

doi: 10.17586/2226-1494-2021-21-3-426-432

УДК 007.3

Методологическая поддержка рабочей группы при решении задачи прогнозирования результатов классификационной экспертизы

Евгений Александрович Бурков¹, Павел Иосифович Падерно²,
 Фаррух Эйтиборович Сатторов³✉, Елена Алексеевна Толкачева⁴

^{1,2,4} Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, 197376, Российская Федерация

³ Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

³ Ассоциация развития лидерства молодежи, Санкт-Петербург, 190005, Российская Федерация

¹ eaburkov@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-8788-6470>

² pipaderno@list.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9032-5084>

³ ldambassadorus@gmail.com✉, <http://orcid.org/0000-0002-5651-6415>

⁴ eatolкачева@etu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0552-7245>

Аннотация

Предмет исследования. Выполнен анализ специфики деятельности рабочей группы при подготовке классификационной экспертизы. Рассмотрены особенности подходов, используемых при выборе методов экспертных оценок и подборе экспертов. Проанализированы возможные слабо (нечетко) формализуемые требования заказчика, специфичные для классификационных экспертиз. Выявлен ряд недостатков используемых методов, которые значительно затрудняют процесс планирования и подготовки классификационной экспертизы, а также создают неприемлемые условия для прогнозирования надежности ее результатов. **Метод.** Разработан новый подход к прогнозированию надежности классификационной экспертизы на стадии ее подготовки в зависимости от состава экспертной группы. Подход основан на вероятностном представлении возможных результатов работы (классификации) отдельных экспертов. **Основные результаты.** Предложен ряд вероятностных моделей (вероятностных матриц), отражающих надежность (правильность) классификации конкретных объектов как на уровне отдельных экспертов, так и на уровне результатов всей экспертизы в целом. Для произвольной группы экспертов разработан комплекс процедур, позволяющих получать вероятностные характеристики правильной классификации объектов при включении группы в состав экспертной комиссии. **Практическая значимость.** Подход может быть инструментом рабочей группы, который не только упростит процесс подбора экспертной группы, но позволит прогнозировать надежность возможных результатов и поможет заранее предпринять меры для обеспечения требований заказчика. Данный подход может служить методологическим базисом для автоматизации решения задачи подбора экспертов для классификационной экспертизы на этапе ее подготовки в зависимости от требований (ограничений), сформулированных заказчиком. Использование предложенных моделей и процедур позволит повысить эффективность классификационных экспертиз, а также снизить сроки их подготовки.

Ключевые слова

классификационная экспертиза, подбор экспертов, компетентность, рабочая группа, подготовка, требования, надежность (правильность), вероятностные матрицы

Ссылка для цитирования: Бурков Е.А., Падерно П.И., Сатторов Ф.Э., Толкачева Е.А. Методологическая поддержка рабочей группы при решении задачи прогнозирования результатов классификационной экспертизы // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2021. Т. 21, № 3. С. 426–432. doi: 10.17586/2226-1494-2021-21-3-426-432

Methodological support of the working group in predicting the results of the classification expertise

Evgeniy A. Burkov¹, Pavel I. Paderno², Farrukh E. Sattorov^{3✉}, Elena A. Tolkacheva⁴

^{1,2,4} Saint Petersburg State Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg, 197376, Russian Federation

³ ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

³ Leadership Development Association, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation

¹ eaburkov@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-8788-6470>

² pipaderno@list.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9032-5084>

³ ldambassadorus@gmail.com✉, <http://orcid.org/0000-0002-5651-6415>

⁴ eatolkacheva@etu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0552-7245>

Abstract

The paper considers the specifics of the working group activity in preparation of expertise classification and the features of approaches for the choice of expert assessments and expert selection methods. The analysis focuses on potentially weak (illegibly) formalized customer requirements, which are quite typical for expertise classification. The used methods suffer from many drawbacks, which make them practically inapplicable in terms of planning, preparing and predicting the possible expertise classification reliability. The authors developed a new approach for predicting the reliability of the expertise classification at the stage of its preparation that depends on the reliability of the proposed expert group. The approach involves a probabilistic representation of the possible results of the work (namely, classification) of particular experts. The authors propose a number of probabilistic models (probabilistic matrices), which reflect the reliability (correctness) of the classification of certain objects both at the level of particular experts and at the level of entire expertise results. The set of procedures developed for a random group of experts allows obtaining probabilistic characteristics of the objects classification correctness when the group works as a part of an expert commission. The proposed approach can be used as a tool for working groups, which not only simplifies the process of an expert group selection, but also allows predicting the reliability of possible results and thereby makes it possible to take measures in advance in order to meet customer requirements. This approach can serve as a methodological basis for automating the problem solution in the expert selection process for the expertise classification at the level of its preparation, depending on customer requirements (restrictions). The proposed models and procedures will improve the efficiency of expertise classification, as well as save time for its preparation.

