

УДК 65.014; 658.012.32

Н. В. ДОЦЕНКО, Е. И. ШОСТАК*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина***АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ СОСТАВА КОМАНД
ИСПОЛНИТЕЛЕЙ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРОЕКТОВ НА ОСНОВЕ
КЛАСТЕРИЗАЦИИ И РАНЖИРОВАНИЯ ГРУППОВЫХ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК**

Рассмотрен завершающий этап процесса формирования команд исполнителей высокотехнологичных проектов (ВТП) при создании портфеля проектов инновационного предприятия, на основе коллективного оценивания альтернативных вариантов команд. Данному этапу предшествуют: формирование базы претендентов на включение в состав команды ВТП; оценивание каждого претендента на основе компетентностного подхода; уточнение результатов предыдущего этапа с использованием специальной нечеткой модели. Описаны методические средства для снижения уровня неопределенности, возникающей вследствие неоднородности оценок альтернативных вариантов состава команд ВТП, полученных от различных представителей группы экспертов (экспертной комиссии). Выделены три обобщенных варианта результатов оценивания, в зависимости от масштабов кластеризации оценок, и предложены методы усреднения оценок на основе следующих теорий: свидетельств; правдоподобных и парадоксальных рассуждений, грубых множеств.

Ключевые слова: *высотехнологичный проект, команда исполнителей проекта, коллективное экспертное оценивание, экспертная комиссия, теория правдоподобных и парадоксальных рассуждений, теория свидетельств, теория грубых множеств.*

Введение

Неуклонное возрастание количества высокотехнологичных проектов (ВТП) в портфелях проектов инновационных предприятий (ИП) [1] определяет актуальность задач, связанных с повышением эффективности использования кадрового потенциала (human resources) ИП. В указанном классе задач центральной является задача формирования, с одной стороны, такой команды исполнителей ВТП, уровень компетентности которых даст возможность обеспечить эффективное выполнение проекта, а с другой – рациональное распределение человеческих ресурсов с целью эффективной реализации портфеля проектов в рамках ИП.

В работе [2] описан подход к формированию команд исполнителей ВТП, направленный на снижение в процессе реализации будущего проекта неопределенности, связанной с установлением соответствия между задачами проекта, имеющими инновационный характер, и уровнем компетентности потенциальных исполнителей. Ключевыми этапами подхода являются: формирование базы претендентов на участие в проекте; оценивание компетентности претендентов; формирование альтернативных вариантов состава команды проекта; анализ альтернатив с помощью сценарных методов коллективного экспертного оценивания; выбор на основе результатов предыдущего этапа рационального варианта

команды исполнителей ВТП. Эффективность реализации на практике данного подхода определяется уровнем учета различных форм незнания. Анализ публикаций [3-8] показал, что на сегодня принято выделять следующие формы незнания: неполноту, вызванную отсутствием некоторых данных при полноте и корректности имеющихся данных; нечеткость – когда достоверность имеющихся данных не вызывает сомнений, однако эти данные не точны; неопределенность – когда истинность либо ложность данных может быть определена на основе вероятностных оценок. Традиционными путями преодоления указанных форм незнания являются методы, известные в теории вероятностей и теории нечетких множеств. В частности, методы нечеткой логики могут быть успешно применены на этапе оценивания результатов применения компетентностного подхода к отбору исполнителей ВТП. На завершающем же этапе подхода к формированию команд исполнителей ВТП на ИП, целесообразно применение методов коллективного экспертного оценивания, поскольку здесь одновременно могут иметь место различные формы незнания, например, неопределенность и неточность. Указанное обстоятельство возникает в силу необоснованности методов выявления и (или) анализа экспертной информации (неточность получаемых данных), отсутствия информации о компетентности экспертов (неопределенность результата). Коллективное экспертное

оценивание, наряду с неоспоримыми достоинствами, имеет ряд существенных недостатков, вызванных, в первую очередь, многокритериальностью, а также многоальтернативностью, необходимостью учета несовпадающих, а иногда и противоречивых экспертных суждений, что является прямым следствием наличия так называемых НЕ-факторов [9]. Снижение влияния НЕ-факторов на объективность экспертного оценивания возможно путём применения при ранжировании и кластеризации экспертных оценок специальных теорий, а именно нечёткой логики [10], теории свидетельств Демпстера – Шейфера [11], теории правдоподобных и парадоксальных рассуждений Дезера – Смарандаке [12], а также теории грубых множеств [13].

