

---

---

## АНАЛИЗ ДАННЫХ

Л.Т. Баранов (*Байконур*),  
А.И. Птушкин, А.В. Трудов  
(*Санкт-Петербург*)

### НЕЧЕТКИЕ МНОЖЕСТВА В ЭКСПЕРТНОМ ОПРОСЕ

В статье предлагается алгоритм анализа данных экспертного опроса, опирающийся на их нечеткую интерпретацию. При этом обобщенное мнение экспертов получается в виде нечеткой количественной оценки, учитывающей степень их компетентности.

*Ключевые слова:* эксперт, универсальное множество, нечеткое множество, функция принадлежности, лингвистическая переменная, степень компетентности эксперта.

#### *Постановка задачи*

К концу XX столетия в космической отрасли сложилась чрезвычайно сложная обстановка. К этому времени оборудование большинства объектов космической инфраструктуры (ОКИ) выработало многократно продленный ресурс, а его фактическое состояние было неизвестно. Отрасль оказалась на грани коллапса, что создавало серьезную угрозу национальной безопасности нашей страны, ибо государство и Вооруженные силы, в частности,

---

**Леонид Тимофеевич Баранов** – кандидат технических наук, доцент, начальник Государственного испытательного космодрома «Байконур».

**Анатолий Иванович Птушкин** – кандидат технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.

**Алексей Вениаминович Трудов** – старший преподаватель Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.

к этому времени стали в значительной степени зависимыми от ее функционирования. Большие перерывы в запуске космических аппаратов (КА) связи, наблюдения и других КА военного и народнохозяйственного назначения могли нанести колоссальный ущерб соответственно обороноспособности и экономике страны.

Выход из создавшегося положения был найден. Была предложена, а затем реализована концепция мониторинга технического состояния объектов космической инфраструктуры, эксплуатация которых осуществляется за пределами назначенных ресурсов [1]. Под мониторингом понимается система постоянных наблюдений, оценки и прогноза изменений состояний какого-либо природного, социального и т.п. объекта [2]. Однако в последние годы чаще применяется более широкая трактовка этого понятия, включающая в себя управленческий аспект: обоснование возможных решений, направленных на предотвращение неблагоприятного изменения состояния объекта мониторинга, и представление их лицам, принимающим решения. Поэтому в названной концепции под мониторингом ОКИ понималась система постоянных наблюдений, оценки, прогноза изменений и управления их состоянием.

Внедрение системы мониторинга в практику эксплуатации ОКИ позволило определить их фактическое состояние, сделать краткосрочный и долгосрочный прогнозы его изменения, спланировать и выполнить комплекс мероприятий, позволивший принять решение о возможности их дальнейшей эксплуатации без капитального ремонта.

Степень риска подобных решений в значительной степени определяется качеством прогноза изменения технического состояния оборудования ОКИ как в стандартных режимах эксплуатации, так и при условии проведения на нем различных ремонтно-профилактических работ.

Для решения задач прогнозирования в настоящее время применяется большое количество апробированных методов, основанных на статистических и физико-статистических моделях [3]. Точность

и достоверность получаемых прогнозных оценок с использованием данных методов зависит от длительности наблюдения за определяющими параметрами прогнозируемого явления на конкретном объекте или на идентичных по строению объектах и от объема статистически однородных наблюдений. С этой точки зрения оборудование ОКИ является объектом весьма сложным для прогнозирования. Эта сложность обусловлена, во-первых, уникальностью значительной части оборудования, во-вторых, неидентичностью даже типового оборудования, которая является следствием многочисленных изменений, внесенных в их конструкцию за многолетний период эксплуатации и, в третьих, малым количеством измерительной информации, к сбору которой, фактически, приступили только с внедрением мониторинга. В таких условиях невозможно собрать репрезентативную выборку определяющих параметров прогнозируемого явления и, следовательно, принятие решений на основе статистических и физико-статистических моделей может привести к значительным погрешностям.

Одним из целесообразных подходов получения прогнозных оценок для процессов, характеризующихся специфической индивидуальностью, является применение экспертного оценивания. Под экспертным оцениванием понимают систему логических и математических методов и процедур, направленных на получение от специалистов информации, необходимой для решения управленческих задач [4]. При получении прогнозных оценок технического состояния ОКИ в качестве экспертов использовался персонал, постоянно эксплуатирующий эти объекты. Это позволило реализовать его активное и целенаправленное участие в обеспечении безотказности функционирования и продления ресурса ОКИ.

