

УДК 519.683

ББК 22.18

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ ПУЛОВ И ГРУПП ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Мельник П. Б.¹

*(Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение – «Республиканский исследовательский
научно-консультационный центр экспертизы, Москва)*

В статье предложен подход к формализации процесса формирования экспертных групп (пулов), основанный на применении методов комбинаторики, теории множеств и отношений, теории матриц, метрических алгоритмов классификации и логики предикатов. Даны определения понятий поискового образа эксперта и обособленной области компетенции.

Ключевые слова: экспертно-аналитические исследования, научно-технический профиль, экспертный пул, экспертная группа, поисковый образ эксперта, область компетенции.

1. Введение

Формирование экспертных пулов и групп для проведения конкретных экспертно-аналитических исследований или экспертиз является важнейшей задачей организации экспертно-аналитической деятельности. Этой проблеме посвящено достаточно большое количество публикаций как отечественных, так и зарубежных авторов. Указанные публикации можно условно разделить на четыре группы.

¹ Мельник Павел Борисович, заместитель генерального директора по научной работе, кандидат технических наук, доцент (p.melnick@mail.ru).

К первой группе относятся статьи, связанные, главным образом, с проблемой описания некой целевой функции или интегрального показателя, тем или иным образом описывающих уровень компетентности, опыт, знания и навыки экспертов [4, 3].

Вторая группа объединяет статьи (например, [13]), тематика которых непосредственно направлена на решение задачи по подбору экспертов в пул, однако по большей части с точки зрения ее предварительной согласованности. Предлагаемые в них подходы носят, как правило, интуитивно-субъективный характер и крайне слабо формализованы.

Статьи третьей группы (например, [16]) предлагают различные методики согласования мнений экспертов при принятии окончательного заключения или выработке рекомендаций.

Наконец статьи четвертой группы (например, [14, 15]) рассматривают конкретные алгоритмы формирования экспертных пулов. Однако используемые в них методы предполагают однозначную жесткую связь на уровне формальных описаний между компетентностью экспертов и процедурой их отбора в группу.

Рассматриваемая в настоящей статье оригинальная методика инвариантна по отношению к методике расчета интегрального показателя компетентности эксперта и реализуется на основе четко структурированных исходных данных и формализованного подхода при организации процедур их обработки.

Задачу по формированию экспертных групп (пулов) для проведения конкретных экспертно-аналитических исследований или экспертиз (далее – ЭАИ) можно определить, как отношение [7]:

$$(1) \quad L \subseteq \Lambda \times E,$$

где E – множества экспертов, зарегистрированных в производном реестре экспертов (далее – Реестр),

Λ – множество проводимых ЭАИ.

В широком смысле процедура, реализующая данное отношение, должна обеспечивать подготовку списка экспертов, которых планируется привлечь к проведению однотипных ЭАИ, имеющих, как правило, один шаблон (экспертную карту, анкету). Обычно это блок из нескольких экспертно-аналитических исследований, проводимых в рамках одного конкретного договора (задания, контракта). В узком же смысле эта процедура подразумевает отбор экспертов из имеющегося пула для проведения

конкретного ЭАИ, например, для оценки того или иного проекта. Условимся, что, говоря ниже о формировании экспертного пула, будем понимать под этим решение задачи в широком смысле, а упоминая формирование группы – в узком.

В зависимости от располагаемого объема априорной информации об объекте ЭАИ, алгоритм решения рассматриваемой задачи может быть двух основных видов.

1. Если экспертный пул для проведения блока однотипных экспертно-аналитических исследований формируется в условиях отсутствия полной информации как об их общем количестве, так и о научно-техническом профиле [7] (далее – НТП) каждого конкретного ЭАИ, входящего в рассматриваемый блок, то имеется вариант решения задачи «сверху-вниз».

В этом случае сначала должен быть создан экспертный пул (причем с достаточной степенью избыточности в силу указанной неопределенности), а затем уже из этого пула сформированы экспертные группы для проведения конкретных ЭАИ.

Этот метод также применим, например, когда формируемый экспертный пул должен быть предварительно закреплён соответствующими нормативно-правовыми актами.

2. Если же количество и НТП экспертно-аналитических исследований известны заранее (либо достаточно четко определены временные рамки поступления заявок на проведение блока ЭАИ), то представляется целесообразным сразу подбирать экспертные группы для проведения конкретных ЭАИ. При этом формирование экспертного пула для блока ЭАИ превратится в чисто номинальную процедуру объединения уже имеющихся экспертных групп, а соответствующая задача будет решена «снизу-вверх».

С точки зрения перспектив автоматизации процесса формирования экспертных пулов вполне очевидно, что наиболее предпочтительным является второй вариант решения задачи (т.е. «снизу-вверх»), поскольку в данном случае имеется достаточный объем априорной информации. В связи с этим, далее основное внимание будет уделено именно этому методу.

2. Общие положения

В целях обеспечения достоверности результатов ЭАИ при формировании как экспертных пулов, так и групп, должны быть соблюдены следующие основные принципы [10, 11]:

- научная специализация, области научных интересов, уровень квалификации и опыта отбираемых экспертов должны соответствовать тематике и уровню сложности (масштабности) ЭАИ, к выполнению которых их планируется привлечь (принцип соответствия);

- отбираемые эксперты не должны иметь личной заинтересованности в подготовленных ими результатах ЭАИ, рекомендациях и выводах (принцип отсутствия конфликта интересов);

- уровни профессиональной подготовки и компетенции, а также спектр представительности экспертов формируемого пула (группы) должны быть сбалансированы (принцип коллегиальности).

Процедура отбора экспертов в экспертный пул (группу) может быть представлена в виде последовательности следующих операций:

- формирование поискового образа эксперта;
- поиск экспертов, удовлетворяющих поисковому образу;
- формирование списка экспертов пула (группы).

В качестве исходных данных для реализации перечисленных операций целесообразно принять совокупность значений нескольких групп параметров, описывающих:

- объект ЭАИ;
- требуемую научную специализацию, область научных интересов, уровень квалификации и опыт отбираемых экспертов;
- отсутствие конфликта интересов, т.е. личной заинтересованности отобранных экспертов в результатах ЭАИ, к выполнению которых их планируется привлечь.