Keywords

expertise classification, expert selection, competence, working group, training, requirements, reliability (correctness), probability matrices

For citation: Burkov E.A., Paderno P.I., Sattorov F.E., Tolkacheva E.A. Methodological support of the working group in predicting the results of the classification expertise. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2021, vol. 21, no. 3, pp. 426–432 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2021-21-3-426-432

Введение

В различных областях управления и принятия решений требуется проведение классификационных экспертиз, цель которых состоит в отнесении конкретного объекта (группы объектов) к одной из заранее обозначенных категорий. Примеры категорий: оценка степени аварийности здания (сооружения), результаты анализа экологической обстановки в регионе, оценка перспективности студента при поступлении в магистратуру (аспирантуру) и др. [1]. Общим для всех классификационных экспертиз является использование слабо формализованных знаний различных экспертов. Часто экспертам приходится руководствоваться неким набором правил, одна часть которых достаточно четко определена, а оставшаяся часть — описательна и весьма расплывчата. Отсюда возникают ошибки результатов экспертиз, которые вызывают неоправданные затраты и последствия: обрушение здания, признанного неаварийным, высокий процент отчисления студентов, низкий процент защит диссертаций по окончании аспирантуры и др. Общеизвестным является факт, что при различных экспертизах практически каждый из экспертов представляет концептуальную модель идеального объекта по-своему, что в ряде случаев может вызвать споры (в рамках экспертной группы) и последующее недо-

вольство результатами. В связи с этим рабочая группа в процессе подготовки классификационной экспертизы должна руководствоваться не только имеющимися нормативными документами и техническим заданием на экспертизу, но и обеспечить правильную (наиболее объективную) классификацию представляемого объекта. При этом, как правило, целесообразно использовать экспертов независимо друг от друга, чтобы избежать взаимовлияния, чему в значительной степени способствуют современные информационные технологии.

В настоящее время при подготовке классификационных экспертиз рабочая группа в большинстве случаев полагается преимущественно на собственный опыт и не имеет методического инструментария для подготовки качественной экспертизы: эксперты выбираются (назначаются) субъективно, без предварительной оценки целесообразности их использования в планируемой экспертизе (в составе конкретной экспертной группы).

Подготовка экспертизы: сложившийся подход

На этапе подготовки к проведению экспертизы наибольшая нагрузка ложится на рабочую группу [1, 2]. Основные задачи, которые должна решать рабочая группа для обеспечения правильных и достоверных результатов экспертизы:

- 1) разработка программы и методики проведения экспертизы, в том числе выбор метода экспертных оценок;
- 2) формирование экспертной группы (подбор экспертов, наилучшим образом удовлетворяющих целям экспертизы и налагаемым ограничениям).

1. Особенностью классификационной экспертизы является тот факт, что программа проведения экспертизы (определяет, что именно проверяется или оценивается) и соответствующая ей методика (определяет, как методологически организованна проверка или оценивание) заданы в нормативных или иных документах. При этом методика зачастую слабо формализована, а также не задает требуемый метод экспертных оценок и способ комплексирования результатов, оставляя эту работу на рабочую группу.

При выборе метода экспертных оценок наиболее перспективным из используемых в современной экспертизе является метод анализа иерархий (метод Саати), как в классической [3, 4], так и усовершенствованной (модифицированной) форме [5, 6]. Кроме того, в различных экспертизах и в разное время использовались и используются методы ранжирования, методы множественного сравнения и др. Также имеется ряд различных подходов к комплексированию мнений экспертов и получению единого мнения экспертной комиссии, что в отдельных случаях бывает весьма затруднительным при качественных шкалах оценки отдельных объектов [1, 5–7].

Использование перечисленных методов в классификационной экспертизе не представляется целесообразным. Основные причины для ограничения применения этих методов:

- объекты, подлежащие классификации, могут поступать на экспертизу не все одновременно, а постепенно (и в случайном порядке);
- получаемые в результате оценки значимости (весомости) отдельных объектов могут указывать только на их порядок или ранг, но никак не на номера классов, к которым они должны быть отнесены.

Заметим, что выбор метода оценок и комплексирования результатов является хоть и важной частью, но все же только частью разработки программы и методики экспертизы.

2. Этап подготовки экспертизы, реализуемой рабочей группой — выбор экспертов и формирование экспертной группы. На данном этапе опираются на компетентность экспертов, зависящую от:

- квалификации (образование, теоретический анализ, производственный опыт);
- мотивации (материальная заинтересованность, моральная, престижность экспертизы);
- объективности (личная субъективность, лоббирование);
- личностных особенностей (психофизические характеристики, эрудиция, общительность);
- прочие факторы [8, 9].