Цель статьи состоит в описании специальной процедуры анализа альтернативных вариантов команд исполнителей высокотехнологичных проектов на инновационных предприятиях, предполагающей коллективное экспертное оценивание альтернатив, с последующим повышением уровня согласованности экспертных свидетельств.

Постановка задачи исследования

Исходными данными для решения задачи является набор альтернативных вариантов состава команды исполнителей ВТП, а также состав группы экспертов (экспертной комиссии).

В работе [2] показано, что реализация коллективного экспертного оценивания альтернатив состава команд ВТП порождает один из трёх исходов:

- 1) близость оценок отдельных экспертов даёт возможность рассматривать экспертную комиссию как единую группу;
- 2) экспертная комиссия распадается на относительно небольшое количество кластеров, внутри которых оценки близки;
- 3) состав экспертной комиссии в результате опроса декомпозирован на большое число подгрупп с относительно немногочисленным составом каждой.

В первом из перечисленных выше случаев допустимо усреднение в той или иной форме оценок, данных всеми членами экспертной комиссии.

Во втором случае необходимо осуществить разбиение состава экспертной комиссии на подгруппы (кластеры), дать характеристику каждого кластера. Следующим этапом является усреднение экспертных оценок внутри кластеров. В результате для принятия окончательного решения о наилучшем варианте состава ВТП лицу, принимающему решения (ЛПР), будет в компактной и наглядной форме представлена информация о средних оценках в каждом кластере, вместе с содержательной характеристикой кластеров. Такой подход даёт возможность

учёта в принимаемом решении предпочтений ЛПР (топ-менеджера или HR-менеджера) относительно той или иной подгруппы экспертов (кластеров) в составе экспертной комиссии.

Третий случай предполагает выделение в составе комиссии «типов» экспертов, кардинально различных по своим оценкам, классификации выделенных типов и предоставление полученной информации ЛПР для принятия решений о реформировании экспертной комиссии.

Формальная постановка изложенной выше задачи предполагает описание следующих исходных данных [2]: портфеля проектов ИП P_T , для временного интервала $T = [t_3, t_k]$, при этом начальный момент t_3 соответствует моменту запуска самого раннего из незавершенных к настоящему времени проектов, а t_k - конечной дате, до которой определен портфель стратегий ИП; производственного персонала ИП $M^{(II)}$; портфеля стратегий ИП $P_T(G_{p(i)}^f)$ как проекции [14] множества $G_{p(i)}^f$, $G_{p(i)}^f \subseteq M^{(II)}$ на множество $T = [t_3, t_k]$; множества Δ факторов незнания (неполноты, нечеткости и неопределенности), функции ρ затрат на формирование команды проекта, $\rho: G_{p(i)}^f \times \Delta \rightarrow E$ (E - множество экспертных оценок), χ - функция допустимости существования команды проекта, $\chi: \Delta \rightarrow E$.

Результатом решения рассматриваемой задачи является получение обобщенной оценки альтернативных вариантов состава команд исполнителей ВТП.

Теоретический базис для решения задачи обеспечения согласованности результатов коллективного экспертного оценивания альтернативных вариантов команд ВТП

Для выбора метода получения обобщенной оценки на множестве индивидуальных оценок, данных членами экспертной комиссии, предварительно необходимо провести проверку этих оценок на согласованность. В общем случае, на практике используют два способа оценки согласованности мнений экспертов: коэффициент ранговой корреляции Спирмена и коэффициент конкордации Кендалла–Смита [15]. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена применяют тогда, когда экспертная комиссия состоит лишь из двух экспертов, и если экспертные оценки не являются числами. В случае, когда в состав комиссии входит более двух экспертов, и они могут только определить ранги объектов, то согла-

сованность их оценок определяется с помощью множественного коэффициента конкордации Кенделла–Смита.

Если задача проверки согласованности экспертных оценок решена положительно, то можно переходить к решению следующей задачи нахождения агрегированной (обобщенной) экспертной оценки. В этом случае для усреднения оценок экспертов целесообразно комплексное использование метода средних арифметических рангов (баллов) или метода медианных рангов.

В случае высокого уровня согласованности результатов коллективного экспертного оценивания, а также при отсутствии кардинально отличающихся (конфликтных) оценок, допустимо получение итогового результата путем усреднения всех оценок.