К параметрам, характеризующим объект ЭАИ, можно отнести:

- НТП проводимого ЭАИ (т.е. количественную оценку соответствия объекта исследований принятым научно-техническим классификаторам);

– уровень сложности объекта (масштабность проводимого ЭАИ).

К параметрам, характеризующим научную специализацию, область научных интересов, уровень квалификации и опыт отбираемых экспертов, относят, как правило:

– научную специализацию и область научных интересов в соответствии с принятыми классификаторами научно-технической информации;

– наличие научных трудов в данной области знания, ученой степени, ученого звания;

– стаж научной (педагогической и пр.) работы;

– показатели публикационной, патентной или грантовой активности;

– занимаемую должность, место работы (регион);

– количество и качество выполненных ЭАИ;

– текущая занятость в других ЭАИ.

Наконец к параметрам, позволяющим установить отсутствие конфликта интересов, можно отнести:

– историю (список мест) учебы, работы экспертов и занимаемых ими должностей;

– историю (список мест) учебы, работы и занимаемых должностей автора (коллектива), либо список организаций, предлагающих проведение ЭАИ или заинтересованных в его результатах.

3. Формирование поискового образа эксперта

В информатике под *поисковым образом* обычно подразумевается текст, состоящий из лексических единиц информационно-поискового языка, выражающий содержание информационного запроса и предназначенный для реализации информационного поиска [12].

На основании этого определения понятие *поискового образа эксперта* (далее – ПОЭ) можно сформулировать, как поисковый образ, представляющий собой формализованный набор требований, предъявляемых к отбираемым экспертам, и содержащий

идентификационные признаки и другие сведения об эксперте, необходимые для формирования поискового запроса и осуществления процедуры поиска [1].

В качестве основного компонента ПОЭ целесообразно использовать НТП исследования [7]

$$(2) \quad Y_k = \|y_{1k} \cdots y_{jk} \cdots y_{Jk}\|^T,$$

где $y_{jk} \in [0, 1]$ – интегральный параметр, учитывающий весовой коэффициент j -й отрасли знания в k -м исследовании, а также требуемый уровень компетентности эксперта в j -й отрасли знания, необходимый для качественного проведения k -го исследования;

J – общее количество отраслей знания на низшем уровне иерархии используемой классификации.

Каждое отдельное проводимое ЭАИ также может затрагивать одновременно несколько групп отраслей знания, в том числе достаточно «отдаленных» и обособленных друг от друга в пространстве используемой классификации (далее – *обособленная область компетенции*, ООК). Как правило, такая ситуация может иметь место при выполнении сложных междисциплинарных ЭАИ, а также при экспертизе масштабных научно-технических проектов на предмет их целесообразности и реализуемости.

Исходя из самых общих соображений, можно предположить, что количество экспертов, необходимое для проведения ЭАИ, не должно быть меньше числа ООК, составляющих НТП исследования, поскольку найти одного, а уж тем более нескольких экспертов с компетенцией сложной структуры представляется достаточно проблематичным.

В связи с этим может возникнуть задача разделения конкретного сложного ЭАИ между несколькими экспертами в части, совпадающей с их специализацией. Тем не менее, не исключая вероятности (хотя и достаточно малой) существования подходящих многопрофильных экспертов, а также в интересах охвата полной группы несовместных событий, рассмотрим все варианты возможного разделения по компетенциям, которые могут возникнуть при формировании экспертных групп.

Количество обособленных областей компетенции в k -м исследовании можно определить следующим образом:

$$(3) \quad n_k = \sum_{j=1}^J \delta_{jk}, \quad \delta_{jk} = \begin{cases} 1, & y_{1k} > 0, \\ 1, & (y_{j-1k}=0) \wedge (y_{jk}>0) \wedge (j>1), \\ 0. & \end{cases}$$

Например, НТП исследования, показанный на рисунке 1, содержит три обособленные области компетенции ($n_k = 3$), каждая из которых представляет собой группу, состоящую из нескольких соседних отраслей знания в используемой классификации.

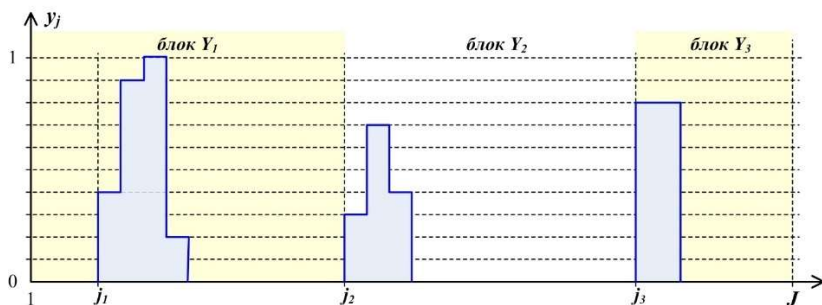


Рис. 1. Графическое представление обособленных областей компетенции

С помощью процедуры аналогичной (3) сформируем вектор-строку G_k :

$$(4) \quad G_k = \|g_{1k} \dots g_{jk} \dots g_{Jk}\|, \quad g_{jk} = \begin{cases} 1, & y_{1k} > 0, \\ j, & (y_{j-1k}=0) \wedge (y_{jk}>0) \wedge (j>1), \\ 0. & \end{cases}$$

Отличные от нуля элементы g_{jk} равны индексам «передних фронтов» ООК (для примера на рисунке 1 – это индексы j_1, j_2 и j_3). Общее количество таких ненулевых элементов равно n_k .