Экспертное оценивание осуществлялось в ходе экспертного опроса. В рассматриваемой задаче целью этого опроса являлось получение прогнозной информации об эволюции параметров, характеризующих состояние ОКИ, и о влиянии на это состояние режимов их эксплуатации и планируемых ремонтно-профилактических работ.

В настоящее время применяются следующие виды экспертного опроса [4]: дискуссионные, метод коллективной генерации идей, анкетирование и интервьюирование. С целью наименьшего отвлечения персонала, эксплуатирующего ОКИ, от основных обязанностей, а также в интересах максимальной автоматизации обработки экспертной информации, при организации опроса экспертов использовано анкетирование.

При организации анкетирования предусматривалась необходимость решения двух задач: получение индивидуальных количественных оценок экспертов и групповой экспертной оценки.

Любые суждения экспертов и их оценки всегда субъективны, а значит нечетки. В связи с этим логично при проведении экспертного опроса и анализе его результатов использовать разработанную Л. Заде математическую теорию нечетких множеств [5]. Многочисленные примеры применения этой теории в различных сферах науки и техники доказывают ее плодотворность. Однако в отечественных социологических исследованиях, несмотря на актуальность проблем сочетания качественных и количественных методов анализа социальных феноменов [2], примеры применения нечетких множеств крайне редки. Нам известен лишь один [3], иллюстрирующий возможность построения социограмм на основе нечеткой информации. В данной статье рассматривается еще одно направление применения нечетких множеств: получение экспертной информации в формате нечетких множеств и анализ данных анкетирования группы экспертов, имеющих различную степень компетентности в исследуемой предметной области.

### *Получение экспертной информации в формате нечетких множеств*

В предлагаемой эксперту анкете каждому вопросу ставится в соответствие множество вариантов ответов, представляющих собой качественные суждения, характеризующие степень выраженности

некоторого целевого свойства изучаемого объекта. Предположим, что необходимо выяснить: «Как повлияет на техническое состояние некоторого объекта выполнение определенного объема ремонтно-профилактических работ». При ответе на этот вопрос возможны такие варианты как: «понижится значительно», «понижится незначительно», «не изменится», «повысится незначительно», «повысится значительно». Трактовка понятия «значительно понижится», так же как и других понятий, содержащихся в предлагаемых ответах, у каждого эксперта своя и при этом нечеткая. Поэтому эксперт должен не только выбрать правильный, по его мнению, ответ, но и конкретизировать его количественно. Соотнести с ответом конкретное число эксперту психологически трудно, так как он не обладает полной информацией о свойствах изучаемого объекта и, если он это сделает, то может быть допущена грубая ошибка. В связи с этим эксперту предлагается «мягкая» форма количественной интерпретации ответов: он должен дать не одну, а несколько количественных оценок, соответствующих его пониманию выбранного ответа. Для ориентировки экспертов возможные варианты оценок включатся в анкету. Например, в рассматриваемом случае множество возможных оценок может иметь вид  $\{-75\%, -50\%, -25\%, 0, 25\%, 50\%, 75\%\}$ . Так, если эксперт считает, что снижение эффективности на 25, 50 или 75 процентов является значительным, то он должен выбрать оценки  $-75\%$ ,  $-50\%$ ,  $-25\%$  (знак «-» означает снижение эффективности). Кроме того, он должен присвоить каждой такой оценке степень уверенности в том, что именно она будет иметь место. Для того чтобы облегчить экспертам процесс задания степени уверенности к анкете, можно приложить вербально-числовую шкалу Харрингтона, характеризующую степень выраженности каких-либо свойств [5].

Фрагмент анкеты, соответствующий сформулированному выше вопросу, имеет вид, представленный табл. 1.

Перед таблицей приводится правило ее заполнения следующего содержания.

Выберете в первом столбце табл. 1 вариант ответа, соответствующий Вашему мнению. Внесите в соответствующую строку степени уверенности в том, что варианту могут соответствовать количественные значения изменения эффективности из представленного в таблице множества.

