

# РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫМИ АВТОБУСНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ НА БАЗЕ МЕТОДОВ КОЛЛЕКТИВНОЙ МНОВариАНТНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ<sup>1</sup>

А.А. Ахохов, Н.О. Блудян, Ю.А. Дорофеев, А.Л. Чернявский

Рассмотрен подход к разработке системы управления межрегиональными автобусными перевозками на базе методологии коллективной многовариантной экспертизы. Предложен метод независимой многовариантной экспертизы, учитывающий специфику задачи и состоящий из шести основных этапов: формирование списка кандидатов в эксперты; формирование списка относительно независимых проблем; оценка компетентности потенциальных экспертов; формирование экспертных комиссий; работа созданных экспертных комиссий; формирование итогового проекта решения задачи и передача лицу, принимающему решение. Приведены предварительные результаты применения предложенного метода к решению задачи регулирования рынка межрегиональных автобусных перевозок между Северо-Кавказским федеральным округом и Москвой.

**Ключевые слова:** межрегиональные автобусные перевозки, организационное управление, регулирование рынка, коллективная многовариантная экспертиза.

## ВВЕДЕНИЕ

Ежедневно в Москву прибывает более 3000 рейсовых автобусов, осуществляющих междугородные (свыше 50 км от города) и международные перевозки. Значительную часть из них составляют перевозки из разных регионов Российской Федерации. Рынок межрегиональных автобусных перевозок типа «Регион РФ — Москва» формировался в значительной степени стихийно, без учета действующей для этого типа перевозок законодательной и нормативной базы. В результате остаются нерешенными такие проблемы, как ухудшение и без того сложной дорожной обстановки в ряде районов Москвы, обеспечение безопасности перевозок, проведение антитеррористических мероприятий на транспорте, рост числа нелегальных и «полулегальных» перевозчиков и др. Очевидно, что сами участники рынка решать такие проблемы не в состоянии. Одним из наиболее проблемных направлений пассажирских автоперевозок явля-

ются перевозки между Северо-Кавказским федеральным округом (СКФО) и Москвой. Во-первых, эти перевозки имеют специфику, связанную с депрессивным состоянием экономики большинства субъектов, входящих в этот округ. Основную долю пассажиров автобусов, осуществляющих такие перевозки, составляют своего рода «челноки», возущие товары для продажи из СКФО в Москву (в основном продукцию сельского хозяйства) и обратно (в основном «ширпотреб»). Поэтому далеко не у всех маршрутов конечным пунктом является автовокзал или официально разрешенная автостоянка. Большая часть автобусов завершает свой путь у крупных рынков и торговых центров Москвы. Большинство из них не располагает парковочными местами для таких автобусов, а также инфраструктурой для организации безопасной посадки-высадки пассажиров, контроля технического состояния подвижного состава и проведения антитеррористических мероприятий. Это создает помехи для движения городского транспорта. В настоящее время из 16 действующих маршрутов только 5 внесены в утверждаемый Министерством транспорта РФ «Общий реестр регулярных автобусных

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 11-07-00735, 11-07-00178, 12-07-00540, 13-07-00992).

маршрутов между субъектами Российской Федерации», да и то по большей части это все сделано формально, а реально они являются «полулегальными» заказными перевозками. При большом объеме такого типа перевозок увеличивается опасность их использования в террористических целях, поскольку в таких регионах СКФО, как Чечня, Ингушетия и особенно Дагестан, борьба с терроризмом далеко не завершена.

Проблема регулирования рынка межрегиональных автобусных перевозок плохо поддается формализации, требует учета множества факторов, не отражаемых в статистической отчетности, а также согласования противоречивых интересов сторон, участвующих в процессе пассажирских перевозок [1]. При решении такого рода проблем невозможно обойтись без экспертов, т. е. специалистов, по роду своей работы хорошо знакомых с теми или иными аспектами проблемы. Однако классические методы экспертизы, которые решают задачу выбора лучшего варианта из фиксированного множества вариантов, причем варианты оцениваются по заданным критериям, а оценки даются незаинтересованными экспертами, в данном случае неприменимы [2]. Здесь нет заданного множества вариантов регулирования рынка перевозок, эти варианты еще только предстоит разработать; есть противоречие интересов (например, интересов перевозчиков и пассажиров и интересов работников, отвечающих за эффективность работы транспортной сети); а потому нет и незаинтересованных экспертов, поскольку каждый из них отвечает за определенный участок работы. Для решения такого рода слабо формализованных задач были разработаны методы коллективной многовариантной экспертизы [3].

В настоящей работе предложен подход к решению указанной проблемы, основанный на разработанном авторами модифицированном методе коллективной многовариантной экспертизы, а также излагается методическая и алгоритмическая база, позволяющая реализовать этот подход.

## 1. МЕТОДЫ КОЛЛЕКТИВНОЙ МНОВАРИАНТНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Концепция наиболее применяемого на практике варианта коллективной многовариантной экспертизы — бесконфликтной многовариантной экспертизы — базируется на нескольких основных принципах [4]:

— экспертиза проводится в экспертных комиссиях, число которых не меньше числа различных точек зрения на исследуемую проблему;

— в одну и ту же комиссию включаются эксперты, имеющие близкие точки зрения на проблему экспертизы;

— в каждой комиссии работают эксперты, не имеющие конфликтных взаимоотношений;

— для экспертизы отбираются условно компетентные эксперты;

— организация и проведение экспертизы, обработка экспертных оценок, формирование результатов экспертизы должны проводиться специальной консалтинговой группой, независимой и не заинтересованной в результатах экспертизы, которая представляет результаты обсуждения и свои рекомендации руководству организации для принятия окончательного решения.

Отметим, что для реализации каждого из пунктов приведенной Концепции (кроме последнего) существенно используются алгоритмы многомерного кластерного анализа (автоматической классификации) [5].