Транспонируем вектор-столбец Y_k и разобьем его на n_k блоков, используя в качестве границ значения g_{jk} :

$$(5) \quad Y_k^T = \left\| [y_{1k} \dots y_{(j_2-1)k}] [y_{j_2k} \dots y_{(j_3-1)k}] \dots [y_{(j_{n_k})k} \dots y_{Jk}] \right\| = \|Y_{1k} Y_{2k} \dots Y_{n_k k}\|.$$

Зная n_k , можно вычислить количество всех возможных вариантов разбиения НТП исследования по обособленным обла-

стям компетенции (или, другими словами – вариантов распределения ЭАИ между экспертами по их специализации). В этих целях воспользуемся выражением производящей функции для сочетаний без повторов [6]:

$$(6) \quad F_*(x) = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} x^i = \sum_{i=0}^n C_n^i x^i = (1+x)^n.$$

Приняв $x = 1$ и подставив значение n_k , для k -го исследования получим:

$$(7) \quad F_k = \sum_{i=0}^{n_k} C_{n_k}^i = 2^{n_k}.$$

Поскольку выборка при $i = 0$ в нашем случае не имеет смысла (так как число отбираемых экспертов априори не может равняться нулю), то выражение необходимо преобразовать с учетом данного ограничения:

$$(8) \quad F_k = \sum_{i=1}^{n_k} C_{n_k}^i = \left(\sum_{i=0}^{n_k} C_{n_k}^i \right) - C_{n_k}^0 = 2^{n_k} - 1.$$

Специфика задачи и особенности формул (7) и (8), позволяют представить возможные варианты сочетаний ООК в виде матрицы Γ_k размерностью $(2^{n_k} - 1) \times n_k$, строки которой представляют собой n_k -разрядные двоичные числа от 1 до $(2^{n_k} - 1)$, а количество единиц в строках – число ООК в сочетании – $n_{(a)k}$. Для рассматриваемого примера матрица Γ_k примет вид, представленный на рисунке 2.

Умножим поэлементно каждую строку матрицы Γ_k на соответствующие блоки вектора-строки Y_k^T . Поскольку количество столбцов Γ_k и число блоков Y_k^T одинаково и равно n_k , то в результате получим матрицу сочетаний ООК – Y_k^* размерностью $(2^{n_k} - 1) \times n_k$:

$$(9) \quad Y_k^* = \|Y_{(a,b)k}^*\|, \quad Y_{(a,b)k}^* = \Gamma_{(a,b)k} \times Y_{(b)k} = \\ \Gamma_{(a,b)k} \times [y_{(j_b)k} \cdots y_{(j_{b+1}-1)k}] = \\ [\Gamma_{(a,b)k} \times y_{(j_b)k} \cdots \Gamma_{(a,b)k} \times y_{(j_{b+1}-1)k}], \\ a = \overline{1, 2^{n_k} - 1}, \quad b = \overline{1, n_k}.$$

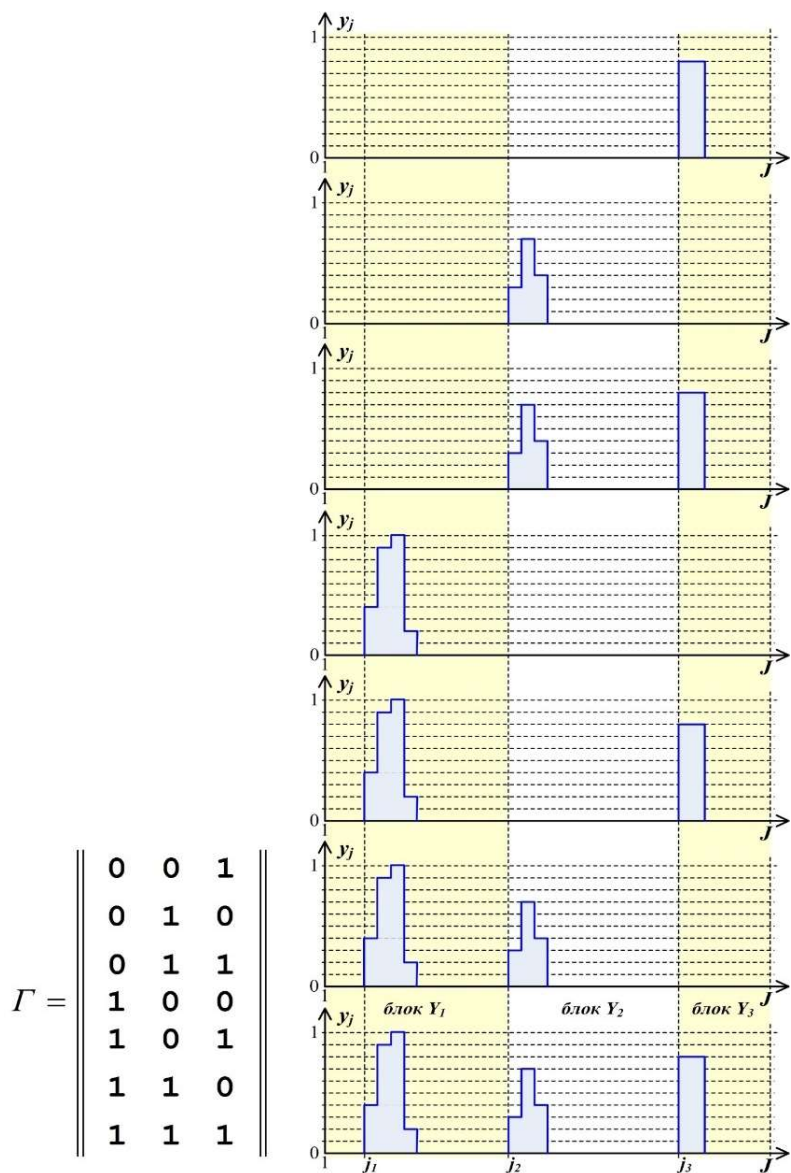


Рис. 2. Варианты возможных сочетаний обособленных областей компетенции ЭАИ со сложным НТП ($n_k = 3$)

При переходе от блочной формы, полученной в результате (9), к обычной размерность матрицы Y_k^* станет $(2^{n_k} - 1) \times J$.

В графическом виде матрица Y_k^* для рассматриваемого примера показана на рисунке 2, из которого видно, что элементы матрицы Γ выступают в качестве своеобразных «триггеров», включающих или исключающих из процесса рассмотрения те или иные ООК.