Таблица 1

ФОРМА, ПРЕДЛАГАЕМАЯ РЕСПОНДЕНТУ

Вариант ответа	Возможные значения изменения показателя эффективности, %, которые могут соответствовать Вашему ответу						
	-75	-50	-25	0	25	50	75
Понизится значительно							
Понизится незначительно							
Не изменится							
Повысится незначительно							
Повысится значительно							

Степень уверенности измеряется в числовой шкале в диапазоне 0–1; 0 – наименьшая степень уверенности, 1 – наибольшая. Если Вы испытываете затруднения в определении степени уверенности, то воспользуйтесь шкалой, приведенной в табл. 2.

Чтобы избежать опасности навязывания эксперту вариантов ответа, ему может быть предоставлена возможность выхода за пределы предлагаемого множества ответов. Так, если эксперт под значительным снижением эффективности понимает ее снижение более чем на 100%, то он может дополнить предлагаемое в анкете множество соответствующим подмножеством, например,  $\{-150\%, -125\%, -100\%\}$ .

Таблица 2

ВЕРБАЛЬНО-ЧИСЛОВАЯ ШКАЛА ХАРРИНГТОНА

Степень уверенности	Числовое значение
Очень высокая	0,80–1,0
Высокая	0,64–0,80
Средняя	0,37–0,64
Низкая	0,20–0,37
Очень низкая	0,0–0,20

Излагаемая методика опроса применяется на космодроме Байконур, где, как уже отмечалось выше, в качестве экспертов выступал персонал, эксплуатирующий ОКИ. Большая часть этого персонала является выпускниками Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, где вопросы применения нечетких множеств изучаются уже с 70-х гг. прошлого века. Поэтому лица, проводящие опрос, и эксперты разговаривают на вполне понятном им языке и у экспертов не вызывает затруднений необходимость представления своих оценок в шкале 0–1. Если же контингент экспертов незнаком с языком теории нечетких множеств, то более предпочтительной является процентная шкала 0–100. В этом случае при анализе результатов опроса необходимо будет перейти от этой шкалы к шкале 0–1.

Такое заполнение анкеты говорит о том, что эксперт, выбрав ответ: «*эффективность повысится незначительно*», имеет в виду следующее:

- скорее всего, эффективность повысится на 25%;
- возможно, что она повысится и на 50%, но утверждать это можно с несколько меньшей уверенностью (0,8);
- эффективность может и не измениться, но уверенность в этом еще ниже (0,3);
- степень уверенности в том, что оценки изменения показателя эффективности примут другие значения, равна 0.

Воспользуемся формализмом нечетких множеств для описания результатов опроса, проведенного по изложенной методике.

Таблица 3

ПРИМЕР ЗАПОЛНЕННОГО ЭКСПЕРТОМ ФРАГМЕНТА АНКЕТЫ

Вариант ответа	Возможные значения изменения показателя эффективности, %, которые могут соответствовать Вашему ответу						
	-75	-50	-25	0	25	50	75
Понизится значительно							
Понизится незначительно							
Не изменится							
Повысится незначительно	0	0	0	0,3	1,0	0,8	0
Повысится значительно							

Предположим, что опрашивается  $K$  экспертов и анкета содержит  $P$  целевых вопросов. Тогда каждому вопросу можно поставить в соответствие лингвистическую переменную  $L_i$  ( $i = \overline{1, P}$ ), значениями которой являются варианты ответов  $L_{ij}$  ( $j = \overline{1, J^i}$ ), где  $J^i$  – количество вариантов ответов на  $i$ -й вопрос. Применительно к приведенному выше вопросу (назовем его  $i$ -м) имеем:

–  $L_i$  (изменение эффективности работы фирмы) = {эффективность «понизится значительно» ( $L_{i1}$ ), «понизится незначительно» ( $L_{i2}$ ), «не изменится» ( $L_{i3}$ ), «повысится незначительно» ( $L_{i4}$ ), «повысится значительно» ( $L_{i5}$ )}.