Традиционным путем выхода из описанной ситуации является оценка медианы [16]. При этом исходная совокупность экспертных оценок $E = \{e_1, e_2, \dots, e_i, \dots, e_n\}$ представляется в одной из двух форм вариационного ряда:

$$e_{(1)} \geq e_{(2)} \geq \dots \geq e_{(i)} \geq \dots \geq e_{(n)}$$

$$\text{или } e_{(1)} \leq e_{(2)} \leq \dots \leq e_{(i)} \leq \dots \leq e_{(n)}.$$

Оценка медианы производится по правилу:

$$e_{\text{med}}(n) = \begin{cases} e_{(n+1/2)}, & \text{если } n - \text{нечётное;} \\ e_{(n/2)} + e_{(n+1/2)} / 2, & \text{если } n - \text{чётное.} \end{cases} \quad (1)$$

Тот факт, что оценка медианы «отсекает» выделяющиеся из общего ряда оценки представляет собой органический недостаток метода, однако эта же особенность обеспечивает и робастность оценивания, определяя её устойчивость по отношению к оценкам, данным экспертами – «диссидентами». Вместе с тем, рассматриваемый случай, являясь самым «благоприятным» в работе экспертной комиссии, в целом допускает непосредственное применение для агрегирования экспертных оценок их усреднение на основе построения медианы. Классическим решением указанной задачи является построение медианы Кемени [15].

Пусть $a_i, i = \overline{1, l}$ – ответы l экспертов, представленные в виде бинарных отношений. Их усреднение возможно на основе медианы Кемени вида:

$$\text{Arg } \min_a \sum_{i=1}^l d(a_i, a), \quad (2)$$

где $\text{Arg } \min$ – то или те значения a , при которых достигает минимума сумма расстояний Кемени от ответов экспертов до текущей переменной a , по которой и проводится минимизация. Таким образом:

$$\sum_{i=1}^l d(a_i, a) = d(a_1, a) + d(a_2, a) + d(a_3, a) + \dots + d(a_l, a), \quad (3)$$

Вычисление медианы Кемени – задача целочисленного программирования, которая характеризуется достаточно высокой сложностью.

Ситуации, когда результаты работы экспертной комиссии представляют собой совокупность непесекающихся множеств оценок, близких между собой, предполагают проведение ранжирования экспертных оценок.

Формально, задача ранжирования экспертных оценок может быть представлена в следующем виде.

Пусть имеется n альтернатив $S_i, i = \overline{1, n}$. Тогда может быть сформирована последовательность:

$$\begin{aligned} \{S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n\} &\Rightarrow \\ &\Rightarrow \{S_1 \succ S_2 \succ \dots \succ S_i \succ \dots \succ S_n\} \vee \\ &\vee \{S_1 \succ S_2 \sim S_3 \succ \dots \succ S_i \sim S_{i+1} \succ \dots \succ S_n\}. \end{aligned} \quad (4)$$

В приведенной записи знаки « \succ » и « \sim », а также « \sim » означают предпочтение и эквивалентность соответственно;

$\{S_1 \succ S_2 \succ \dots \succ S_i \succ \dots \succ S_n\}$ представляет собой строгую, а $\{S_1 \succ S_2 \sim S_3 \succ \dots \succ S_i \sim S_{i+1} \succ \dots \succ S_n\}$ – нестрогую ранжировку.

При этом наличие в последовательности знака « \sim » свидетельствует о существовании кластеров.

К настоящему времени разработано и используется на практике большое количество методов ранжирования и выбора наилучших альтернатив [2, 16, 17]. Наиболее популярным, в условиях многокритериальности, является метод анализа иерархий [2, 18], однако лежащая в его основе процедура попарного сравнения альтернатив порождает ряд органических недостатков, которые непосредственным образом влияют на эффективность метода [2, 16].

Рассмотрим ситуации, возникающие в результате работы экспертной комиссии. Предположим, экспертной комиссии предъявляется набор альтернативных вариантов состава исполнителей ВТП, подлежащих оцениванию, и предлагается выбрать наиболее привлекательную (лучшую) с его точки зрения альтернативу или группу альтернатив, исходя из характеристик (свойств) исследуемых альтернатив, а также учитывая предпочтения экспертов.