4. Отбор экспертов, удовлетворяющих поисковому образу

Процедура отбора экспертов в группу для проведения k -го исследования заключается в последовательном сравнении фрагментов его НТП, содержащихся в строках матрицы Y_k^* , с векторами компетентности экспертов [7]:

$$(10) X_i = \|x_{1i} \dots x_{ji} \dots x_{ji}\|^T, X_i \in X, i = \overline{1, I}, (10)$$

где X – матрица компетентности экспертов, зарегистрированных в Реестре,

$x_{ji} \in [0, 1]$ – интегральный параметр (коэффициент), характеризующий уровень компетентности i -го эксперта в j -й отрасли знания, то есть наличие квалификации и опыта, необходимых для качественного проведения ЭАИ.

Следует особо отметить, что для реализации сравнения НТП исследований и векторов компетенции экспертов необходимо наличие единой методики расчета значений интегральных параметров y_{jk} и x_{ji} на основании единых исходных данных. Разработка указанной методики представляет собой обособленную, достаточно сложную задачу и будет рассмотрена отдельно.

Одинаковая размерность $(J \times 1)$, а также единый подход в понимании и расчете значений элементов векторов Y_k и X_i , позволяет интерпретировать их как точки в общем J -мерном евклидовом пространстве.

Расстояние между двумя произвольными точками в таком пространстве обычно определяют по формуле Евклидова расстояния:

$$(11) d(X_i, Y_k) = \sqrt{\sum_{j=1}^J (x_{ji} - y_{jk})^2}.$$

Таким образом, если принять определяемую Y_k точку за центр (точку отсчета), то расстояние $d(X_i, Y_k)$ будет служить мерой удаленности X_i от этого центра или другими словами – соответствия компетентности i -го эксперта научно-техническому профилю k -го исследования. Задав границу (порог) r^* , определяющую предельно допустимую удаленность экспертов от центра, можно сформулировать решающее правило, реализующее классификацию на два класса и позволяющее отобрать требуемых экспертов [8]:

$$(12) t_i = \begin{cases} 1, & d(X_i, Y_k) \leq r^*, \\ 0, & d(X_i, Y_k) > r^*, \end{cases}$$

где t_i – метка класса, принимающая одно из двух возможных значений.

В геометрической интерпретации такой порог будет иметь вид гиперсферы в J -мерном пространстве с центром в точке Y_k и радиусом r^* , а предварительному отбору в состав экспертной группы будут подлежать эксперты, образы X_i которых находятся внутри этой гиперсферы.

Рассмотренный метод достаточно прост и практичен, однако в многомерных пространствах приводит к так называемой проблеме «проклятия размерности» (аналог закона больших чисел в теории вероятностей). При размерности пространства $n \rightarrow \infty$, расстояния во всех парах объектов становятся практически одинаковыми и следовательно – неинформативными, а сами объекты – слаборазличимыми, что существенно затрудняет решение задачи классификации [2].

В нашем случае размерность векторов X_i, Y_k определяется количеством J отраслей знания на низшем уровне иерархии используемой классификации, которое достаточно велико, что не позволяет напрямую применить метод классификации по евклидовому расстоянию для эффективного отбора экспертов.

Кроме этого, при использовании выражений (11)–(12) первичный отбор в группу смогут пройти эксперты, у которых значения признаков x_{ji} будут меньше соответствующих требуемых

значений НТП исследования y_{jk} , что может быть неприемлемым в силу ограничений по процедуре проведения ЭАИ.

Ситуацию можно попробовать разрешить двумя способами.

В первом случае можно попытаться уменьшить размерность J векторов X_i, Y_k путем перехода на более высокий уровень иерархии используемой классификации, как это реализуется алгоритмом объединения (древовидной кластеризации) при кластерном анализе [5].

Однако такое решение автоматически приводит с одной стороны – к необходимости пересчета значений элементов этих векторов, а, следовательно, к усложнению методики расчета и реализующего ее алгоритма, а с другой – к снижению качества решения задачи по отбору экспертов из-за потерь априорной информации о проекте и отбираемых экспертах, что может быть неприемлемо с точки зрения требований по организации и проведению ЭАИ.

Второй вариант заключается в более тщательном выборе метрики в рассматриваемом пространстве объектов. По сути метрика представляет собой математическую модель сходства объектов. Ее выбор во многих случаях не однозначен и является серьезной задачей в задачах классификации. В большинстве метрических алгоритмов предполагается, что метрика фиксирована, однако в последнее время все чаще находят применение адаптивные методы, в которых метрика настраивается по обучающей выборке [2].

Остановимся на втором варианте. В нашем конкретном случае возможно применить метрику, используемую, как правило, для категориальных (качественных), а не количественных данных. Примером такой метрики может служить так называемый «процент несогласия» [5], при котором расстояние между двумя точками x и y вычисляется по формуле:

Расстояние $(x, y) = (\text{Количество } (x_i \neq y_i)) / I, i = \overline{1, I}$.

Рассмотрим метрику на основе алгоритма, сопоставляющего вектор компетентности эксперта X_i с произвольной строкой $Y_{(a)k}^*$ полученной ранее матрицы сочетаний ООК:

$$(13) Y_k^* = \|Y_{(a)k}^*\|, a = \overline{1, 2^{n_k} - 1}, \text{ где } Y_{(a)k}^* = \|y_{(a)jk}^*\|, j = \overline{1, J}.$$

Сопоставление будем осуществлять путем проверки выполнения комплекса условий для каждой пары значений $(x_{ji}, y_{(a)jk}^*)$. Поясним эти условия на рассматриваемом примере с помощью рисунка 3, на верхнем графике которого показана строка матрицы сочетаний ООК для $a = 2$, а на нижнем – два сопоставляемых с ней вектора компетенции произвольных экспертов X_1 и X_2 .