Общая оценка компетентности эксперта формируется в результате некоторой свертки численных оценок перечисленных показателей, причем весовые коэффициенты (коэффициенты значимости) отдельных показате-

телей не имеют достаточно четкого научного, а в ряде случаев и практического обоснования. Такой подбор экспертов в значительной степени не соответствует так называемым незаявленным целям экспертизы, обусловленным требованиями к получаемым результатам экспертизы (правильность классификации и т. п.), и возможными ограничениями (ресурсными и др.). В [10] предложено формировать экспертную группу с учетом целей и ограничений, хотя в ряде случаев заказчик экспертизы не может их четко сформулировать. Зачастую правила отнесения объекта к той или иной категории сформулированы весьма расплывчато, что в значительной степени может в дальнейшем усложнить работу экспертов и, следовательно, привести к неправильной классификации объекта (некоторых объектов) из числа представленных на экспертизу.

В исследованиях, посвященных методам экспертных оценок [1, 2, 11, 12] и формированию экспертных групп [9, 13, 14], а также разработке поддерживающих экспертизу технических систем [15–18], не прослеживается взаимосвязь между компетентностью эксперта и правильностью принимаемых решений при классификации различных объектов.

При подготовке к классификационной экспертизе рабочая группа должна обращать особое внимание на возможные требования (ограничения), предъявляемые заказчиком экспертизы:

- к экспертам — надежность каждого из экспертов, привлекаемых к участию в классификационной экспертизе, должна быть не ниже заданного уровня;
 - к достоверности результатов экспертизы — правильность (надежность) результатов классификации должна быть не ниже заданного уровня.
- Следует отметить ряд важных моментов:
- термины «надежность эксперта» и «правильность (надежность) результатов классификационной экспертизы» не являются общепринятыми, и, следовательно, они могут означать, что: наименьшая вероятность правильной классификации некоторого объекта экспертом (или в результате экспертизы) должна быть не ниже заданного уровня; средняя вероятность правильной классификации объекта каждым экспертом (или в результате экспертизы) должна быть не ниже заданного уровня;
 - процедура усреднения вероятностей правильной классификации не определяется ни заказчиком, ни нормативными документами;
 - значение (значения) задаваемого уровня надежности могут быть сгенерированы заказчиком самостоятельно или взяты из нормативных документов (из литературы), т. е. могут быть совершенно необоснованными и, более того, в ряде случаев невыполнимыми.

Следовательно, в руках рабочей группы должен быть некоторый инструмент, позволяющий осуществлять возможный прогноз качества (надежности, правильности) классификационной экспертизы на основе данных об экспертах, включаемых в экспертную группу. Однако на сегодняшний день среди публикаций практически полностью отсутствуют работы по прогнозированию надежности (правильности) результа-

тов классификационных экспертиз в зависимости от компетентности привлекаемых экспертов.

Подготовка экспертизы: предлагаемый подход

Исходя из основных особенностей и с целью предоставления рабочей группе удобного инструмента, предложен подход к описанию результативности (безошибочности классификации объектов) экспертов.

Предположим, что на классификационную экспертизу могут быть представлены некоторые объекты из множества объектов V , разбитого на n классов (категорий) V_1, V_2, \dots, V_n . По умолчанию будем считать, что эти классы также упорядочены по некоторому набору признаков, т. е. объект X из класса V_l лучше (не хуже) объекта Y из класса V_k , если выполняется неравенство $l < k$. При этом в предполагаемую экспертную группу можно включать экспертов только из имеющегося множества $\mathcal{E} = \{\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_m\}$.

Для каждого из экспертов вероятности правильной классификации объектов могут быть описаны соответствующими квадратными вероятностными матрицами $\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \dots, \mathbf{P}_m$, имеющими следующий вид:

$$\mathbf{P}_j = \begin{pmatrix} P_{j11} & P_{j12} & \dots & P_{j1n} \\ P_{j21} & P_{j22} & P_{j23} & \dots & P_{j2n} \\ P_{j31} & P_{j32} & P_{j33} & \dots & P_{j3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{jnl} & P_{jn2} & P_{jn3} & \dots & P_{jnn} \end{pmatrix}, j = 1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

Вероятность $p_{jlk}, j = 1, 2, \dots, m; l, k = 1, 2, \dots, n$ означает, что эксперт \mathcal{E}_j с вероятностью p_{jlk} классифицирует объект из класса V_l как объект из класса V_k . Элементы p_{jll} — диагональные элементы матриц $\mathbf{P}_1, \dots, \mathbf{P}_m$, представляют собой вероятности правильной классификации объектов соответствующих классов.