Методы коллективной многовариантной экспертизы разрабатывались, главным образом, для решения нестандартных управленческих задач, возникающих в рамках одного крупного ведомства, такого как: федеральное или региональное министерство, департамент или административно-управленческая структура управления исследуемым видом деятельности (например, пассажирскими автоперевозками) [4]. В рассматриваемом случае мы сталкиваемся с межведомственной проблемой, затрагивающей, помимо самих участников рынка (перевозчиков), такие государственные и общественные организации, как Министерство транспорта РФ; Государственное казенное учреждение г. Москвы «Организатор перевозок» (отвечающее за организацию пассажирских перевозок наземным транспортом на территории Москвы); региональные органы управления транспортом (в каждом из регионов СКФО); Российский автотранспортный союз; Московский транспортный союз; общественные организации, объединяющие перевозчиков и автовокзалы, в том числе два некоммерческих партнерства — «Единая транспортная система «Автобусные линии страны»» и «Развитие автовокзалов страны».

В этой ситуации непосредственное применение классических методов коллективной многовариантной экспертизы для поставленной задачи оказывается практически невозможным по ряду причин:

— при отсутствии единого руководства никто не может обязать экспертов из разных организаций работать в экспертных комиссиях;

— эксперты из разных организаций мало знают о компетенциях друг друга, поэтому предлагаемые



в работах [3—5] методики оценки компетентности экспертов на основании мнений других экспертов, входящих в ту же экспертную комиссию, в нашем случае оказываются неэффективными;

— согласно Концепции, эксперты разбиваются на небольшое число групп «экспертов-единомышленников», имеющих близкие точки зрения на проблему в целом. Из этих групп и формируются экспертные комиссии. При большом числе организаций, имеющих отношение к межрегиональным автобусным перевозкам, и разнообразию выполняемых этими организациями функций трудно надеяться на то, что удастся сформировать такие комиссии.

## 2. МЕТОД НЕЗАВИСИМОЙ МНОВАРИАНТНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

С учетом перечисленных обстоятельств была разработана модификация коллективной многовариантной экспертизы, адекватная специфике поставленной задачи разработки системы управления межрегиональными автобусными перевозками (на примере пассажирских автоперевозок между СКФО и Москвой), названная *независимой коллективной многовариантной экспертизой* (НМВЭ).

Важное отличие метода НМВЭ от классических процедур коллективной многовариантной экспертизы состоит в том, что работа экспертов проходит, в основном, в заочной форме, при которой каждый эксперт узнает мнения других экспертов, входящих в ту же экспертную комиссию, от консультантов (членов консалтинговой группы, проводящих экспертизу); через них же по специальной процедуре проводится обсуждение спорных вопросов. Но основное и весьма существенное отличие разработанного метода состоит в том, что в процессе экспертизы разрабатываются не варианты решения исходной задачи в целом, а выявляются и разрабатываются варианты решения *относительно независимых проблем*, связанных с исходной задачей, совокупное решение которых обеспечивает также решение и исходной задачи.

Реализация НМВЭ разбивается на шесть основных этапов.

### 2.1. Формирование списка кандидатов в эксперты (этап 1)

Вначале составляется список специалистов и участников рынка, мнение которых будет заведомо полезно для разработчиков системы, и которые согласились работать экспертами, это — список первого уровня  $S_1$ . Желательно, чтобы в этом списке были представлены все основные заинтересо-

ванные стороны по исследуемой проблеме. На этом этапе предлагается активно использовать процедуры типа «снежный ком» [6], основная идея работы которых сводится к следующему. Каждого попавшего в список  $S_1$  просят дать несколько фамилий людей, которые, по его мнению, являются достаточно квалифицированными специалистами по некоторым аспектам предметной области, и их можно привлечь как потенциальных экспертов. Суммарно это — список второго уровня  $S_2$ . Такие итерации продолжают до тех пор, пока либо число кандидатов в эксперты в списке  $S_j$  не превысит заранее установленный порог, либо когда перестанут появляться новые фамилии претендентов, т. е.  $S_j = S_{j+1}$ . Получившийся список предлагается фильтровать с помощью членов консалтинговой группы, проводящей экспертизу, а также участников списка  $S_1$ , в итоге будет сформирован предварительный список  $S_{pr}$  из  $l$  кандидатов в эксперты.

### 2.2. Формирование списка относительно независимых проблем (этап 2)

В процессе предварительных интервью с потенциальными экспертами из списка  $S_{pr}$  формируется список из  $n$  относительно независимых проблем  $C_{пр} = \{PR_1, \dots, PR_n\}$ , где  $PR_i$  — формальное описание  $i$ -й проблемы. Такое описание может быть получено, например, как подмножество (подсписок)

термов  $PR_i = \bigcup_{j=1}^{n_i} T_{ij}$ ,  $T_{ij} \in T_{общ}$  из общего множества (списка) термов  $T_{общ} = \{T_1, \dots, T_{n_{общ}}\}$ , содержащее описание каждого из которых  $T_i \in T_{общ}$  характеризует определенный аспект исследуемой проблемы, а совокупность описаний термов из общего множества  $T_{общ}$  полностью покрывает содержательное описание проблемы в целом; здесь:  $n_i$  — число термов в формальном описании  $i$ -й проблемы  $PR_i$ , а  $n_{общ}$  — число термов в общем множестве  $T_{общ}$ .

Такие формальные описания должны удовлетворять следующим условиям. Прежде всего, эти проблемы в совокупности покрывают общую проблему экспертизы  $PR_{общ}$  (в нашем случае — это разработка системы управления межрегиональными автобусными перевозками между СКФО и Москвой). В теоретико-множественных терминах

это условие можно записать в виде:  $PR_{общ} \in \bigcup_{j=1}^n PR_j$ .