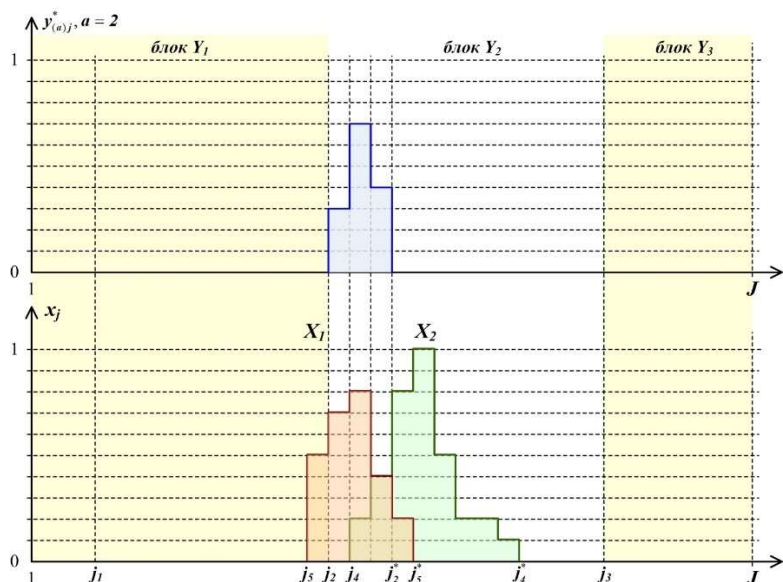


Рис. 3. Пример сопоставления фрагмента научно-технического профиля исследования и вектора компетенции эксперта

Условие 1 связано с учетом только тех пар $(x_{ji}, y_{(a)jk}^*)$, для которых выполняется неравенство $y_{(a)jk}^* > 0$. Это представляется целесообразным, поскольку с формальной точки зрения при отборе экспертов должны учитываться только те их компетенции, которые имеют отношение к НТП конкретного ЭАИ. Таким образом, в рассматриваемом примере в сопоставлении будут участвовать лишь элементы векторов X_1 и X_2 , находящиеся в интервале $[j_2, j_2^*]$ (рис. 3).

Условие 2 исключает из рассмотрения экспертов, для которых в пределах анализируемой ООК (т.е. при $y_{(a)jk}^* > 0$) не выполняется неравенство $x_{ji} > 0$, т.е. вектор компетентности эксперта не перекрывает ООК полностью. В нашем примере (рис. 3) будет отклонена кандидатура эксперта X_2 , так как на интервале $[j_2, j_4]$ у него отсутствует требуемая компетенция ($x_{ji} = 0$).

Условие 3 проверяется для экспертов, удовлетворяющих условиям 1–2, и позволяет непосредственно отобрать экспертов, чей уровень компетентности соответствует требованиям, заложенным в НТП ЭАИ. Оно может быть реализовано посредством следующих вариантов решающих правил.

Решающее правило 1 самое простое и подразумевает отбор экспертов, уровень компетентности которых не хуже требований, установленных профилем исследования:

$$(14) \ t_{(a)ijk} = \begin{cases} 1, & (x_{ji} \geq y_{(a)jk}^*), \\ 0, & (x_{ji} < y_{(a)jk}^*). \end{cases}$$

При его применении отбор пройдет эксперт X_i (рис. 3).

Решающее правило 2 содержит переменную порога r_k^* , который не может быть превышен при отборе эксперта:

$$(15) \ t_{(a)ijk} = \begin{cases} 1, & (y_{(a)jk}^* + r_k^* \geq x_{ji} \geq y_{(a)jk}^*), \\ 0, & (x_{ji} < y_{(a)jk}^*) \vee (x_{ji} > y_{(a)jk}^* + r_k^*). \end{cases}$$

В этом случае уровень компетентности отбираемого эксперта должен с одной стороны отвечать требованиям, заданным НТП исследования, а с другой – не превышать установленного порога. Для нашего примера (рис. 3) эксперт X_i пройдет отбор только при условии, что значение порога r_k^* будет не менее 0,4.

Решающее правило 3 является расширением выражения (15) для случая, когда допустимый уровень компетентности отбираемых экспертов устанавливается в виде диапазона $[-r_k^*, r_k^*]$ относительно заданных требований:

$$(16) \ t_{(a)ijk} = \begin{cases} 1, & (y_{(a)jk}^* + r_k^* \geq x_{ji} \geq y_{(a)jk}^* - r_k^*), \\ 0, & (x_{ji} < y_{(a)jk}^* - r_k^*) \vee (x_{ji} > y_{(a)jk}^* + r_k^*). \end{cases}$$

Этот вариант может понадобиться, если число экспертов, отобранных в соответствии с решающим правилом (15), недоста-

точно и в рассмотрение необходимо включить экспертов, уровень компетентности которых незначительно меньше установленного требованиями.

Решающее правило 4 является вариантом выражения (15) в случае, когда порог r_{jk}^* задается индивидуально для каждой j -й области знания, входящей в рассматриваемую ООК:

$$(17) t_{(a)ijk} = \begin{cases} 1, & (y_{(a)jk}^* + r_{jk}^* \geq x_{ji} \geq y_{(a)jk}^*), \\ 0, & (x_{ji} < y_{(a)jk}^*) \vee (x_{ji} > y_{(a)jk}^* + r_{jk}^*). \end{cases}$$

Решающее правило 5 в свою очередь, является расширением выражения (17) при задании допустимого уровня компетентности экспертов в виде диапазона $[-r_{jk}^*, r_{jk}^*]$ относительно заданных требований индивидуально для каждой j -й области знания, входящей в рассматриваемую ООК:

$$(18) t_{(a)ijk} = \begin{cases} 1, & (y_{(a)jk}^* + r_{jk}^* \geq x_{ji} \geq y_{(a)jk}^* - r_{jk}^*), \\ 0, & (x_{ji} < y_{(a)jk}^* - r_{jk}^*) \vee (x_{ji} > y_{(a)jk}^* + r_{jk}^*). \end{cases}$$

Количество j -х отраслей знания, для которых выполняется рассматриваемый комплекс условий (на примере *решающего правила 4*) можно определить следующим образом:

$$(19) m_{(a)ik}^* = \sum_{j=1}^J t_{(a)ijk}^*,$$

где $t_{(a)ijk}^* =$

$$\begin{cases} 1, & (y_{(a)jk}^* > 0) \wedge (x_{ji} > 0) \wedge (y_{(a)jk}^* + r_{jk}^* \geq x_{ji} \geq y_{(a)jk}^*), \\ 0. \end{cases}$$

При этом, суммарное количество отраслей знания, составляющих ООК, в строке $Y_{(a)k}^*$, рассчитывается как

$$(20) m_{(a)k} = \sum_{j=1}^J t_{(a)jk}, \text{ где } t_{(a)jk} = \begin{cases} 1, & (y_{(a)jk}^* > 0), \\ 0. \end{cases}$$

Знание величин $m_{(a)ik}^*$ и $m_{(a)k}$ позволяет сформулировать решающее правило отбора эксперта в группу.