Как уже было отмечено ранее, каждое значение лингвистической переменной является нечетким и поэтому для его описания используется нечеткое множество. Это множество задается на базовом (четком) множестве  $U_i = \{u_{is}, s = \overline{1, S^i}\}$  действительных чисел, охватывающем, по мнению организаторов опроса, весь возможный диапазон количественных оценок лингвистической переменной  $L_i$ . Предположим, что для  $i$ -го вопроса оно задано в виде:



$$U_i = \{u_{i1} = -75; u_{i2} = -50; u_{i3} = -25; u_{i4} = 0; u_{i5} = 25; u_{i6} = 50; u_{i7} = 75\}.$$

Эксперт должен сопоставить каждую оценку из этого множества с количественным показателем степени уверенности в том, что именно она будет иметь место. В дальнейшем, в соответствии с терминологией, принятой в теории нечетких множеств, этот показатель будем называть значением функции принадлежности и обозначать  $m_{L_{ij}^k}(u_{is})$ , где  $i = \overline{1, P}$ ,  $j = \overline{1, J^i}$ ,  $k = \overline{1, K}$ ,  $s = \overline{1, S^i}$ . Число  $m_{L_{ij}^k}(u_{is})$  характеризует степень уверенности  $k$ -го эксперта, выбравшего в качестве ответа на  $i$ -й вопрос  $j$ -е значение лингвистической переменной, в том, что количественная оценка этой переменной может принять значение  $u_{is}^i$ . Функция принадлежности  $m_{L_{ij}^k}(u_i)$ ,  $u_i \in U_i$ , элементов базового множества  $U_i$  нечеткому множеству  $L_{ij}^k$ , по мнению  $k$ -го эксперта, в этом случае будет задаваться вектор-строкой

$$m_{L_{ij}^k}(u_i) = [\mu_{L_{ij}^k}(u_{i1}); \mu_{L_{ij}^k}(u_{i2}); \dots; \mu_{L_{ij}^k}(u_{iS^i})].$$

Например, если  $k$ -й эксперт при ответе на сформулированный выше вопрос выбрал ответ  $L_{i4} = \langle \text{«эффективность повысится незначительно} \rangle$  и интерпретировал его так, как это дано в табл. 2, то

$$m_{L_{i4}^k}(u_i) = [0; 0; 0; 0,3; 1; 0,8; 0].$$

Это означает, что значение  $L_{i4}$  лингвистической переменной  $L_i$  формально можно представить в виде нечеткого множества:

$$L_{i4} = \langle \text{«эффективность повысится незначительно} \rangle = \bigcup_{s=1}^7 \mu_{L_{i4}}(u_{is}) / u_{is} = \\ = 0/-75 + 0/-50 + 0/-25 + 0,3/0 + 1/25 + 0,8/50 + 0/75.$$

В этом выражении символы «+» и  $\bigcup$  означают операцию объединения.

Для удобства дальнейшего анализа результаты опроса  $K$  экспертов по каждому  $i$ -му вопросу целесообразно свести в таблицы (см. табл. 4). В ячейках табл. 4 помещены значения функции принадлежности  $m_{L_{ij}^k}(u_{is})$ .

Таблица 4

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОСА К ЭКСПЕРТОВ ПО  $i$ -МУ ВОПРОСУ,  
ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ В НЕЧЕТКОЙ МЕТРИКЕ

№ эксперта	Возможные значения изменения показателя эффективности $U_i$ , %						
	-75	-50	-25	0	25	50	75
1	0	0,1	0,4	1,0	0,4	0,1	0
2	0	0	0	0	0,2	0,6	1,0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$k$	0	0	0	0,3	1,0	0,8	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$K$	0	0	0	0,2	0,7	1,0	0

Если уровень компетентности всех экспертов одинаков, то обобщенная нечеткая оценка может быть получена как пересечение нечетких множеств, соответствующих ответам экспертов.

Функция принадлежности, количественно характеризующая эту оценку в соответствии с правилом выполнения операции пересечения нечетких множеств [4], определяется по формуле:

$$\mu_k(u_i) = \min(\mu_k(u_{i1}), \mu_k(u_{i2}), \dots, \mu_k(u_{is}), \dots, \mu_k(u_{is'})).$$

Однако сформировать группу экспертов одинаковой компетентности практически невозможно. В связи с этим возникает необходимость определения степени компетентности экспертов и ее учета при получении обобщенной оценки.

*Определение степени компетентности экспертов*

При решении этой задачи возникает вопрос о выборе меры компетентности эксперта. Эту меру можно получить путем

непосредственных систематических наблюдений за качеством прогнозов экспертов или косвенным образом на основе сведений об их профессиональной деятельности.