На множестве экспертов \mathcal{E} можно ввести отношение частичного порядка: эксперт \mathcal{E}_j лучше эксперта \mathcal{E}_k ($\mathcal{E}_j > \mathcal{E}_k$), если для диагональных элементов соответствующих матриц \mathbf{P}_j и \mathbf{P}_k выполняется соотношение $l = \bar{1}, n: p_{jll} \geq p_{kll}, \exists l': p_{jll'} > p_{kll'}$. Это означает, что вероятность правильной классификации любого объекта у эксперта \mathcal{E}_j не ниже, чем вероятность у эксперта \mathcal{E}_k , а в некоторых случаях даже выше.

Отдельно можно выделить ситуации, когда эксперт является полным пессимистом (никогда не завышает класс объекта) или полным оптимистом (никогда не занижает класс объекта). В этих случаях соответствующие вероятностные матрицы имеют треугольный вид:

$$\mathbf{P}_j = \begin{pmatrix} P_{j11} & P_{j12} & \dots & P_{j1n} \\ 0 & P_{j22} & P_{j23} & \dots & P_{j2n} \\ 0 & 0 & P_{j33} & \dots & P_{j3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & P_{jnn} \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{P}_j = \begin{pmatrix} P_{j11} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ P_{j21} & P_{j22} & 0 & \dots & 0 \\ P_{j31} & P_{j32} & P_{j33} & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{jnl} & P_{jn2} & P_{jn3} & \dots & P_{jnn} \end{pmatrix}.$$

По аналогии с матрицами $\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \dots, \mathbf{P}_m$ (1) введем рассмотрение вероятностную матрицу, которая характеризует возможные результаты классификационной экспертизы, т. е. после комплексирования мнений экспертов, участвовавших в экспертизе:

$$\mathbf{Q} = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & \dots & q_{2n} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & \dots & q_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{nl} & q_{n2} & q_{n3} & \dots & q_{nn} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Вероятность $q_{lk}, l, k = 1, 2, \dots, n$ означает, что экспертиза с вероятностью q_{lk} может классифицировать объект из класса V_l как объект из класса V_k . Элементы q_{ll} представляют собой диагональные элементы матрицы (2) и являются вероятностями правильной классификации объектов соответствующих классов в результате экспертизы.

Рассмотрим случай, когда к экспертизе предполагается привлечь экспертов $\mathcal{E}_{k_1}, \mathcal{E}_{k_2}, \dots, \mathcal{E}_{k_s}$ из множества \mathcal{E} . Вероятности правильной классификации объектов этими экспертами описываются соответствующими квадратными вероятностными матрицами $\mathbf{P}_{k_1}, \mathbf{P}_{k_2}, \dots, \mathbf{P}_{k_s}$.

Тогда задача ориентировочного прогноза вероятности классификации объектов в результате экспертизы сводится к определению зависимости элементов матрицы \mathbf{Q} от элементов матриц $\mathbf{P}_{k_1}, \mathbf{P}_{k_2}, \dots, \mathbf{P}_{k_s}$, т. е. к построению матрицы $\mathbf{Q}(k_1, k_2, \dots, k_s)$.

Пусть задан некоторый объект из класса V_l . За вероятности правильной или ошибочной классификации этого объекта отвечают l -е строки матриц $\mathbf{P}_{k_1}, \mathbf{P}_{k_2}, \dots, \mathbf{P}_{k_s}$. Определим соответствующие элементы l -ой строки матрицы $\mathbf{Q}(k_1, k_2, \dots, k_s)$ с помощью аппарата производящих функций.

Введем в рассмотрение многомерную производящую функцию

$$\Phi_l(k_1, k_2, \dots, k_s) = \prod_{g=1}^s \sum_{i=1}^n p_{g,li} x_i, \quad (3)$$

и выполним анализ ее особенностей. Заметим, что выражение (3) определяет многочлен s -ой степени от n переменных, и исследуем коэффициенты этого многочлена.

$$\Phi_l(k_1, k_2, \dots, k_s) = \sum_{\Omega} C_l(i_1, i_2, \dots, i_n) x_1^{i_1} x_2^{i_2} \dots x_n^{i_n}, \quad (4)$$

где суммирование происходит по множеству комбинаций целых неотрицательных чисел i_1, i_2, \dots, i_n , пред-

ставляющему собой все возможные комбинации, при которых выполняются условия

$$\Omega = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}, 0 \leq i_j \leq s, \forall j = \overline{1, n}, \sum_{j=1}^s i_j = s.$$

Легко показать, что сумма всех коэффициентов многочлена (4) равна единице

$$\sum_{\Omega} C_l(i_1, i_2, \dots, i_n) = 1,$$

так как для этого достаточно задать все x_i равными единице.

Далее рассмотрим более подробно коэффициент $C_l(i_1, i_2, \dots, i_n)$, который является вероятностью того, что классифицируемый объект, принадлежащий классу V_l , отнесен некоторым числом i_1 экспертов к номеру класса V_1 , некоторым числом i_2 экспертов к классу V_2 , ..., некоторым числом i_n экспертов к классу V_n .