Далее, сами проблемы должны быть *достаточно независимы*. В теоретико-множественных терминах это означает, что мощность попарных пересече-

чений формальных описаний проблем существенно меньше мощности формального описания каждой из этих проблем в отдельности, т. е.

$$[M(PR_i \cap PR_j) \ll M(PR_i)] \wedge [M(PR_i \cap PR_j) \ll M(PR_j)],$$

$$i, j = 1 \div n, \quad i \neq j, \quad (1)$$

где  $M(A)$  — мощность множества  $A$ . В нашем случае (конечность рассматриваемых множеств) мощность множества  $A$  совпадает с числом элементов, входящих в это множество, т. е.  $M(PR_i) = n_i$ ,  $M(PR_i \cap PR_j) = n_{\text{пер}i, j}$ , где  $n_{\text{пер}i, j}$  — число термов в формальном описании множества  $PR_i \cap PR_j$  (пересечение формальных описаний проблем  $PR_i$  и  $PR_j$ ). В этом случае условие (1) принимает вид:

$$n_{\text{пер}i, j} \ll n_i \text{ и } n_{\text{пер}i, j} \ll n_j. \quad (1a)$$

На этом же этапе из общего списка  $C_{\text{пр}}$  выделяется подсписок проблем  $C_{\text{пр}}^{\text{н.к}} = \{PR_1^{\text{н.к}}, \dots, PR_{n_{\text{н.к}}}^{\text{н.к}}\}$ , по способам решения которых имеются различные мнения (нет консенсуса), где  $PR_i^{\text{н.к}}$  — формальное описание  $i$ -й проблемы, для которой нет консенсуса, а  $n_{\text{н.к}}$  — общее число таких проблем. При формировании этого подсписка консультанты оценивают качество и убедительность аргументации потенциальных экспертов.

### 2.3. Оценка компетентности потенциальных экспертов (этап 3)

На этом этапе оцениваются компетентности потенциальных экспертов. Алгоритм оценки компетентности, разработанный в рамках НМВЭ, существенно отличается от процедуры оценки условной компетентности, используемой в классических схемах коллективной многовариантной экспертизы [3–5]. В нашем случае необходимо оценивать компетентность эксперта не в целом по исследуемой задаче, а по каждой из  $n$  относительно независимых проблем из списка  $C_{\text{пр}}$ , и в первую очередь — по проблемам из подсписка  $C_{\text{пр}}^{\text{н.к}}$  (по способам решения которых нет консенсуса). Далее приводится краткое описание этого алгоритма.

#### 2.3.1. Алгоритм оценки компетентности экспертов для НМВЭ

Информация, используемая алгоритмом, состоит из трех частей — результатов заполнения анкет трех типов для  $j$ -го (оцениваемого) эксперта.

- Анкета-1 (самооценка), заполняемая  $j$ -м экспертом, состоит из  $(n + 1)$ -го раздела — общей информации об эксперте и его деятельности, а

также из  $n$  разделов, каждый из которых посвящен вопросам по одной из относительно независимых проблем из списка  $C_{\text{пр}}$ . Анкета заполняется экспертом при участии консультанта, как правило, во время его интервью с экспертом.

- Анкета-2, заполняемая другими экспертами из предварительного списка кандидатов в эксперты  $S_{\text{пр}}$ , которая состоит из  $n$  разделов — по числу относительно независимых проблем. Вопросы касаются компетентности оцениваемого эксперта по различным аспектам каждой такой проблемы. Если оцениваемый эксперт работает или сотрудничает с некоторой организацией, то такую анкету заполняет также непосредственный руководитель эксперта в этой организации либо руководитель подразделения организации, с которым эксперт сотрудничает.
- Анкета-3 практически совпадает с Анкетой-2, но ее заполняют консультанты, интервьюировавшие оцениваемого эксперта.

Во всех анкетах информация каждого раздела, относящегося к конкретной относительно независимой проблеме, обрабатывается отдельно, вне связи с другими разделами. Другими словами, компетентность эксперта оценивается по каждой такой проблеме независимо. По этой причине работу алгоритма опишем для одной проблемы  $PR_j$ .

Среди всех анкет типа 2 отбираются те, в которых заполнены пункты раздела, посвященного проблеме  $PR_j$  (регламент позволяет эксперту не заполнять некоторые разделы Анкеты-2 для  $j$ -го эксперта). Вся эта информация представляется в виде  $(l_1 + l_2 + 1)$ -мерного вектора интегральных оценок компетентности  $j$ -го эксперта по проблеме  $PR_j$ :

$$k_j(PR_j) = \{k_j^{(1)}(PR_j), \dots, k_j^{(l_1)}(PR_j), k_j^{(l_1+1)}(PR_j), \dots, k_j^{(l_1+l_2)}(PR_j), k_j^{(l_1+l_2+1)}(PR_j)\}, \quad (2)$$

где  $l_1$  — число экспертов, заполнивших раздел  $PR_j$  Анкеты-2 для  $j$ -го эксперта,  $l_2$  — число консультантов, заполнивших раздел  $PR_j$  Анкеты-3 для  $j$ -го эксперта,  $k_j^{(l_1+l_2+1)}(PR_j)$  — самооценка  $j$ -го эксперта, скорректированная консультантами. При заполнении всех пунктов анкет (кроме первого раздела Анкеты-1) из соображений удобства работы с экспертами использовалась дискретная 10-балльная шкала с шагом 0,5 балла. Значения  $k_j^{(s)}(PR_j)$  интегральных оценок компетентности, фигурирующие в (2), традиционно формировались в непрерывной шкале отрезка  $[0, 1]$ , поэтому при обработке анкет все балльные оценки экспертов делились на 10.