В первом случае в качестве меры компетентности экспертов обычно берут некоторые функции от математического ожидания модуля отклонения прогнозов экспертов  $\xi_k$  от истинных реализаций прогнозируемых параметров  $\xi_{uct}$  или математического ожидания квадрата этого отклонения [6]. Наиболее удобно задавать меру компетентности  $k$ -го эксперта нормированным коэффициентом вида

$$\eta_k = \frac{M[(\xi_{uct} - \xi_k)^2]}{\sum_{k=1}^K M[(\xi_{uct} - \xi_k)^2]} \quad \text{или} \quad \eta_k = \frac{M[|\xi_{uct} - \xi_k|]}{\sum_{k=1}^K M[|\xi_{uct} - \xi_k|]}.$$

Такой подход может быть использован только при длительной работе с постоянной группой экспертов, в ходе которой фиксируются названные выше отклонения.

При использовании косвенных методов в процессе экспертного опроса необходимо выявить характеристики профессиональной деятельности экспертов, от которых зависит его компетентность. Множество этих характеристик главным образом определяется сферой деятельности экспертов. Однако во всех случаях к нему относятся такие характеристики, как занимаемая должность и стаж работы эксперта.

Для выявления названных характеристик в инструментарий экспертного опроса необходимо включить соответствующее множество дополнительных вопросов  $D = \{D^n, n = \overline{1, N}\}$ .

При этом каждому вопросу  $D^n$  соответствует множество ответов  $B^n = \{B_m^n, m = \overline{1, M^n}\}$ . При формировании множества ответов на дополнительные вопросы необходимо учитывать, что ответы должны быть представлены в шкале порядка.

Рассмотрим алгоритм преобразования ответов экспертов на дополнительные вопросы в количественные коэффициенты их

компетентности. Для этого каждому  $B_m^n$ -му варианту ответа на  $D^n$ -й дополнительный вопрос поставим в соответствие положительный

нормированный коэффициент  $\rho_m^n$ , при этом  $\sum_{m=1}^{M^n} \rho_m^n = 1$ . Величина коэффициента  $\rho_m^n$  зависит от номера варианта ответа на дополнительный вопрос и вычисляется в соответствии со следующим выражением:

$$\rho_m^n = \frac{m}{\sum_{m=1}^{M^n} m}, \forall m = \overline{1, M^n}. \quad (1)$$

Тогда выбор  $k$ -м экспертом конкретного  $B_m^n$ -го варианта ответа на  $D^n$ -й дополнительный вопрос однозначно определяет некоторый коэффициент из множества  $\rho_m^n$ , который обозначим как  $\eta_k^n$ . В целом нормированный коэффициент компетентности  $k$ -го эксперта зависит от всех ответов на дополнительные вопросы и вычисляется в соответствии со следующим правилом:

$$\eta_k = \frac{\sum_{n=1}^N \eta_k^n}{\sum_{n=1}^N \max_m \rho_m^n}. \quad (2)$$

Влияние уровня компетентности эксперта на нечеткую количественную меру  $\mu_k(u_i)$  предлагается реализовать путем выполнения операции «размывания». Математически «размывание» нечеткой количественной меры  $\mu_k(u_i)$  реализуется путем возведения ее в степень, соответствующую коэффициенту компетентности эксперта  $\eta_k \leq 1$ :

$$\tilde{\mu}_k(u_i) = \mu_k(u_i)^{\eta_k}, i = \overline{1, P}. \quad (3)$$

В результате опроса множества всех экспертов  $\Theta = \{\vartheta_k, k = \overline{1, K}\}$  для каждого  $i$ -го ( $i = \overline{1, P}$ ) вопроса анкеты имеем  $K$  нечетких коли-

чественных мер  $\tilde{\mu}_k(u_i)$ , учитывающих степени компетентности опрашиваемых экспертов. Тогда нечеткое множество, характеризующее обобщенное мнение группы опрашиваемых экспертов при ответе на  $i$ -й вопрос анкеты, можно определить как пересечение нечетких мнений экспертов, имеющее функцию принадлежности

$$\tilde{\mu}_{\ominus_i}(u_i) = \min_k \{\tilde{\mu}_k(u_i)\}, \quad k = \overline{1, K}, \quad i = \overline{1, P}. \quad (4)$$