Поясним сказанное на двух примерах, показывающих крайние ситуации выражения ошибочного мнения экспертов. Коэффициент $C_l(s, 0, \dots, 0)$ — это вероятность того, что классифицируемый объект все эксперты $\mathcal{E}_{k_1}, \mathcal{E}_{k_2}, \dots, \mathcal{E}_{k_s}$ отнесли к классу V_1 , несмотря на то что он относится к классу V_l , т. е. все эксперты одинаково ошиблись. Как можно видеть, верным является равенство $C_l(s, 0, \dots, 0) = \prod_{g=1}^s p_{k_g l}$, т. е. коэффициент $C_l(s, 0, \dots, 0)$ представляет собой произведение первых элементов l -ой строки соответствующих матриц $\mathbf{P}_{k_1}, \mathbf{P}_{k_2}, \dots, \mathbf{P}_{k_s}$. По аналогии очевидно, что коэффициент $C_l(0, 0, \dots, s)$ — это вероятность того, что классифицируемый объект все эксперты $\mathcal{E}_{k_1}, \mathcal{E}_{k_2}, \dots, \mathcal{E}_{k_s}$ отнесли к классу V_n , несмотря на то что он относится к классу V_l , т. е. все эксперты одинаково ошиблись. Верным является равенство $C_l(0, 0, \dots, s) = \prod_{g=1}^s p_{k_g n}$, т. е. коэффициент $C_l(0, 0, \dots, s)$ представляет собой произведение последних элементов l -ой строки соответствующих матриц $\mathbf{P}_{k_1}, \mathbf{P}_{k_2}, \dots, \mathbf{P}_{k_s}$.

Формирование вероятностей (l -ой строки матрицы $\mathbf{Q}(k_1, k_2, \dots, k_s)$).

При формировании вероятностей, находящихся на l -ой строке матрицы $\mathbf{Q}(k_1, k_2, \dots, k_s)$, использованы два принципа: принцип абсолютного большинства и принцип среднего. Формирование вероятностей осуществляется в три этапа.

Этап 1. Разбиение множества Ω .
Представим множество Ω в виде

$$\Omega = \bigcup_{j=1}^n \tilde{\Omega}_j \cup \bar{\Omega}, \text{ где } \tilde{\Omega}_j = \bigcup_{\Omega} \{(i_1, i_2, \dots, i_j, \dots, i_n) | i_j > s/2\}.$$

Множества $\tilde{\Omega}_j, j = \overline{1, n}$ — множества соответствующих номеров классов, к которым по результатам классификационной экспертизы объект был отнесен в соответствии с принципом большинства голосов экспертов. При этом эти множества попарно не пересекаются, т. е. выполняется соотношение $\tilde{\Omega}_j \cap \tilde{\Omega}_k = \emptyset$, если $j \neq k, j, k = \overline{1, n}$. Следует заметить, что множество $\bar{\Omega}$ образуется по остаточному признаку, т. е. $\bar{\Omega} = \Omega \setminus \bigcup_{j=1}^n \tilde{\Omega}_j$.

Этап 2. В соответствии с принципом большинства можем первоначально сформировать значения соответствующих вероятностей

$$\tilde{q}_{lj} = \sum_{\tilde{\Omega}_j} C_l(i_1, i_2, \dots, i_j, \dots, i_n), j = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Этап 3. Формирование дополнительных вероятностей по принципу среднего.

Введем в рассмотрение следующую процедуру усреднения мнений экспертов, которая будет распространяться только на элементы множества $\bar{\Omega}$:

$$Z(i_1, i_2, \dots, i_n) = \left[\frac{1}{s} \sum_{j=1}^n j i_j + 0,5 \right], (i_1, i_2, \dots, i_n) \in \bar{\Omega}. \quad (6)$$

Процедура (6) определяет среднее значение мнений экспертов по поводу номера класса, к которому должен быть отнесен рассматриваемый объект.

Заметим, что ввиду того, что процедура усреднения мнений экспертов (6) определена только на множестве $\bar{\Omega}$, значение номера класса $Z(i_1, i_2, \dots, i_n)$ не может быть равно ни 1, ни n .

На основании предложенной процедуры усреднения (6) разобьем все множество $\bar{\Omega}$ на совокупность множеств $\bar{\Omega}_2, \bar{\Omega}_3, \dots, \bar{\Omega}_{n-1}$, по принципу

$$(i_1, i_2, \dots, i_n) \in \bar{\Omega}_j, \text{ если } Z(i_1, i_2, \dots, i_n) = j. \quad (7)$$

При этом очевидно, что выполняются следующие соотношения

$$\bigcup_{j=2}^{n-1} \bar{\Omega}_j = \bar{\Omega}, \bar{\Omega}_j \cap \bar{\Omega}_k = \emptyset, \text{ если } j \neq k,$$

т. е. множества $\bar{\Omega}_2, \bar{\Omega}_3, \dots, \bar{\Omega}_{n-1}$, сформированные в (7), не пересекаются.