**Алгоритм** представляет собой пошаговую итерационную процедуру.

**Шаг 1.** Для значения  $u_j(PR_i)$ , рассчитанного по формуле

$$u_j(PR_i) = \frac{1}{l_1 + l_2 + 1} \sum_{s=1}^{l_1 + l_2 + 1} k_j^{(s)}(PR_i), \quad (3)$$

подсчитывается нижняя граница доверительного интервала  $\Delta_j^{(H)}$  для выбранного значения коэффициента доверия [7, с. 558] (некоторые авторы называют его «доверительная вероятность» или «уровень значимости»). В работе использовалось значение коэффициента, равное для «обычных» выборок 0,95, а для малых выборок — 0,9. Классическая методика построения доверительных интервалов (по Нейману) достаточно подробно описана в работах [7, 8], в прикладных задачах для этого используются специальные таблицы [9].

Если выполняются неравенства

$$u_j(PR_i) \geq a, \quad \Delta_j^{(H)} > b, \quad (4)$$

где  $a$  и  $b$  — заданные пороговые значения, то  $j$ -й эксперт считается компетентным по проблеме  $PR_i$ . Если выполняются условия

$$u_j(PR_i) \geq a, \quad \Delta_j^{(H)} < b, \quad (5)$$

то необходимо уточнить данные анкетирования по  $j$ -му эксперту по проблеме  $PR_i$ . Для этой цели для эксперта, оценка  $u_j(PR_i)$  для которого удовлетворяет условию (5), либо проводится повторное анкетирование, либо, в зависимости от значения разности  $(b - \Delta_j^{(H)})$ , консультанты «переводят» этого эксперта соответственно в группу компетентных или некомпетентных по проблеме  $PR_i$  экспертов.

И, наконец, если:

$$u_j(PR_i) < a, \quad \Delta_j^{(H)} < b, \quad (6)$$

то эксперт считается некомпетентным по проблеме  $PR_i$ . В итоге  $j$ -й эксперт получает одну из оценок компетентности по проблеме  $PR_i$  — либо  $u_j(PR_i)$ , если попадает в группу компетентных по этой проблеме экспертов (выполняются неравенства (4)), либо 0, если попадает в группу некомпетентных по этой проблеме экспертов (выполняются неравенства (6)) или он «переведен» в эту группу консультантами при выполнении неравенств (5)). Эта схема реализуется для всех  $l$  кандидатов в эксперты из предварительного списка  $S_{pr}$ .

Константы  $a$  и  $b$  в значительной степени выбираются экспертным путем, что требует определенного опыта при решении конкретных задач описанного типа. В нашем случае значение  $a$  выбирается из требования минимально допустимого уровня компетентности потенциального эксперта (в шкале [0, 1]). Очевидно, что выбор порога  $a$  в значительной степени определяется «потенциалом» набора экспертов, из которых выбираются те, кто будет участвовать в экспертизе. В работе значение  $a$  для различных проблем  $PR_i$  выбиралось в диапазоне 0,5—0,7, в зависимости от «сложности» проблемы. Значение константы  $b$  напрямую зависит от размера выборки и дисперсии оценок компетентности для тестируемого набора экспертов. В работе  $b = (0,8...0,9)a$  для «обычных» выборок и  $b = 0,7a$  для малых выборок (с экспертной поправкой, зависящей от дисперсии оценок, полученных в результате тестирования).

Следует обратить внимание, что значение интегральных оценок компетентности  $k_j^{(s)}(PR_i)$ , входят в выражение (3) меры  $u_j(PR_i)$  компетентности  $j$ -го эксперта по проблеме  $PR_i$  «равноправно», т. е. с одинаковым весом. Абсурдность такой ситуации особенно очевидна для тех экспертов, которые сами попали в категорию некомпетентных по проблеме  $PR_i$ : очевидно, что их оценки не нужно учитывать в формуле (3). Однако на первом шаге алгоритма (первой итерации) это сделать просто невозможно, так как распределение всех экспертов на группы компетентных и некомпетентных будет сделано только в самом конце первого шага (первой итерации). Продолжая логику этих рассуждений, приходим к выводу, что оценки  $k_j^{(s)}(PR_i)$  в формуле (3) необходимо «взвешивать» в зависимости от уровня компетентности  $s$ -го эксперта. В работе для такого «взвешивания» предлагается использовать весовые коэффициенты  $v_s(PR_i)$  вида

$$v_s(PR_i) = \begin{cases} u_s(PR_i), & \text{если эксперт отнесен} \\ & \text{к группе компетентных,} \\ 0, & \text{если эксперт отнесен к группе} \\ & \text{некомпетентных.} \end{cases} \quad (7)$$

Тогда выражение (3) для расчета меры компетентности экспертов по проблеме  $PR_i$  переписывается в виде:

$$u_j(PR_i) = \frac{\sum_{s=1}^{l_1 + l_2 + 1} v_s(PR_i) k_j^{(s)}(PR_i)}{\sum_{s=1}^{l_1 + l_2 + 1} v_s(PR_i)}, \quad j = 1 \div l, \quad (8)$$

где  $v_s(PR_j)$  определяется выражением (7). Веса  $v_s(PR_j)$  «экспертов» под номерами  $s = (l_1 + 1) \div l_2$  (консультанты, заполняющие Анкету-3 для  $j$ -го эксперта) по определению равны 1, а для эксперта под номером  $s = (l_1 + l_2 + 1)$  ( $j$ -й эксперт, заполнивший Анкету-1) значение весового коэффициента равно  $v_j(PR_j)$ .