Пусть имеется исходное множество альтернативных вариантов состава исполнителей ВТП $A = \{A_i \mid i = \overline{1, n}\}$ и группа экспертов $E = \{E_j \mid j = \overline{1, m}\}$, выполняющих экспертизу. Тогда в результате работы экспертной комиссии будет сформирована система подмножеств $X = \{X_j \mid j = \overline{1, m}\}$, отражающих предпочтения (выбор) экспертов, таких, что $X_j \subseteq A$. Любое подмножество X_j может быть построено на основе правил:

$X_j = \{A_i\}$ – экспертом выбрана одна альтернатива $A_i \in A$;

$X_j = \{A_i \mid i = \overline{1, p}\}$, $p < n$ – экспертом выбрано p альтернатив $A_i \in A$;

$X_j = A = \{A_i \mid i = \overline{1, n}\}$ – эксперт затрудняется выбрать какую-либо из предложенных альтернатив (все альтернативы равнозначны).

Пусть сформированные экспертами подмножества $X_j \subseteq A$, $j = \overline{1, m}$, удовлетворяют условию: $X_1 \subseteq X_2 \subseteq \dots \subseteq X_j \subseteq \dots \subseteq X_m \subseteq X$, в этом случае суждения экспертов признаны согласованными. Согласованные суждения экспертов (свидетельства) представляют собой такие свидетельства, при которых область значений одного из них является подмножеством области определения другого.

В практике работы экспертной комиссии может возникнуть ситуация, при которой сформированные экспертами подмножества $X_j \subseteq A$, $j = \overline{1, m}$, подчинены условию: $X_1 = X_2 = \dots = X_j = \dots = X_m$, при этом все эксперты выделили одно и то же множество исходных данных, либо сформированные экспертами подмножества $X_j \subseteq A$ удовлетворяют условию: $X_1 = X_2 = \dots = X_j = \dots = X_m$, $|X_j| = 1$, $\forall j = \overline{1, m}$, то есть все эксперты выделили одну и ту же альтернативу как лучший, по их мнению, выбор. Описанная ситуация является частным случаем согласованных экспертных свидетельств и определяет эквивалентность полученных экспертных свидетельств [15].

Пусть сформированные экспертами подмножества $X_j \subseteq A$, $j = \overline{1, m}$, подчинены условию: $X_1 \cap X_2 \cap \dots \cap X_j \cap \dots \cap X_m \neq \emptyset$, в этом случае суждения экспертов признаются совместимыми, то есть такими, которые имеют хотя бы один общий элемент. В описанной ситуации речь может идти о произвольных экспертных свидетельствах, в них отсутствуют элементы, принадлежащие одновременно всем свидетельствам, однако некоторые свидетельства могут иметь общие элементы. При этом выполняется условие $X_j \subseteq A$, $j = \overline{1, m}$, $X_1 \cap X_2 \cap \dots \cap X_j \cap \dots \cap X_m = \emptyset$, $\exists C: X_i \cap X_j \neq \emptyset$.

Раздельные или несвязанные экспертные свидетельства представляют собой такую структуру, при которой все свидетельства никак не взаимодействуют между собой (не пересекаются): $X_j \subseteq A$, $j = \overline{1, m}$, $\forall X_i, X_j \subseteq X: X_i \cap X_j = \emptyset$, частным слу-

чаем здесь является выбор каждым экспертом одной, уникальной альтернативы (то есть такой, которую не выбрал ни один из других экспертов).

Среди рассмотренных выше случаев, возникающих в процессе анализа результатов работы экспертной комиссии, наличие согласованных или эквивалентных свидетельств допускает формирование обобщенной оценки методом усреднения, в частности, построением медианы. Получение же совместимых и раздельных свидетельств от членов экспертной комиссии диктует необходимость применения для анализа и обработки экспертных суждений, применения специальных подходов, которые позволяют анализировать некоторые специфические виды неопределенностей. К таким подходам относятся математическая теория свидетельств (теория Демпстера–Шейфера – ТДШ) [4, 15, 19, 20], теория правдоподобных и парадоксальных рассуждений (теория Дезера–Смарандаке – ТДС) [5, 6, 15].

Ситуация, в которой результатом работы экспертной комиссии является совокупность несвязанных свидетельств, однозначно приводит к необходимости реформирования экспертной комиссии.

Рассмотрим применение основных положений ТДШ к решению задачи получения обобщенной оценки на основе оценок всех членов экспертной комиссии.

Пусть задано множество исходных данных (альтернатив) $\Omega = \{\omega_i \mid i = \overline{1, n}\}$.

