических единиц на основе метода Раша оценки латентных переменных; применение модели обработки результатов группового экспертного оценивания, учитывающей компетентность экспертов и рассчитывающей вклад в интегральный показатель требований пропорционально компетентности эксперта (позволяющей получать более объективные оценки требований); оценка степени согласованности экспертов с помощью коэффициента конкордации, позволяющая сделать вывод о доверии экспертному мнению. Полученный результат можно использовать и в других областях подготовки специалистов.

Список источников

1. Новак К.В., Олешко В.С., Старикова И.О., Тофоров М.С. Анализ комплексов с беспилотными летательными аппаратами, применяемых силами специальных

Труды МАИ. 2021. Выпуск № 120

Trudy MAI. 2021. Issues no.120

операций Соединенных Штатов Америки // Труды МАИ. 2017. № 94. URL:

<http://trudymai.ru/published.php?ID=80936>.

2. Стефанов В.А., Зайцев А.В., Титков О.С., Чабанов В.А., Введенская И.Г.

Беспилотные ЛА как вид авиационной техники в борьбе США за военное превосходство. Часть I // Аналитический обзор по материалам зарубежных

информационных источников / Под общ. ред. академика РАН Е.А. Федосова. – М.:

НИЦ ГосНИИАС, 2019. С. 146–183.

3. Панов А. Армейская авиация для сухопутных войск США // Зарубежное военное

обозрение. 2021. № 6. С. 52–60. URL:

<https://zvo.ric.mil.ru/upload/site230/J7T2zjfWug.pdf>

4. Ермаков А. Авиация для дистанционной работы // Новый оборонный заказ.

Стратегии. 2020. № 3. С. 46–48. URL: [https://dfnc.ru/arhiv-zhurnalov/2020-3-](https://dfnc.ru/arhiv-zhurnalov/2020-3-62/aviatsiya-dlya-distantsionnoj-raboty/)

[62/aviatsiya-dlya-distantsionnoj-raboty/](https://dfnc.ru/arhiv-zhurnalov/2020-3-62/aviatsiya-dlya-distantsionnoj-raboty/)

5. Шашок Л. Робототехнические комплексы // Арсенал Отечества. 2020. № 6 (50).

С. 52–59. URL: <https://arsenal-otechestva.ru/archive/1412-6-2020>

6. Голубев С.В., Жирнов М.В. Опыт подготовки специалистов радиоэлектронной

борьбы организация подготовки специалистов радиоэлектронной борьбы в военно-воздушной академии на современном этапе // Вестник военного образования. 2020.

№ 2(20). С. 38-42.

7. Орлов А.И. Экспертные оценки. – М.: ИВСТЭ, 2002. – 31 с.

8. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Экспертные оценки. – М.: Наука, 2003. – 79 с.

9. Rasch G. Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests, Copenhagen, Denmark: Danish Institute for Educational Research, 1960, 160 p.
10. Маслак А.А., Моисеев С.И. Модель Раша оценки латентных переменных и ее свойства: монография. – Воронеж: НПЦ «Научная книга», 2016. – 177 с.
11. Кузьмин В.Б., Орлов А.И. Статистические методы анализа экспертных оценок. – М.: Наука, 2007. – С. 220–227.
12. Маслак А.А., Моисеев С.И., Осипов С.А. Сравнительный анализ оценок параметров модели Раша, полученных методами максимального правдоподобия и наименьших квадратов // Проблемы управления. 2015. № 5. С. 58–66.
13. Моисеев С.И. Модель Раша оценки латентных переменных, основанная на методе наименьших квадратов // Экономика и менеджмент систем управления. 2015. № 2.1 (16). С. 166–172.
14. Баркалов С.А., Моисеев С.И., Соловьева Е.В. Применение метода наименьших квадратов при оценке латентных переменных методом Раша // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Управление строительством. 2014. № 1 (6). С. 98–100.
15. Баркалов С.А., Моисеев С.И., Насонова Т.В. Математические методы проведения экспертной оценки качественных показателей // Управление строительством. 2018. № 2 (11). С. 6–35.
16. Баркалов С.А., Моисеев С.И., Ушаков А.Н. Методы и модели экспертного оценивания дворовых территорий многоквартирных домов // Проектное управление в строительстве. 2020. № 4 (21). С. 95–112.

17. Ллойд Э., Ледерман У. Справочник по прикладной статистике. – М.: Финансы и статистика, 1990. - 526 с.