Основанием для предварительного отбора эксперта в группу является одновременное выполнение *условий 1–3* для всех отраслей знания на всем интервале в пределах анализируемой ООК, что подразумевает в конечном итоге равенство значений $m_{(a)ik}^*$ и $m_{(a)k}$.

$$(21) \ t_{(a)ik} = \begin{cases} 1, & (m_{(a)ik}^* = m_{(a)k}), \\ 0, & (m_{(a)ik}^* < m_{(a)k}). \end{cases}$$

Расстояние в этом случае как таковое не рассчитывается, а принимает только два значения, эквивалентные $t_{(a)ik}$.

Следует отметить, что уровень компетентности экспертов, прошедших предварительный отбор в группу, в дальнейших рассуждениях учитываться не будет, т.е. с этой точки зрения они признаются «неразличимыми».

5. Формирование экспертных групп

В результате последовательного выполнения процедур, определяемых выражениями (14)–(21), со всеми строками матрицы Y_k^* для произвольного k -го исследования получим набор подмножеств

$$(22) \ X_{(a)k}^* \subset E, a = \overline{1, 2^{n_k} - 1}.$$

Каждое из этих подмножеств представляет собой совокупность экспертов ε , прошедших первичный отбор и удовлетворяющих установленным требованиям по строке $Y_{(a)k}^*$ матрицы сочетаний ООК:

$$(23) \ X_{(a)k}^* = \{\varepsilon\}_{(a)k}, \varepsilon \in E, a = \overline{1, 2^{n_k} - 1}.$$

Исходя из самых общих предположений, подмножества $X_{(a)k}^*$ могут пересекаться, т.е. содержать одни и те же элементы, поскольку в силу своей компетенции некоторые эксперты могут быть отобраны по нескольким различным ООК одного исследования. Таким образом, вполне очевидно, что общий список предварительно отобранных экспертов может быть избыточен и потребует минимизации.

Прежде всего следует помнить, что минимизированный список экспертов должен обеспечивать полное «перекрытие» всех ООК НТП исследования при формировании экспертных групп. Следовательно, так как подмножества экспертов $X_{(a)k}^*$ формируются на основе соответствующих строк $\Gamma_{(a)k}$ матрицы Γ_k , то тре-

буется подобрать такие сочетания строк $\Gamma_{(a)k}$, чтобы их побитовая логическая сумма образовывала бы строку, все элементы которой равны единице.

Для этого преобразуем матрицу Γ_k к виду $\Gamma_k = \|\Gamma_1^T \dots \Gamma_a^T \dots \Gamma_{2^{n_k}-1}^T\|^T$, т.е. представим ее как вектор-столбец, каждый элемент которого является соответствующей строкой исходной матрицы Γ_k .

Поскольку с одной стороны порядок строк в кортеже не имеет значения (неупорядоченная выборка), а с другой – сами строки в кортеже могут повторяться (что в перспективе потенциально позволит сократить количество экспертов, отбираемых в группу), то множество всех возможных вариантов сочетаний элементов вектора-столбца $C(\Gamma_k)$ можно сгенерировать на основе комбинаторных сочетаний с повторениями.

Общее количество таких сочетаний равняется мощности результирующего множества и может быть рассчитано по формуле сочетаний с повторениями

$$(24) |C(\Gamma_k)| = \bar{C}_{2^{n_k}-1}^{n_k} = C_{2^{n_k}-1+n_k-1}^{n_k} = \frac{(2^{n_k} - 1 + n_k - 1)!}{n_k! (2^{n_k} - 1)!}.$$

Теперь из множества $C(\Gamma_k)$ необходимо выделить подмножество $\Gamma_k^{(1)}$, состоящее из однотипных кортежей $(\Gamma_{a_1}, \dots, \Gamma_{a_l}, \dots, \Gamma_{a_{n_k}})$, побитовая логическая сумма которых дает в результате строку, содержащую единицы во всех позициях. Для этого зададим на множестве $C(\Gamma_k)$ отношение.

В математике подмножество декартового произведения n множеств называется *отношением степени n (n -арным отношением)* на этих множествах [9]. Отношение включает не все возможные кортежи из декартового произведения, а лишь соответствующие заданному критерию, определяющему его семантику (смысл).

Т.е. каждому отношению можно поставить в соответствие некоторое логическое выражение (*предикат отношения*) определяющее, будет ли произвольный кортеж принадлежать этому отношению. В более точной формулировке кортеж принадлежит

отношению тогда и только тогда, когда предикат этого отношения принимает значение «истина». Предикат, в свою очередь, принимает значение «истина» (или «1») при выполнении определяющего его условия, и значение «ложь» (или «0») – в противном случае.

Предикат, определяющий необходимое нам отношение, имеет вид:

$$(25) P_1(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) = \{(x_1 | \dots | x_i | \dots | x_n) = (\delta_1, \dots, \delta_i, \dots, \delta_n)\},$$

где $\forall (i = \overline{1, n}): \delta_i = 1$.

Его множеством истинности на множестве $C(\Gamma_k)$ будет являться искомое подмножество удовлетворяющих заданному условию кортежей:

$$(26) \Gamma_k^{(1)} = P_1^+ \{C(\Gamma_k)\} = \left\{ \exists \left(\Gamma_{a_1}, \dots, \Gamma_{a_i}, \dots, \Gamma_{a_{n_k}} \right) \in C(\Gamma_k) : \left(P_1 \left(\Gamma_{a_1}, \dots, \Gamma_{a_i}, \dots, \Gamma_{a_{n_k}} \right) = 1 \right) \right\},$$

где $a_i = \overline{1, 2^{n_k} - 1}$.