В рамках ТДШ множество Ω (основа анализа) представляет собой множество исчерпывающих (всех возможных в данной ситуации) и взаимно исключаемых (уникально определенных и отличимых от других) элементов.

На основе ТДШ экспертом могут быть выделены подмножества $X_i \subseteq \Omega$, $i = \overline{1, 2^A}$, где 2^A – множество всех возможных подмножеств оценок отдельных экспертов, включая пустое множество $X_i = \{\emptyset\}$.

В практике коллективного экспертного оценивания вариантов состава команды исполнителей ВТП имеют место ситуации, при которых не всегда удается уникально определить (выделить полностью различные) все или некоторые элементы основы анализа (т.е. не поддерживается условие взаимной исключаемости), в этом случае они могут в значительной степени перекрываться друг другом. Данный эффект возникает в силу того, что элементы основы анализа отражают смутные, неопределенные понятия, такие например, как «старость–молодость», «профессиональная успешность» и другие.

Для анализа таких ситуаций необходимо применение более широкой теории, в рамках которой

имеется возможность оперировать с такого рода специфическими неопределенностями, а именно теории правдоподобных и парадоксальных рассуждений [5, 6, 15].

ТДС рассматривает множество Ω (основа задачи) только как множество исчерпывающих элементов $\Omega = \{\omega_i \mid i = \overline{1, n}\}$, которые могут потенциально перекрываться.

На основе ТДС экспертом могут быть выделены подмножества $X_i \subseteq \Omega$, $i = \overline{1, |D^A|}$, здесь D^A обозначает множество всех возможных подмножеств, которые могут быть сформированы на множестве Ω и удовлетворяют условиям:

1. $X_i = \{\emptyset\}$.
2. Если $X_i, X_j \in D^A$, тогда $X_i \cap X_j \in D^A$ (6) и $X_i \cup X_j \in D^A$.

Основу указанных теорий составляют три базовые функции [4-6, 19, 20] ($\forall B \subseteq \Omega$):

- основная масса вероятностей $m: \Lambda \rightarrow [0, 1]$
 $0 \leq m(X_i) \leq 1,$
 $\forall (X_i \in \Lambda), \quad m(\emptyset) = 0, \quad \sum_{X_i \in \Lambda} m(X_i) = 1;$ (7)

- функция уверенностей (доверия)
 $Bel: \Lambda \rightarrow [0, 1]:$

$$Bel(B) = \sum_{X_i \subseteq B, X_i \in \Lambda} m(X_i); \quad (8)$$

- функция правдоподобия $Pl: \Lambda \rightarrow [0, 1]:$

$$Pl(B) = \sum_{X_i \cap B \neq \emptyset, X_i \in \Lambda} m(X_i). \quad (9)$$

При этом множество Λ соответствует 2^A для ТДШ, и D^A для ТДС.

Число $m(X_i)$ определяет субъективную степень уверенности, что искомый элемент множества Ω находится в подмножестве $X_i \subseteq \Omega$.

Значения функции уверенностей для отдельных подмножеств (кластеров) Ω выражают всю степень поддержки, отдаваемую каждому из таких подмножеств. Значения функции правдоподобия выражают полную степень потенциальной поддержки, которая может быть отдана каждому из этих кластеров. Значение функций $Bel(\cdot)$ и $Pl(\cdot)$ определяют верхнюю и нижнюю границы интервала, который содержит точную величину вероятности $P(B)$ рассматриваемого подмножества B :

$$Bel(B) \leq P(B) \leq Pl(B). \quad (10)$$

Интервал $[Bel(B), Pl(B)]$, $Bel(B) \leq Pl(B)$ носит название интервала доверия и представляет собой

единичный интервал $[0, 1]$.

В случаях, когда экспертные свидетельства, полученные по итогам работы экспертной комиссии, являются совместимыми или раздельными, возникает задача комбинирования этих оценок. Основным инструментом комбинирования оценок в ТДШ является правило Демпстера, при этом известно, что главным недостатком этого правила выступает неспособность обобщения конфликтных свидетельств [21]. Попытка избавиться от указанного недостатка привела к появлению других правил комбинирования свидетельств, основанных на определении конъюнктивного консенсуса (Ягера, центральной комбинации Жанга, Инагаки, Сметса, перераспределения конфликтов PCR5) [22-26]. Однако, с учетом специфики решаемой задачи, можно утверждать, что правило комбинирования Демпстера может быть с успехом применено для получения обобщенной оценки экспертной комиссии.