Для получения однозначного количественного результата опроса необходимо указать на конкретный элемент базового множества  $U_i$ . Обычно выбирают тот элемент  $u_i^*$ , который имеет максимальную степень принадлежности к полученному обобщенному нечеткому множеству мнений экспертной группы:

$$u_i^* = \arg \max_{u_i} \tilde{\mu}_{\ominus_i}(u_i), \quad u_i \in U_i. \quad (5)$$

### *Пример обработки нечетких оценок группы экспертов*

Предположим, что члены экспертной группы из двух человек, ориентируясь на приведенное в табл. 2 множество ответов и их интерпретаций, дали ответы на сформулированный в начале статьи вопрос в виде следующих нечетких множеств (строки 1 и 2 табл. 4):

$$\begin{aligned} L_1 &= 0/-75 + 0,1/-50 + 0,4/-25 + 1,0/0 + 1,0/25 + 0,4/50 + 0/75; \\ L_2 &= 0/-75 + 0/-50 + 0/-25 + 0/0 + 0,2/25 + 0,6/50 + 1,0/75. \end{aligned}$$

Так как в примере рассматривается только один вопрос, то в приведенных формулах и далее индекс  $i$  опущен.

Функции принадлежности, характеризующие нечеткость ответов экспертов, соответственно равны:

$$\mu_1(u) = [0; 0,1; 0,4; 1,0; 0,4; 0,1; 0], \quad \mu_2(u) = [0; 0; 0; 0; 0,2; 0,6; 1,0], \quad u \in U.$$

Для определения степени компетентности экспертов им были заданы два дополнительных вопроса:  $D^1 = \text{«Какую должность Вы занимаете?»}$  и  $D^2 = \text{«Сколько лет Вы работаете в фирме?»}$ .

Для первого вопроса предлагались следующие варианты ответов:

$V_1^1 = \text{«инженер»}$ ,  $V_2^1 = \text{«старший инженер»}$ ,  $V_3^1 = \text{«начальник отделения»}$ ,  $V_4^1 = \text{«начальник отдела»}$ , а для второго –  $V_1^2 = \text{«менее пяти лет»}$ ,  $V_2^2 = \text{«от пяти до десяти лет»}$ ,  $V_3^2 = \text{«свыше десяти лет»}$ .

На эти вопросы эксперты ответили следующим образом: первый эксперт выбрал  $V_1^1 = \text{«инженер»}$  и  $V_1^2 = \text{«менее пяти лет»}$ , а второй эксперт  $V_4^1 = \text{«начальник отдела»}$  и  $V_3^2 = \text{«свыше десяти лет»}$ .

Ответы на дополнительные вопросы позволяют вычислить коэффициенты компетентности каждого из экспертов.

По формуле (1) для ответов на первый вопрос имеем:  $\rho_1^1 = \frac{1}{10}$ ,  $\rho_2^1 = \frac{2}{10}$ ,  $\rho_3^1 = \frac{3}{10}$ ,  $\rho_4^1 = \frac{4}{10}$ ; для ответов на второй вопрос –  $\rho_1^2 = \frac{1}{6}$ ,  $\rho_2^2 = \frac{2}{6}$ ,  $\rho_3^2 = \frac{3}{6}$ . Напомним, что верхний индекс означает номер вопроса, а нижний – номер ответа на него. Так как первый эксперт на оба вопроса выбрал ответы, имеющие первый номер, то  $\eta_1^1 = \rho_1^1 = \frac{1}{10}$ ,  $\eta_1^2 = \rho_1^2 = \frac{1}{6}$ . Второй эксперт на первый вопрос выбрал четвертый ответ, а на второй – третий. Поэтому  $\eta_2^1 = \rho_4^1 = \frac{4}{10}$ ;  $\eta_2^2 = \rho_3^2 = \frac{3}{6}$ .