18. Антонов Д.А., Жарков М.В., Кузнецов И.М., Лунев Е.М., Пронькин А.Н. Определение навигационных параметров беспилотного летательного аппарата на базе фотоизображения и инерциальных измерений // Труды МАИ. 2016. № 91. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=75632>

19. Ананенков А.Е., Марин Д.В., Нуждин В.М., Расторгуев В.В., Соколов П.В. К вопросу о наблюдении малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2016. № 91. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=75662>

20. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. Анализ эффективности передачи данных в сети связи группировки беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2015. № 81. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=57894>

References

1. Novak K.V., Oleshko V.S., Starikova I.O., Toforov M.S. *Trudy MAI*, 2017, no. 94. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=80936>.

2. Stefanov V.A., Zaitsev A.V., Titkov O.S., Chabanov V.A., Vvedenskaya I.G. *Bespilotnye LA kak vid aviatsionnoi tekhniki v bor'be SShA za voennoe prevoskhodstvo. Chast' I* (Unmanned aircraft as a type of aviation technology in the US struggle for military superiority. Part I), Moscow, NITs GosNIIAS, 2019, pp. 146–183.

3. Panov A. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 2021, no. 6, pp. 52–60. URL: <https://zvo.ric.mil.ru/upload/site230/J7T2zjfWug.pdf>

4. Ermakov A. *Novyi oboronnyi zakaz. Strategii*, 2020, no. 3, pp. 46–48. URL: <https://dfnc.ru/arhiv-zhurnalov/2020-3-62/aviatsiya-dlya-distantsionnoj-raboty/>
5. Shashok L. *Arsenal Otechestva*, 2020, no. 6 (50), pp. 52–59. URL: <https://arsenal-otechestva.ru/archive/1412-6-2020>
6. Golubev S.V., Zhirnov M.V. *Vestnik voennogo obrazovaniya*, 2020, no. 2(20), pp. 38–42.
7. Orlov A.I. *Ekspertnye otsenki* (Expert assessments), Moscow, IVSTE, 2002, 31 p.
8. Beshelev S.D., Gurvich F.G. *Ekspertnye otsenki* (Expert assessments), Moscow, Nauka, 2003. 79 p.
9. Rasch G. *Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests*, Copenhagen, Denmark, Danish Institute for Educational Research, 1960, 160 p.
10. Maslak A.A., Moiseev S.I. *Model' Rasha otsenki latentnykh peremennykh i ee svoistva: monografiya* (Rush's model for estimating latent variables and its properties: monograph), Voronezh, NPTs «Nauchnaya kniga», 2016, 177 p.
11. Kuz'min V.B., Orlov A.I. *Statisticheskie metody analiza ekspertnykh otsenok* (Statistical methods for the analysis of expert assessments), Moscow, Nauka, 2007, pp. 220–227.
12. Maslak A.A., Moiseev S.I., Osipov S.A. *Problemy upravleniya*, 2015, no. 5, pp. 58–66.
13. Moiseev S.I. *Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya*, 2015, no. 2.1 (16), pp. 166–172.

14. Barkalov S.A., Moiseev S.I., Solov'eva E.V. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Upravlenie stroitel'stvom*, 2014, no. 1 (6), pp. 98–100.

15. Barkalov S.A., Moiseev S.I., Nasonova T.V. *Upravlenie stroitel'stvom*, 2018, no. 2 (11), pp. 6–35.

16. Barkalov S.A., Moiseev S.I., Ushakov A.N. *Proektnoe upravlenie v stroitel'stve*, 2020, no. 4 (21), pp. 95–112.

17. Lloid E., Lederman U. *Spravochnik po prikladnoi statistike* (Handbook of applicable statistics), Moscow, Finansy i statistika, 1990, 526 p.

18. Antonov D.A., Zharkov M.V., Kuznetsov I.M., Lunev E.M., Pron'kin A.N. *Trudy MAI*, 2016, no. 91. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=75632>

19. Ananenkov A.E., Marin D.V., Nuzhdin V.M., Rastorguev V.V., Sokolov P.V. *Trudy MAI*, 2016, no. 91. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=75662>

20. Borodin V.V., Petrakov A.M., Shevtsov V.A. *Trudy MAI*, 2015, no. 81. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=57894>

Статья поступила в редакцию 21.09.2021; одобрена после рецензирования 07.09.2021; принята к публикации 22.10.2021.

The article was submitted 21.09.2021; approved after reviewing 07.09.2021; accepted for publication 22.10.2021.