Правило Демпстера [4, 19] основано на вычислении значения комбинированной вероятности:

$$m_{DS}(X) = \frac{1}{1 - k_{12}} \cdot \sum_{X_1, X_2 \in 2^\Omega, X_1 \cap X_2 = X} m_1(X_1)m_2(X_2), \quad (11)$$

где X_1, X_2 – группы экспертных свидетельств, полученные из 1 и 2-го независимых источников (групп экспертов); k_{12} – степень конфликтности, которая определяется как

$$k_{12} = \sum_{X_1, X_2 \in 2^\Omega, X_1 \cap X_2 = \emptyset} m_1(X_1)m_2(X_2). \quad (12)$$

Анализ конфликтных свидетельств, полученных в результате работы экспертной комиссии, требует применения инструментария, известного в теории правдоподобных и парадоксальных рассуждений Дезера-Смарандаке. В ТДС для комбинирования назначенных экспертами степеней уверенностей используется классическое правило комбинирования Дезера-Смарандаке. Применение этого правила дает возможность отобразить конъюнктивный консенсус между обобщенными основными назначениями уверенностей, полученными на основе независимых групп свидетельств [5, 6, 27].

Пусть имеется универсальное множество Ω и два независимых источника данных (групп экспертов). Обозначим основные массы вероятности выделенных фокальных элементов, полученных из первого и второго источников, соответственно $m_1(\cdot)$ и $m_2(\cdot)$

Комбинированная масса уверенности пересекающихся фокальных элементов, при условии, что $\forall X \subset D^\Omega$, определяется выражением:

$$m_{\cap}(X) = \sum_{X_1, X_2 \subset D^{\Omega}, X_1 \cap X_2 = X} m_1(X_1) \cdot m_2(X_2). \quad (13)$$

Чем выше степень пересечения исходных фактальных элементов, тем меньше теряется исходной информации, и тем более убедительными представляются результаты комбинирования связанных с ними основных масс уверенности.

Таким образом, описанный выше инструментарий дает возможность сформировать обобщенную оценку по итогам работы экспертной комиссии во всех случаях, кроме предельного, когда экспертные свидетельства оказались несвязанными. В последнем случае возникает необходимость в реформировании экспертной комиссии.

Метод формирования обобщенной оценки результатов работы экспертной комиссии по выбору варианта состава команды исполнителей ВТП

Будем считать, что экспертные свидетельства представлены в числовом виде с использованием абсолютной шкалы. Тогда в формальном виде процедура получения обобщенного результата работы экспертной комиссии может быть представлена следующим выражением:

$$(X_{ij}) = \begin{pmatrix} x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \Rightarrow \uparrow [\pi_1] \Rightarrow \begin{pmatrix} X_1 \\ \dots \\ X_j \\ \dots \\ X_m \end{pmatrix} \Rightarrow X_{об}, \uparrow [\pi_2]$$

где каждый элемент x_{ij} матрицы X_{ij} – оценка i -м экспертом j -го варианта команды исполнителей ВТП ($i=1, \dots, m; j=1, \dots, n$); $X_j = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_m\}$ – множество индивидуальных экспертных оценок j -го варианта; $X_{об}$ – обобщенная экспертная оценка; $[\pi_i]$ – оператор обработки индивидуальных экспертных оценок, представляющий собой упорядоченную совокупность методов коллективного экспертного оценивания.

Непосредственная реализация процедуры (14) предполагает выполнение следующей последовательности действий.

1. Формирование экспертной комиссии

$$E = \{E_j \mid j = \overline{1, m}\}.$$

2. Предъявление членам экспертной комиссии множества альтернативных вариантов состава исполнителей ВТП $A = \{A_i \mid i = \overline{1, n}\}$ и получение от них множества индивидуальных экспертных оценок $X_j = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_m\}$.

3. Проверка множества X_j индивидуальных оценок на согласованность. В случае, если в составе экспертной комиссии не больше двух экспертов – степень согласованности оценивается на основе коэффициента ранговой корреляции Спирмена, в противном случае – на основе коэффициента конкордации Кенделла-Смита.