Выражение (26) является необходимым, но не достаточным условием. В случае, когда хотя бы одно из соответствующих элементам кортежа подмножеств не содержит ни одного эксперта (т.е. $\mathcal{X}_{(a)_k}^* = \emptyset$), кортеж из рассмотрения должен быть исключен, поскольку не обеспечивает полное перекрытие ООК НТП исследования.

Соответствующим этому условию предикатом будет

$$(27) P_2 \left(\Gamma_{a_1}, \dots, \Gamma_{a_i}, \dots, \Gamma_{a_{n_k}} \right) = \left\{ \left(\bigwedge_{i=1}^{n_k} (\mathcal{X}_{(a_i)_k}^* \neq \emptyset) \right) = 1 \right\},$$

где $a_i = \overline{1, 2^{n_k} - 1}$,

а его множеством истинности на уже известном подмножестве $\Gamma_k^{(1)}$ –

$$(28) \Gamma_k^{(2)} = P_2^+ \left\{ \Gamma_k^{(1)} \right\} = \left\{ \exists \left(\Gamma_{a_1}, \dots, \Gamma_{a_i}, \dots, \Gamma_{a_{n_k}} \right) \in \Gamma_k^{(1)} : \left(P_2 \left(\Gamma_{a_1}, \dots, \Gamma_{a_i}, \dots, \Gamma_{a_{n_k}} \right) = 1 \right) \right\},$$

где $a_i = \overline{1, 2^{n_k} - 1}$.

Оставшиеся кортежи необходимо ранжировать в соответствии с суммарным количеством ООК, содержащихся в каждой строке, входящей в состав произвольного кортежа

$$(29) R(\Gamma_{a_1}, \dots, \Gamma_{a_i}, \dots, \Gamma_{a_{n_k}}) = \sum_{i=1}^{n_k} n_{(a_1)k}.$$

Кортежи, обладающие бóльшим значением R (далее – рейтинг), потенциально будут обеспечивать проведение ЭАИ меньшим количеством экспертов (за счет перекрытия одним экспертом нескольких ООК) и наоборот. Значения рейтинга целочисленные и заключены в диапазоне $[n_k, (n_k)^2]$.

Подбирая кортежи в соответствии с рейтингом, необходимо принять во внимание требуемое количество экспертов, обычно устанавливаемое заданием на проведение блока (группы) однотипных ЭАИ в зависимости от уровня сложности объекта исследования или масштабности проводимого ЭАИ. Это количество может быть задано двумя способами: либо абсолютной величиной (диапазоном величин) – общим количеством экспертов для одного ЭАИ, либо относительной – в виде кратности экспертов, т.е. их числа для каждой ООК ЭАИ.

Кроме этого, представляется целесообразным сохранить некоторую минимально допустимую избыточность списка, если в силу каких-либо причин окончательно отобранные в список эксперты не смогут принять участие в проведении предлагаемого им ЭАИ.

С точки зрения организации проведения ЭАИ основной задачей рассмотренных этапов процедуры формирования экспертных групп являлось обеспечение принципов соответствия (в полной мере) и коллегиальности (в части, касающейся сбалансированности уровней профессиональной подготовки и компетенции экспертов).

Дальнейшая процедура формирования экспертных групп состоит в подстановке на позиции элементов выбранного кортежа $(\Gamma_{a_1}, \dots, \Gamma_{a_i}, \dots, \Gamma_{a_{n_k}})$ конкретных экспертов из соответствующих подмножеств $\mathcal{X}_{(a)k}^*$.

В организационном плане этот этап процедуры должен в полной мере обеспечить выполнение принципа отсутствия конфликта интересов с одной стороны, а с другой – принципа коллегиальности в части разнообразия представительства экспертов в группе (т.е. их принадлежности к различным научным организациям, вузам, НИИ, научным школам и т.п.). Вопросы, связанные с методикой отбора экспертов в соответствии с указанными принципами, должны стать предметом отдельного исследования и выходят за рамки данной статьи.

Таким образом, в результате выполнения перечисленных процедур получаем одну или несколько экспертных групп, каждая из которых представляет собой сбалансированный список потенциальных экспертов, отвечающих параметрам заданного поискового образа, распределенных по соответствующим ООК НТП исследования и не заинтересованных по формальным признакам в его результатах.

6. Управление процедурой формирования экспертных групп

В случае чрезмерной избыточности или наоборот, недостаточной укомплектованности экспертной группы процедура формирования должна быть выполнена повторно, но при других значениях параметров реализующего ее алгоритма. Эти параметры и являются инструментами, с помощью которых возможно осуществить управление рассматриваемой процедурой.

Вектор параметров алгоритма формирования экспертных групп Π_L в самом общем можно представить следующим образом:

$$(30) \Pi_L = \|\Pi_{\text{ФПО}} \quad \Pi_{\text{ПЭ}} \quad \Pi_{\text{ФСЭ}}\|^T,$$

где

$\Pi_{\text{ФПО}}$ – параметры алгоритма формирования поискового образа эксперта;

$\Pi_{\text{ПЭ}}$ – параметры алгоритма поиска экспертов, удовлетворяющих ПОЭ;

$\Pi_{\text{ФСЭ}}$ – параметры алгоритма формирования списка экспертов.

К параметрам алгоритма формирования ПОЭ можно отнести количественный и качественный состав строк матрицы Γ_k , используемых для генерации кортежей.

Так, например, в целях упрощения процедуры отбор экспертов можно последовательно осуществлять отдельно для каждой из ООК НТП исследования. Применительно к матрице Γ_k , это означает рассмотрение только одного кортежа, состоящего из строк, представляющих собой единичные вектора, для которых $n_{(a)k} = 1$. Рейтинг такого кортежа будет минимален и равен n_k .

Также возможно использовать, например, только последнюю строку матрицы Γ_k , поскольку все ее элементы уже изначально равны единице, то все эксперты, вошедшие в соответствующее подмножество $\mathcal{X}_{(2^{n_k-1})k}^*$, будут компетентны во всех ООК одновременно.