Вычислим значения вероятностей событий, попавших в соответствующие множества:

$$\bar{q}_{lj} = \sum_{\bar{\Omega}_j} C_l(i_1, i_2, \dots, i_n), j = \overline{2, n-1}. \quad (8)$$

На основании формул (5) и (8) можно найти соответствующие вероятности для l -ой строки матрицы $\mathbf{Q}(k_1, k_2, \dots, k_s)$:

$$q_{l1} = \tilde{q}_{l1}, q_{ln} = \tilde{q}_{ln}, q_{lj} = \tilde{q}_{lj} + \bar{q}_{lj}, j = \overline{2, n-1}.$$

Повторяя все рассуждения и действия, начиная от формулы (3), получим все элементы матрицы $\mathbf{Q}(k_1, k_2, \dots, k_s)$.

Предлагаемый подход представляет возможность однозначно определить все элементы матрицы (2), отражающей надежность (правильность классификации) результатов предполагаемой экспертизы в зависимости от выбранных экспертов $\mathcal{E}_{k_1}, \mathcal{E}_{k_2}, \dots, \mathcal{E}_{k_s}$ из множества \mathcal{E} , вероятности правильной классификации объектов, которые описываются соответствующими матрицами $\mathbf{P}_{k_1}, \mathbf{P}_{k_2}, \dots, \mathbf{P}_{k_s}$.

Таким образом, для любой исследуемой группы экспертов можно прогнозировать надежность (правильность классификации) всей планируемой экспертизы в целом.

Результаты и перспективы

Приведенные рассуждения и процедуры позволяют на стадии подготовки экспертизы прогнозировать вероятности правильной и ошибочной классификации планируемой экспертизы в зависимости от будущего состава экспертной группы. Кроме того, на основании вероятностного прогноза надежности предполагаемой экспертизы, можно подобрать такой состав экспертной группы, который будет удовлетворять всем требованиям, предъявляемым заказчиком. В случае успешной практической апробации, полученные результаты могут послужить математической и методологической основой подсистемы формирования экспертной группы информационно-управляющих систем, которые обеспечивают применение или непосредственно используют экспертные технологии [15–17] для принятия решений.

Апробация и обсуждение отдельных принципов и идей методологии оценивания, в том числе положенных в основу рассмотренного подхода, были проведены на XXII и XXIII Международных конференциях по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2019 и SCM'2020) [11, 12, 19] и вызвали интерес у специалистов в области подготовки и проведения различных экспертиз. Ранее ряд концептов, послуживших основой и получивших развитие в рассмотренном в данной работе подходе, был предложен и селективно использован при разработке системы профессионального отбора [20, 21],

в частности ее структуры и некоторых подсистем, а также программной реализации данной системы [22].

В настоящее время авторами ведется работа по развитию предложенной математической модели проведения классификационных экспертиз и прогнозирования их результатов в направлении формализованной постановки и решения обобщенной задачи управления ресурсами на этапе организации и подготовки экспертизы, а также задачи обратного вывода частных вероятностных матриц исходя из комплексной матрицы.

Заключение

Рассмотренная задача прогнозирования образует одну из ветвей современного интеллектуального анализа данных. Предложенный подход в значительной степени упрощает деятельность рабочей группы по формированию экспертной группы исходя из требований и ограничений, определенных заказчиком экспертизы. Данный подход может быть автоматизирован и использован в комплексе с базой данных по экспертам, которую должна вести и постоянно пополнять рабочая группа. Приведенная математическая модель и ее программная реализация могут стать важной частью инструментария рабочей группы, достаточно остро нуждающейся в автоматизации своей деятельности на основе использования современных методов интеллектуального анализа и информационных технологий.

Литература

1. Литвак Б.Г. Разработка управленческого решения. М.: Издательство «Дело», 2004. 392 с.
2. Бурков Е.А., Падерно П.И., Пахарьков Г.Н. Экспертиза: системные проблемы и пути их решения при выборе медицинской аппаратуры // Биотехносфера. 2010. № 2(8). С. 6–14.
3. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.
4. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети / пер. с англ. М.: ЛИБРОКОМ, 2008. 360 с.
5. Падерно П.И. Метод комплексирования мнений экспертов внутри группы при использовании метода анализа иерархий // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2009. № 189. С. 238–245.
6. Падерно П.И. Комплексирование мнений групп экспертов при оценке значимости показателей // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2010. № 190. С. 207–211.
7. Dutova E.D., Nasarenko N.A., Paderno P.I. Analysis of the influence of transformation and integration technology of the expert evaluations on the result // Proc. 19th International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). 2016. P. 21–24. doi: 10.1109/SCM.2016.7519671
8. Найченко М.В. Эргономическое обеспечение создания человеко-машинных систем // Биотехносфера. 2015. № 1(37). С. 10–13.
9. Бурков Е.А., Карпачевский А.В., Падерно П.И. Оценка компетентности экспертов на основе результативности их участия в экспертизах // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. № 10. С. 38–44.
10. Бурков Е.А., Падерно П.И. Подход к формированию экспертной группы как к задаче дискретной оптимизации // Биомедицинская радиоэлектроника. 2010. № 5. С. 48–51.
11. Burkov E.A., Paderno P.I., Siryk O.E., Lavrov E.A., Pasko N.B. Analysis of impact of marginal expert assessments on integrated expert assessment // Proc. 23rd International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). 2020. P. 14–17. doi: 10.1109/SCM50615.2020.9198772