Тонкость такой процедуры расчета состоит в том, что для получения оценок  $u_j(PR_j)$  в выражении (8) можно использовать веса  $v_s(PR_j)$ , рассчитанные с помощью формулы (7) только для оценок  $u_s(PR_j)$  и распределения экспертов по группам компетенции (компетентен — некомпетентен), полученных на предыдущей итерации (например, для второй итерации оценки рассчитываются по формуле (3)). Во избежание неправильного толкования, введем в выражениях (7) и (8) индекс итерации и перепишем их в виде:

$$v_s^t(PR_j) = \begin{cases} u_s^t(PR_j), & \text{если эксперт отнесен} \\ & \text{к группе компетентных,} \\ 0, & \text{если эксперт отнесен к группе} \\ & \text{некомпетентных.} \end{cases} \quad (9)$$

$$u_j^{t+1}(PR_j) = \sum_{s=1}^{l_1+l_2+1} v_s^t(PR_j) k_j^{(s)}(PR_j) / \sum_{s=1}^{l_1+l_2+1} v_s^t(PR_j), \quad j = 1 \div l. \quad (10)$$

**Шаг  $t + 1$ .** На  $(t + 1)$ -й итерации с помощью выражения (10) рассчитываются оценки  $u_j^{t+1}(PR_j)$  меры компетентности экспертов по проблеме  $PR_j$ , с использованием весовых коэффициентов  $v_s^t(PR_j)$ , которые рассчитываются по формуле (9). Для каждой из этих оценок подсчитывается нижняя граница доверительного интервала  $\Delta_j^{t+1, (H)}$ . Затем, используя неравенства (4)—(6), в которых вместо  $u_j(PR_j)$  и  $\Delta_j^{(H)}$  стоит  $u_j^{t+1}(PR_j)$  и  $\Delta_j^{t+1, (H)}$  соответственно, получаем новые значения весовых коэффициентов  $v_s^{t+1}(PR_j)$ , а также распределение экспертов по группам компетенции по проблеме  $PR_j$  (компетентен — некомпетентен).

Алгоритм прекращает работу на  $(N + 1)$ -й итерации, при условии, что для всех  $s$  справедливо равенство  $v_s^N(PR_j) = v_s^{N+1}(PR_j)$ .

Совершенно аналогично получают оценки и распределение экспертов по группам компетенции для всех  $n$  проблем.

## 2.4. Формирование экспертных комиссий (этап 4)

На этом этапе формируются экспертные комиссии. Для каждой проблемы, по схеме решения которой среди компетентных (для этой проблемы) экспертов достигнут консенсус, создается единственная экспертная комиссия, состоящая из таких экспертов. В задачу каждой такой комиссии входит подготовка для лица, принимающего решение (ЛПР), развернутого предложения по схеме, бизнес-плану, правовой и нормативной базе и пр., необходимого для решения этой проблемы.

Для разработки решения каждой из проблем, по которым имеются разногласия (не достигнут консенсус), формируется несколько экспертных комиссий (по числу существенно различных точек зрения на решение этой конкретной проблемы), в каждую из которых входят компетентные эксперты-единомышленники, т. е. специалисты и участники рынка, имеющих приблизительно одинаковые мнения по решению этой конкретной проблемы (а не по совокупности проблем, как в работах [3—5]). При таком подходе общее число комиссий может несколько увеличиться по сравнению с классическими методами многовариантной экспертизы, но это не потребует увеличения числа экспертов: каждый эксперт может работать в нескольких комиссиях, сформированных для решения различных проблем, т. е. участвовать в обсуждении всех вопросов, по которым у него есть обоснованное и компетентное мнение.

Была разработана специальная процедура формирования таких экспертных комиссий, использующая экспертно-классификационный подход к анализу и структуризации многомерных данных [10].

### 2.4.1. Процедура формирования экспертных комиссий для проблем, по которым имеются разногласия

Обозначим через  $l_{nc}$  число выявленных в процессе предварительных этапов экспертизы проблем  $PR_i^{nc}$ , по которым имеются разногласия. Для каждого  $j$ -го компетентного по проблеме  $PR_i^{nc}$  эксперта на базе информации, содержащейся в анкетах и интервью, формируется  $n_i$ -мерный вектор  $x_j^i = (x_j^{i, (1)}, \dots, x_j^{i, (n_i)})$ , где  $x_j^{i, (s)}$  — характеристика мнения  $j$ -го эксперта по  $s$ -му аспекту проблемы  $PR_i^{nc}$  (см. пояснения к формуле (1)). Тогда  $j$ -й эксперт представляется точкой  $x_j^i$  в  $n_i$ -мерном пространстве  $X_i$  характеристик проблемы  $PR_i^{nc}$ . Если



имеется информация такого рода от  $k_i$  компетентных по проблеме  $PR_i^{nc}$  экспертов, то в этом пространстве определено положение  $k_i$  точек  $x_j^i$ , и задача структуризации мнений (выявления групп единомышленников) на решение проблемы  $PR_i^{nc}$  сводится к задаче разбиения этих точек в пространстве  $X_i$  на группы близких в определенном смысле точек. Считается, что эксперты, попавшие при таком разбиении в одну и ту же группу, являются единомышленниками (имеют сходные точки зрения на решение проблемы  $PR_i^{nc}$ ). Для получения такого разбиения в работе применяются алгоритмы из комплекса алгоритмов экспертно-классификационного анализа для решения прикладных задач [10]:  $m$ -локальной оптимизации (один из алгоритмов кластерного анализа) и выбора оптимального числа классов. Опишем идею работы этих алгоритмов.