В принципе, подмножество $\mathcal{X}_{(2^{n_k-1})k}^*$ как раз и можно было бы рассматривать в качестве искомого минимизированного списка экспертов, однако подобрать одного, а тем более нескольких таких экспертов весьма проблематично, и, следовательно, велика вероятность того, что это подмножество окажется пустым, т.е. $\mathcal{X}_{(2^{n_k-1})k}^* = \emptyset$, и необходимо проанализировать другие варианты.

Параметрами алгоритма поиска экспертов, удовлетворяющих ПОЭ, можно считать способ задания метрики, размеры задаваемых порогов, а также формат используемых решающих правил.

Наконец, в качестве параметров алгоритма формирования списка экспертов целесообразно использовать допустимые пороги аффилиции эксперта и проводимого им ЭАИ и/или взаимной аффилиции экспертов внутри группы.

Вопросы, связанные с оптимизацией значений параметров алгоритма формирования экспертных групп, являются предметом отдельного исследования и выходят за рамки данной статьи.

7. Заключение

Рассмотренный метод формирования экспертных групп является достаточно обобщенным, и при организации и проведении конкретных экспертно-аналитических исследований в силу их специфики могут быть использованы и другие подходы.

Однако, наличие возможности управления процедурой формирования экспертных групп (пулов) за счет изменения параметров реализующего ее алгоритма дает неоспоримые преимущества с точки зрения перспектив создания функционала автоматической динамической адаптации указанного алгоритма под конкретное ЭАИ в интересах обеспечения высокой достоверности его результатов.

Статья подготовлена в рамках научно-исследовательской работы, выполняемой ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ по заданию № 2.10.2016/НМ Министерства образования и науки РФ на выполнение работ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности.

Литература

1. БЕЛОУСОВ В.Л., ДИВУЕВА Н.А. *Формирование модели механизма организации экспертной деятельности в сфере науки* // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2013, № 8. с. 43. [Электронный ресурс] // URL: http://uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=2318:2013-08-31-06-29-37 (дата обращения: 12.05.2016).
2. ВОРОНЦОВ К.В. *Лекции по метрическим алгоритмам классификации* // Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН [Официальный сайт] // URL: <http://www.ccas.ru/voron/download/MetricAlgs.pdf> (дата обращения: 16.06.2016).
3. ДЮЙЗЕН Е.Ю. *Комплексный анализ ситуаций при принятии руководителем качественных управленческих решений* // Лидерство и менеджмент, № 2(1), 2015. – С. 19–34.

4. ЕРЕМЕНКО В.Т., САЗОНОВ М.А., ФОМИН С.И., ПЕТРОВ В.А. *Моделирование процесса формирования экспертной группы по заданной тематике* // Информационные системы и технологии. – № 3 (71). – Орел: Госуниверситет – УНПК, 2012. – С. 23–30.
5. *Кластерный анализ*. Электронный учебник по статистике // StatSoft Russia [Официальный сайт] // URL: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stcluan.html#d> (дата обращения: 16.06.2016).
6. КОРН Г.А., КОРН Т.М. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – 4-е. – М.: «Наука», 1978. – С. 569.
7. МЕЛЬНИК П.Б. *Математическая постановка задачи формирования реестра экспертов* // Инноватика и экспертиза. Научные труды ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. – № 2 (13), 2014. – С. 69–81.
8. *Метод опорных векторов для стандартной задачи классификации*. URL: http://www.machinelearning.ru/wiki/images/2/25/SMAIS11_SVM.pdf (дата обращения: 20.05.2016).
9. *Множества и отношения*. Лекция. Новгородский государственный университет [Официальный сайт] // URL: <http://www.novsu.ru/file/672233> (дата обращения: 24.06.2016).
10. *Научно-техническая экспертиза*. Стандарты организации. Подбор экспертов. СТО 11313707-03.005-2006. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ [Официальный сайт] // URL: http://www.extech.ru/activity/expertise/sto/03_005.pdf (дата обращения: 05.07.2016).
11. *Положение о Федеральном реестре экспертов научно-технической сферы (проект)*. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ [Официальный сайт] // URL: <https://reestr.extech.ru/docs/polojhenie.php> (дата обращения: 05.07.2016).
12. *Словари* [Электронный ресурс] // Группа «ФИНАМ» [Официальный сайт]. URL: <http://www.finam.ru/dictionary/wordf0048000013/?page=1> (дата обращения: 05.05.2016).
13. GUBANOV, D., KORGIN, N., NOVIKOV, D., RAIKOV, A. *E-Expertise: Modern Collective Intelligence*. Switzerland: Springer, 2014. – 112 p.

14. NESHATI, M., BEIGY, H., HIEMSTRA, D. (2014). Expert group formation using facility location analysis. *Information Processing & Management*, 50(2), 361–383. doi: 10.1016/j.ipm.2013.10.001.
15. NESHATI, M., BEIGY, H., HIEMSTRA, D. (2012). Multi-aspect group formation using facility location analysis. In *Proceedings of the seventeenth Australasian Document Computing Symposium, ADCS '12* (pp. 62–71). New York, NY, USA: ACM (ISBN 978-1-4503-1411-4).
16. YUE, Z. (2012). Approach to group decision making based on determining the weights of experts by using projection method. *Applied Mathematical Modelling*, 36(7), 2900–2910. doi: 10.1016/j.apm.2011.09.068.

METHODOLOGY OF FORMATION OF EXPERT POOLS AND GROUPS FOR CONDUCTION OF EXPERT-ANALYTICAL RESEARCHES

Pavel Melnick, Scientific Research Institute – Federal Research Centre for Projects Evaluation and Consulting Services, Moscow, Doctor of Engineering, Docent, Deputy Director General for R&D (pmelnick@mail.ru).

Abstract: The article proposes an approach to formalization of expert groups (pools) forming process based on the application of the methods of combinatorics, set theory and relations, the theory of matrices, the classification metric algorithms and predicate logic. The definitions of search pattern of an expert and separate areas of expertise are given.

Keywords: expert-analytical researches; scientific and technical profile; expert pool; expert group; search pattern of an expert; area of competence.

Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...

Поступила в редакцию ...заполняется редактором...

Рубрика Сборника (окончательно выбирается редактором)

Опубликована ...заполняется редактором...