References

1. Litvak B.G. *Development of Management Solutions*. Moscow, Delo Publ., 2004, 392 p. (in Russian)
2. Burkov E.A., Paderno P.I., Paharkov G.N. Expertise: System problems and solutions in selecting medical equipment. *Biotekhnosfera*, 2010, no. 2(8), pp. 6–14. (in Russian)
3. Saaty Th.L., Kearns K.P. *Analytical Planning: The Organization of Systems*. RWS Publications, 1985, 208 p.
4. Saaty Th.L. *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process: The Organization and Prioritization of Complexity*. RWS Publications, 1996, 370 p.
5. Paderno P.I. Method of combination experts' opinion in group using hierarchy analysis method. *News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy*, 2009, no. 189, pp. 238–245. (in Russian)
6. Paderno P.I. Combination opinions of commissions of experts at the estimation of the importance of indicators. *News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy*, 2010, no. 190, pp. 207–211. (in Russian)
7. Dutova E.D., Nasarenko N.A., Paderno P.I. Analysis of the influence of transformation and integration technology of the expert evaluations on the result. *Proc. 19th International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*, 2016, pp. 21–24. doi: 10.1109/SCM.2016.7519671
8. Naychenko M.V. Ergonomic support for the creation of human-machine systems. *Biotekhnosfera*, 2015, no. 1(37), pp. 10–13. (in Russian)
9. Burkov E.A., Karpachevskiy A.V., Paderno P.I. Determination of experts competence based on their performance in expertises. *Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University*, 2011, no. 10, pp. 38–44. (in Russian)
10. Burkov E.A., Paderno P.I. An approach to forming an expert group as a task of discrete optimization. *Journal Biomedical Radioelectronics*, 2010, no. 5, pp. 48–51. (in Russian)
11. Burkov E.A., Paderno P.I., Siryk O.E., Lavrov E.A., Pasko N.B. Analysis of impact of marginal expert assessments on integrated expert assessment. *Proc. 23rd International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*, 2020, pp. 14–17. doi: 10.1109/SCM50615.2020.9198772