**Алгоритм  $m$ -локальной оптимизации (кластерного анализа).** Базовым для методов кластерного анализа служит понятие *критерия качества классификации*  $J$ . В настоящей работе в качестве критерия  $J$  принят функционал  $J_1$  средней близости точек в  $r_i$  классах  $A_1^i, \dots, A_{r_i}^i$ , определяемый через потенциальную функцию [11] близости точек  $x$  и  $y$ :

$$K(x, y) = 1/\{1 + \alpha R^p(x, y)\}, \quad (11)$$

где  $\alpha$  и  $p$  — настраиваемые параметры алгоритма. Средняя близость точек в классе  $A_q^i$  определяется как

$$K(A_q^i, A_q^i) = \frac{2}{n_q(n_q - 1)} \sum_{j=1}^{k_i} \sum_{s>j} K(x_j^i, x_s^i), \quad (12)$$

где  $K(x_j^i, x_s^i)$  определяется формулой (11),  $n_q$  — число точек в классе  $A_q^i$ . Тогда критерий  $J_1$  определяется как средневзвешенная сумма величин (12):

$$J_1 = \sum_{q=1}^{r_i} \frac{n_q}{k_i} K(A_q^i, A_q^i). \quad (13)$$

Вначале опишем работу алгоритма 1-локальной оптимизации. Для простоты изложения рассматривается случай двух классов. Пусть задано начальное разбиение  $R_0$  всех  $k_i$  точек классифицируемой выборки. Обозначим через  $x_j \in A_1$  точки, относящиеся к первому классу, а через  $x_j \in A_2$  — ко второму (для простоты изложения индекс пробле-

мы опущен). Алгоритм итерационный — на каждом шаге рассматривается одна точка из последовательности  $x_1, \dots, x_k, x_1, \dots, x_k, x_1, \dots$  («зацикленная» исходная последовательность). Отнесение точки к одному из двух классов обозначается с помощью индекса  $\rho(x_j) = \begin{cases} 1, & \text{если } x_j \in A_1, \\ -1, & \text{если } x_j \in A_2. \end{cases}$  Тогда ал-

горитм 1-локальной оптимизации определяется как

$$\rho(x_j) = \text{sign}[J_1(x_j \in A_1) - J_1(x_j \in A_2)]. \quad (14)$$

В итоге точка  $x_j$  в соответствии с алгоритмом (14) относится к тому классу, при отнесении к которому значение критерия (13) будет больше (если эти значения равны, то для определенности точка относится к классу с меньшим номером). Алгоритм заканчивает работу, если на некотором цикле среди точек  $x_1, \dots, x_n$  не будет сделано ни одной «переброски» точки из класса в класс.

Алгоритм  $m$ -локальной оптимизации — это поэтапное применение к выборке алгоритмов  $s$ -локальной оптимизации,  $s = 1 \div m$ . На  $s$ -м этапе алгоритм работает по той же схеме, только на каждом его шаге происходит пробная «переброска» из класса в класс не одной, а  $s$  точек. Подсчитывается значение критерия (13) до и после «переброски», принадлежность каждой из  $s$  точек к классу либо остается неизменной ( $J_1$  до «переброски» больше, чем после), либо меняется на другой класс — в противном случае. Для алгоритма (14) цикл — это число шагов, равное числу всевозможных различных наборов, в каждый из которых входит  $s$  точек, выбранных из  $n$  точек исходной выборки. Доказана сходимости алгоритма за конечное число шагов к локальному максимуму критерия (13) [10].

Разработан эвристический алгоритм сокращенного перебора, который на каждом шаге для пробной «переброски» из одного класса в другой использует  $s$  точек, в определенном смысле ближайших к границе между этими классами [10].

**Выбор оптимального числа классов.** Для этой цели разработана [10] специальная экспертно-компьютерная процедура, которая заключается в следующем (далее, как и ранее, индекс проблемы опущен). Вначале консультанты, на базе предварительных интервью с экспертами, оценивают диапазон  $(r_{\min}, r_{\max})$ , в пределах которого заведомо находится число существенно различных точек зрения

на решение каждой из проблем  $PR_i^{nc}$ , по которым имеются разногласия. Далее, применяя любой алгоритм автоматической классификации (в настоящей работе применялся алгоритм  $m$ -локальной оптимизации), анализируемая выборка разбивается на  $r_{\min}, r_{\min} + 1, \dots, r_{\max}$  классов. Качество каж-

дой из полученных классификаций оценивалось с помощью критерия

$$J_3(r) = J_1(r) - qJ_2(r), \quad (15)$$

где  $J_1(r)$  — это критерий (13), а  $J_2(r)$  определяется соотношением

$$J_2(r) = \frac{1}{r-1} \sum_{i=1}^r \sum_{j>i}^r \frac{n_i + n_j}{n} K(A_i, A_j),$$

где  $K(A_i, A_j)$  — мера близости классов  $A_i, A_j$ , вычисляемая по формуле:

$$K(A_i, A_j) = \frac{1}{n_i n_j} \sum_{x_i \in A_i} \sum_{x_p \in A_j} K(x_i, x_p),$$

в которой потенциальная функция  $K(x_i, x_j)$  определяется формулой (11). Параметр  $q$  в критерии (15) фактически является масштабирующим параметром, приводящим к соизмеримым средним значениям функционалов  $J_1$  и  $J_2$ , на практике значение  $q$  порядка 2—7 (обычно во столько раз отличается средняя близость внутри классов от средней близости между самими классами).

Формально в качестве «оптимального» можно выбрать такое число классов  $r_{\text{opt}}$ , которое соответствует максимальному значению критерия (15), т. е.  $r_{\text{opt}} = r_j$ , для которого  $J_3(r_j)$  максимально. Однако наличие существенной, но неиспользованной при классификации информации, например, ввиду отсутствия данных, может привести к тому, что полученное таким способом значение  $r_{\text{opt}}$  не будет «истинно оптимальным».

Для компенсации этого недостатка в работе [10] предлагается воспользоваться следующей процедурой экспертной коррекции. Экспертам — специалистам в соответствующей предметной области (в нашем случае в качестве таких экспертов служат консультанты) — представляются значения  $J_3(r_j)$ ,  $r_j = r_{\text{min}}, \dots, r_{\text{max}}$ , изображенные для удобства в виде графика, на котором отмечается значение  $r_{\text{opt}}$  (оно соответствует максимальной точке на графике  $J_3(r_j)$ ). Используя эту информацию, можно корректировать выбираемое число классов. В подавляющем числе прикладных задач число классов после коррекции либо совпадает с  $r_{\text{opt}}$ , либо незначительно ( $\pm 1$ ) отличается от него. В нашем случае для подавляющего числа проблем  $PR_i^{nc}$ , по которым имеются разногласия, оптимальное число классов (после процедуры экспертной коррекции) равнялось двум, и только для двух проблем такого типа оно равнялось трем.