По формуле (2) вычисляем коэффициенты компетентности экспертов:

$$\eta_1 = \frac{\eta_1^1 + \eta_1^2}{\rho_4^1 + \rho_3^2} = \frac{\frac{1}{10} + \frac{1}{6}}{\frac{4}{10} + \frac{3}{6}} = 0,3 \text{ и } \eta_2 = \frac{\eta_2^1 + \eta_2^2}{\rho_4^1 + \rho_3^2} = \frac{\frac{4}{10} + \frac{3}{6}}{\frac{4}{10} + \frac{3}{6}} = 1,$$

где  $\rho_4^1 = \max(\rho_1^1, \rho_2^1, \rho_3^1, \rho_4^1)$ ,  $\rho_3^2 = \max(\rho_1^2, \rho_2^2, \rho_3^2)$ .

Так как коэффициент компетентности второго эксперта равен 1, то  $\tilde{\mu}_2(u) = \mu_2(u)$  и корректировать необходимо только функцию принадлежности нечеткого ответа первого эксперта. По формуле (3) находим:

$$\tilde{\mu}_1(u) = \mu_1^{0,3}(u) = [0; 0,1; 0,4; 1,0; 0,4; 0,1; 0]^{0,3} = [0; 0,5; 0,6; 1,0; 0,6; 0,5; 0]^1.$$

Функцию принадлежности, характеризующую обобщенное мнение экспертов, определим по формуле (4):

$$\begin{aligned} \tilde{\mu}_3(u) = \min(\tilde{\mu}_1(u), \tilde{\mu}_2(u)) = & [\min(\tilde{\mu}_1(u_1), \tilde{\mu}_2(u_1)); \min(\tilde{\mu}_1(u_2), \tilde{\mu}_2(u_2)); \\ & \min(\tilde{\mu}_1(u_3), \tilde{\mu}_2(u_3)); \min(\tilde{\mu}_1(u_4), \tilde{\mu}_2(u_4)); \min(\tilde{\mu}_1(u_5), \tilde{\mu}_2(u_5)); \\ & \min(\tilde{\mu}_1(u_6), \tilde{\mu}_2(u_6))] = [0; 0; 0; 0; 0,2; 0,5; 0]. \end{aligned}$$

Воспользовавшись формулой (5), найдем обобщенный результат опроса экспертов: максимальное значение функции принадлежности  $\mu_3(u) = 0,5$  соответствует  $u_5 = 50\%$ . Таким образом, по результатам опроса можно сделать следующий вывод: выполнение ремонтно-профилактических работ позволит увеличить эффективность работы объекта на 50%.

Ранее отмечалось, что рассмотренный подход к получению и анализу экспертных оценок применяется на космодроме «Байконур» для прогнозирования влияния различных эксплуатационных мероприятий на изменение технического состояния объектов наземной космической инфраструктуры. Однако он обладает высокой степенью общности и, по нашему мнению, может быть применен в различных областях деятельности и, в частности, в социологических исследованиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бармин И.В., Юсупов Р.М., Прохорович В.Е., Птушкин А.И. Концепция управления состоянием сложных технических комплексов за пределами плановых сроков эксплуатации // Информационные технологии. 2000. № 5. С. 7–12.

---

<sup>1</sup> Для возведения в степень функции принадлежности, заданной вектор-строкой, необходимо возвести в эту степень каждый элемент вектор-строки.

2. Большой толковый словарь русского языка / Ин-т лингвистических исследований РАН; Сост. и гл. ред. С.А. Кузнецов. СПб.: «Норинт», 2000.
3. *Острейковский В.А., Сальников Н.Л.* Вероятностное прогнозирование работоспособности элементов ЯЭУ. М.: Энергоатомиздат, 1990.
4. Теория выбора и принятия решений. М.: Наука, 1982.
5. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976.
6. *Татарова Г.Г.* Качественные методы в структуре методологии анализа данных // Социология: методология, методы, математические модели. 2002. № 14. С. 33–52.
7. *Мухатдинова О.Р.* Построение и анализ социограмм на основе нечеткой логики // Социология: методология, методы, математические модели. 2000. № 12. С. 154–172.
8. *Орловский С.А.* Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука, 1981.
9. *Литвак Б.Г.* Управленческие решения. М.: Изд-во «ЭКМОС», 1998.
10. *In Jae Myung, Sridhar Ramamoorti, Andrew D. Bailey, Jr.* Maximum Entropy Aggregation of Expert Predictions. Manag. Sci., 1996. 42. № 10. С. 46–55.