12. Данелян Т.Я. Формальные методы экспертных оценок // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. 2015. № 1. С. 183–187.
13. Paderno P.I., Burkov E.A., Lavrov E.A. Issues of organization of expertise and problems of expert assessments // Journal of Physics: Conference Series. 2020. V. 1703. P. 012047. doi: 10.1088/1742-6596/1703/1/012047
14. Масленников Е.В. Особенности отбора экспертов // Социология. 2010. № 2. С. 82–93.
15. Падерно П.И. Система интеллектуальной поддержки экспертизы // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2005. № 9. С. 3–8.
16. Burkov E.A., Lyubkin P.L., Paderno P.I. Intellectual systems – the future of expert assessment // Proc. 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). 2017. P. 34–36. doi: 10.1109/SCM.2017.7970487
17. Назаренко Н.А., Падерно П.И., Саторов Ф.Э. Способ оценки логической сложности и стереотипности алгоритмов деятельности операторов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 4. С. 740–746. doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-740-746
18. Makarchenko M., Borisova I., Sattorov F. Approach changing into organization processes and personnel management in context of digitalization // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 940. P. 012097. doi: 10.1088/1757-899X/940/1/012097
19. Burkov E.A., Nazarenko N.A., Nasser S.S.S., Paderno P.I. Analysis of correctness of linear transformations of expert estimates // Proc. 22th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). 2019. P. 29–32. doi: 10.1109/SCM.2019.8903758
20. Андреевский Е.В., Бурков Е.А., Назаренко Н.А., Падерно П.И. Методика оценки эффективности стратегий профессионального психологического отбора // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 7. С. 19–25.
21. Андреевский Е.В., Падерно П.И. Структура автоматизированной информационной системы поддержки профессионального отбора персонала для охраны ядерного объекта, ее место в структуре АСУП // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 2(30). С. 109–113. doi: 10.18324/2077-5415-2016-2-109-113
22. Падерно П.И., Андреевский Е.В. Программа поддержки профессионального отбора. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU2017617164 от 30 июня 2017 г.
23. Danelyan T.Y. Formal methods of expert estimations. *Economics, Statistics and Informatics. Vestnik UMO*, 2015, no. 1, pp. 183–187. (in Russian)
24. Paderno P.I., Burkov E.A., Lavrov E.A. Issues of organization of expertise and problems of expert assessments. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1703, pp. 012047. doi: 10.1088/1742-6596/1703/1/012047
25. Maslennikov E.V. Features of selection of experts. *Sociology*, 2010, no. 2, pp. 82–93. (in Russian)
26. Paderno P.I. The system of intellectual support examination. *Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University*, 2005, no. 9, pp. 3–8. (in Russian)
27. Burkov E.A., Lyubkin P.L., Paderno P.I. Intellectual systems – the future of expert assessment. *Proc. 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*, 2017, pp. 34–36. doi: 10.1109/SCM.2017.7970487
28. Nazarenko N.A., Paderno P.I., Sattorov F.E. Estimation method for logical difficulty and stereotype of operators' activity algorithms. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2019, vol. 19, no. 4, pp. 740–746. (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-740-746
29. Makarchenko M., Borisova I., Sattorov F. Approach changing into organization processes and personnel management in context of digitalization. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 940, pp. 012097. doi: 10.1088/1757-899X/940/1/012097
30. Burkov E.A., Nazarenko N.A., Nasser S.S.S., Paderno P.I. Analysis of correctness of linear transformations of expert estimates. *Proc. 22th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*, 2019, pp. 29–32. doi: 10.1109/SCM.2019.8903758
31. Andreevskiy E.V., Burkov E.A., Nazarenko N.A., Paderno P.I. The methods of evaluating the effectiveness of strategies professional psychological selection. *Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University*, 2015, no. 7, pp. 19–25. (in Russian)
32. Andreevskiy E.V., Paderno P.I. Structure of automated information support system for professional selection of the personnel securing nuclear facility and its place in the structure of automated industrial management system. *Systems. Methods. Technologies*, 2016, no. 2(30), pp. 109–113. (in Russian). doi: 10.18324/2077-5415-2016-2-109-113
33. Paderno P.I., Andreevskii E.V. A program for organizing professional selection. *Certificate of state registration of a computer program № RU2017617164*, 30 June 2017. (in Russian)

Авторы

Бурков Евгений Александрович — кандидат технических наук, доцент, доцент, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, 197376, Российская Федерация, [sc 57195321650](http://orcid.org/0000-0001-8788-6470), <http://orcid.org/0000-0001-8788-6470>, eburkov@gmail.com

Падерно Павел Иосифович — доктор технических наук, профессор, профессор, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, 197376, Российская Федерация, [sc 57128607900](http://orcid.org/0000-0001-9032-5084), <http://orcid.org/0000-0001-9032-5084>, pipaderno@list.ru

Саторов Фаррух Эйтиборович — кандидат технических наук, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация; президент, Ассоциация развития лидерства молодежи, Санкт-Петербург, 190005, Российская Федерация, <http://orcid.org/0000-0002-5651-6415>, ldambassadorus@gmail.com

Толкачева Елена Алексеевна — кандидат физико-математических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, 197376, Российская Федерация, <http://orcid.org/0000-0002-0552-7245>, eatolkacheva@etu.ru

Статья поступила в редакцию 31.03.2021
 Одобрена после рецензирования 10.04.2021
 Принята к печати 23.05.2021

Authors

Evgeniy A. Burkov — PhD, Associate Professor, Associate Professor, Saint Petersburg State Electrotechnical University “LETI”, Saint Petersburg, 197376, Russian Federation, [sc 57195321650](http://orcid.org/0000-0001-8788-6470), <http://orcid.org/0000-0001-8788-6470>, eburkov@gmail.com

Pavel I. Paderno — D.Sc., Full Professor, Saint Petersburg State Electrotechnical University “LETI”, Saint Petersburg, 197376, Russian Federation, [sc 57128607900](http://orcid.org/0000-0001-9032-5084), <http://orcid.org/0000-0001-9032-5084>, pipaderno@list.ru

Farrukh E. Sattorov — PhD, Associate Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation; President, Leadership Development Association, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0002-5651-6415>, ldambassadorus@gmail.com

Elena A. Tolkacheva — PhD, Associate Professor, Saint Petersburg State Electrotechnical University “LETI”, Saint Petersburg, 197376, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0002-0552-7245>, eatolkacheva@etu.ru

Received 31.03.2021
 Approved after reviewing 10.04.2021
 Accepted 23.05.2021



Работа доступна по лицензии
 Creative Commons
 «Attribution-NonCommercial»