При классификации многомерных объектов во время такой коррекции анализируется также клас-

сификация каждого объекта. Для этой цели анализируется информация о мере близости  $K(x_i, c_j)$  каждой точки  $x_i$  до центров классов  $c_j, j = 1, \dots, r_{\text{opt}}$ , в оптимальной классификации, т. е. матрица близости  $\|K(x_i, c_j)\|, i = 1, \dots, k, j = 1, \dots, r_{\text{opt}}$ . Перенесение точки (объекта)  $x_i$  из  $j$ -го класса в  $l$ -й считается допустимым, если величины  $K(x_i, c_j)$  и  $K(x_i, c_l)$  отличаются незначительно. Другими словами, содержательно обоснованное перенесение допустимо для точек, расположенных вблизи границы между соответствующими классами.

В результате применения описанных алгоритмов и процедур к имеющимся данным, для каждой проблемы  $PR_i^{nc}$  будет получено распределение компетентных (по этой проблеме) экспертов по  $r_{\text{opt}}$  экспертным комиссиям.

## 2.5. Работа сформированных экспертных комиссий (этап 5)

В отличие от классической схемы коллективной многовариантной экспертизы [3—5] в нашем случае этап анализа в работе экспертных комиссий практически отсутствует, поскольку все аналитические материалы были сформированы консалтинговой группой еще на этапе предварительных интервью с кандидатами в эксперты.

Для проблем  $PR_i^{nc}$ , по которым сформировано несколько экспертных комиссий, как и в работах [3—5], организуется перекрестная экспертиза вариантов решения: каждая комиссия разрабатывает свой вариант предложений по решению проблемы (вариант № 1) и высказывает критические замечания о вариантах, разработанных другими комиссиями. На следующем шаге каждая комиссия анализирует полученные от других комиссий замечания на вариант № 1 и формирует вариант № 2, учитывающий эти замечания и т. д. Перекрестная экспертиза заканчивается на шаге  $N$ , на котором для каждой комиссии комплекты: варианты №  $N$  и №  $(N - 1)$  плюс замечания на них других экспертных комиссий полностью совпадают. Результатом обсуждения является либо некий согласованный вариант, либо перечень вариантов с указанием преимуществ и недостатков каждого из них. Такой перечень с соответствующими комментариями готовит консалтинговая группа после завершения процедуры перекрестной экспертизы по проблеме  $PR_i^{nc}$ . Эксперты участвуют в обсуждении заочно, получая от консультантов полную информацию о мнениях других экспертов и результаты их статистической обработки.





Гипотетически возможны случаи, когда выявленный набор проблем не является полностью независимым, т. е. выбор варианта решения некоторой проблемы будет зависеть от того, какие решения будут приняты по другим проблемам. В таких случаях процедура перекрестной экспертизы становится многоэтапной.

## 2.6. Формирование итогового проекта решения задачи (этап 6)

По итоговым результатам обсуждения консалтинговая группа разрабатывает проект решения проблемы в целом с указанием преимуществ и недостатков предлагаемого решения. В работе [3] окончательное решение предлагается оставить за руководством организации (ЛПР). В нашем случае функции ЛПР может выполнять представительство (филиал) Агентства автомобильного транспорта Министерства транспорта РФ в СКФО.

## 3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЭТАПОВ 1 И 2

На первых двух этапах НМВЭ, по сути дела, уточняется и детализируется исходная задача, которая разбивается на совокупность подзадач — проблем, требующих решения. Из них, в свою очередь, выделяются проблемы, по способам решения которых у экспертов нет единого мнения. Применительно к задаче регулирования рынка автобусных перевозок между Москвой и СКФО в ходе интервью с экспертами был сформулирован ряд проблем, подлежащих обсуждению.

- Разработка порядка формирования, утверждения, функционирования и ликвидации регулярных межрегиональных маршрутов автобусных перевозок, а также соответствующей нормативной базы. В частности, необходимо ответить на вопросы:
  - кто может выступать в роли перевозчика (юридическое лицо, индивидуальный предприниматель, физическое лицо и др.)?
  - каким требованиям должен удовлетворять перевозчик (требования к транспортным средствам, расписанию перевозок, процедурам бронирования и приобретения билетов, безопасности перевозок и др.)?
  - каким должен быть порядок формирования тарифов на перевозки?
  - каким должен быть порядок пользования услугами автовокзалов, автостанций и парковочных стоянок?
- Проблема конечных пунктов следования междугородных автобусов, прибывающих из СКФО. Здесь возможны варианты:

- сохранить существующую ситуацию, когда конечными пунктами служат рынки и торговые центры на территории Москвы (вариант, больше всего устраивающий пассажиров);

- установить в качестве конечных пунктов автовокзалы и парковочные зоны вблизи конечных станций метро (вариант, больше всего устраивающий городские службы);

- компромиссные варианты, ограничивающие набор конечных пунктов, время стоянки и т. п.

- Проблема повышения антитеррористической безопасности. Здесь возможно:

- установить ограничения на заказные междугородные рейсы (например, на множество конечных пунктов), чтобы уменьшить долю нелегальных рейсов;

- установить для регулярных рейсов порядок продажи билетов с обязательным предъявлением паспорта (как это делается на авиа- и железнодорожном транспорте);

- установить ту или иную форму контроля перевозимых грузов. Очевидно, что любые дополнительные ограничения ухудшают рыночную ситуацию, поэтому здесь необходимо найти компромисс между степенью безопасности и интересами участников рынка.

- Следует ли создать на уровне СКФО организацию для централизованного решения проблем регулирования рынка автобусных перевозок, и какую правовую форму она должна иметь? Какие функции было бы целесообразно поручить этой организации:

- ведение переговоров с администрацией г. Москвы по отстаиванию интересов участников рынка межрегиональных автобусных перевозок со стороны СКФО;

- централизованную продажу билетов на межрегиональные рейсы;

- развитие инфраструктуры межрегиональных автобусных перевозок.

- Какие правовые акты и на каком уровне должны быть приняты для реализации решений перечисленных проблем?

- Какова должна быть роль рыночных механизмов при решении всех перечисленных проблем? Международный опыт свидетельствует о том, что при определенных условиях рыночные механизмы повышают эффективность управления пассажирскими автоперевозками [12, 13].

Полученное на этапах 1 и 2 детализированное описание проблемы дает возможность перейти к основной части экспертизы: формированию экспертными комиссиями вариантов решения выявленных проблем и их перекрестной экспертизе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен новый метод коллективной многовариантной экспертизы — независимая многовариантная экспертиза (НМВЭ), учитывающий специфику задачи разработки системы управления межрегиональными автобусными перевозками. Метод НМВЭ имеет ряд существенных отличий от классических методов коллективной многовариантной экспертизы:

— работа экспертов проходит, в основном, в заочной форме, когда каждый эксперт узнает мнения других экспертов, входящих в ту же экспертную комиссию, от консультантов, через них же по специальной процедуре обсуждаются спорные вопросы;

— в процессе экспертизы разрабатываются не варианты решения исходной задачи в целом, а выявляются и разрабатываются варианты решения относительно независимых проблем, связанных с исходной задачей, совокупное решение которых обеспечивает также решение и исходной задачи;

— процедура оценки компетентности, разработанная в рамках НМВЭ, позволяет оценивать компетентность эксперта не в целом по исследуемой задаче, а по каждой из относительно независимых проблем; кроме того, оценка каждого из группы экспертов, проводящих оценивание компетентности некоторого эксперта, «взвешивается» с помощью коэффициента, зависящего от уровня его компетентности;

— специальная процедура формирования экспертных комиссий, использующая высокоэффективные алгоритмы кластерного анализа (*m*-локальной оптимизации) и выбора оптимального числа классов.

Эффективность метода НМВЭ показана на примере решения конкретной прикладной задачи регулирования рынка межрегиональных автобусных перевозок между Северо-Кавказским федеральным округом и Москвой. Приведены результаты реализации первых двух этапов НМВЭ при решении этой задачи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Блудян Н.О., Пасынский А.А., Ахохов А.А. Комплексный проект организации межрегиональных автобусных перевозок (на примере направления «Москва — Северо-Кавказский федеральный округ») // Организация автомобильных перевозок пассажиров и грузов на современном этапе: Сб. науч. трудов / МАДИ. — М., 2011. — С. 26—34.
2. Дорофеев А.А., Чернявский А.Л. Консультативная работа по совершенствованию управления в организационных системах (методологические основы) // Методы и алгоритмы анализа эмпирических данных: Сб. науч. трудов / ИПУ РАН. — М., 1988.
3. Дорофеев А.А., Покровская И.В., Чернявский А.Л. Экспертные методы анализа и совершенствования систем управления // Автоматика и телемеханика. — 2004. — № 10. — С. 172—188.
4. Покровская И.В., Гольдовская М.Д., Киселева Н.Е. Методы многовариантной экспертизы в задачах поддержки принятия решений в социально-экономических системах управления // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2012): Материалы Шестой междунар. конф. / ИПУ РАН. — М., 2012. — Т. I. — С. 322—324.
5. Чернявский А.Л., Дорофеев А.А., Кулькова Г.В. Алгоритмы экспертно-классификационного анализа в прикладных задачах исследования социально-экономических систем управления // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2011): Материалы Пятой междунар. конф. / ИПУ РАН. — М.: 2011. — Т. I. — С. 66—69.
6. Панкова Л.А., Петровский А.М., Шнейдерман М.В. Организация экспертизы и анализ экспертной информации. — М.: Наука, 1984.
7. Крамер Г. Математические методы статистики. — 2-е изд. — М.: Мир, 1975. — 720 с.
8. Кендалл М., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. — М.: Наука, 1973. — 680 с.
9. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. — М.: Наука, 1983. — 416 с.
10. Дорофеев Ю.А. Комплекс алгоритмов экспертно-классификационного анализа для решения прикладных задач // Четвертая междунар. конф. по проблемам управления (МКПУ-IV): Сб. трудов / ИПУ РАН. — М., 2009. — С. 373—379.
11. Браверман Э.М., Мучник И.Б. Структурные методы обработки эмпирических данных. — М.: Наука, 1983.
12. Чернявский А.Л., Дорофеев А.А., Алескерова И.И., Кулькова Г.В. Мировой опыт и организационно-экономическая специфика управления пассажирскими автомобильными перевозками в крупном регионе // Четвертая междунар. конф. по проблемам управления (МКПУ-IV): Сб. трудов / ИПУ РАН. — М.: 2009. — С. 457—463.
13. Кацыв П.Д., Чернявский А.Л. Мировой опыт управления общественным автотранспортом с помощью рыночных механизмов // Тр. ИПУ РАН. — М., 2002. — Т. XV. — С. 53—82.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.С. Манделем.

**Али Асланбекович Ахохов** — аспирант, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, ☎ (499) 151-22 67, ✉ ap@madi.ru,

**Норайр Оганесович Блудян** — д-р техн. наук, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, зав. кафедрой ☎ (499) 151-22 67, ✉ ap@madi.ru,

**Юлия Александровна Дорофеев** — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ☎ (495) 334-75-40, ✉ tigress86@bk.ru,

**Александр Леонидович Чернявский** — канд. техн. наук, зам. зав. лабораторией, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ☎ (495) 334-90-70, ✉ achern@ipu.ru.