4. Если степень согласованности индивидуальных оценок допустима, вычисление обобщенной оценки путем усреднения значений элементов множества $X_j = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_m\}$ на основе медианы

$$\text{Кемени } \text{Arg} \min_a \sum_{i=1}^1 d(a_i, a).$$

5. В случае недостаточной согласованности индивидуальных оценок – проведение ранжирования альтернатив

$$R_{\text{итог}} : \{A_1 \succ A_2 \succ \dots \succ A_j \succ \dots \succ A_n\} \vee \{A_1 \succ A_2 \sim A_3 \succ \dots \succ A_{j-1} \sim A_j \succ \dots \succ A_n\}$$

и оценивание степени их совместимости. Если экспертные свидетельства оказались раздельными (несвязанными) – реформирование экспертной комиссии.

6. В зависимости от степени совместимости экспертных свидетельств – применение правила комбинирования Демпстера, либо достижение конъюнктивного консенсуса на основе правила комбинирования Дезера-Смарандаке.

7. Вычисление обобщенной оценки $X_{об}$ по итогам работы экспертной комиссии.

Обобщенная оценка работы экспертной комиссии предоставляется топ-менеджменту инновационного предприятия (директору, HR-менеджеру и др.) для принятия и утверждения решения об окончательном составе команды исполнителей ВТП, что и является результатом применения методов коллективного экспертного оценивания при формировании команды проекта.

Выводы

1. Рассмотрена на содержательном и формальном уровнях постановка задачи анализа альтернативных вариантов состава команд исполнителей высокотехнологичных проектов. Данная задача относится к классу задач управления персоналом инновационного предприятия, и ей предшествуют

подбор претендентов на включение в состав команды на основе оценки каждого на основе компетентностного подхода, а также предварительное оценивание вариантов команд средствами нечеткой логики. В результате решения задачи топ менеджер и HR-менеджер получают обобщенные оценки вариантов команд, для принятия окончательного решения с использованием методов, известных в теории коллективного экспертного оценивания.

2. Для анализа экспертных свидетельств о рациональности рассматриваемых альтернативных вариантов состава команд предложено использовать ряд методов, известных в теории коллективного экспертного оценивания. Упомянутые методы дают возможность оценить степень согласованности оценок отдельных экспертов и, при наличии диссонанса между этими оценками, учесть это обстоятельство в процессе формирования обобщенной оценки.

3. Описан метод формирования обобщенной оценки вариантов состава команд исполнителей высокотехнологичного проекта, учитывающий три типа ситуаций в работе экспертной комиссии, когда оценки: согласованы; совместимы; не связаны.

Литература

1. Гавва, В. Н. Оценка потенциала предприятия и отрасли : монография [Текст] / В. Н. Гавва. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2004. – 287 с.
2. Шостак, Е. И. Формирование команд исполнителей высокотехнологичных проектов на инновационных предприятиях с использованием экспертного оценивания сценариев [Текст] / Е. И. Шостак // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : зб. наук. праць. Сер. : Механіко-технологічні системи та комплекси. – № 36(1145). – Х., 2015. – С. 57-63.
3. Sentz, K. Combination of Evidence in Dempster-Shafer Theory SAND2002-0835 [Text] : technical report / K. Sentz, S. Ferson. – Albuquerque, New Mexico : Sandia National Laboratories, 2002. – 94 p.
4. Shafer, G. A mathematical theory of evidence [Text] / G. Shafer. – Princeton : Princeton University Press, 1976. – 297 p.
5. Smarandache, F. Advances and applications of DSMT for Information Fusion [Electronic resource] / F. Smarandache, J. Dezert // Rehoboth : American Research Press, 2004. – Vol. 1. – 438 p. – Available at : <http://www.gallup.unm.edu/~smarandache/DSMT-book1.pdf>.
6. Smarandache, F. Advances and applications of DSMT for Information Fusion [Electronic resource] / F. Smarandache, J. Dezert // Rehoboth : American Research Press, 2006. – Vol. 2. – 461 p. – Available at : <http://www.gallup.unm.edu/~smarandache/DSMT-book2.pdf>.
7. Uzga-Rebrovs, O. Nenoteiktību parvaldisana [Text] / O. Uzga-Rebrovs. – Rēzekne : RA Izdevniecība, 2010. – Vol. 3. – 560 p.
8. Коваленко, И. И. Методы экспертного оценивания сценариев [Текст] : учеб. пособие / И. И. Коваленко, А. В. Швед. – Николаев : Изд-во ЧГУ им. Петра Могилы, 2012. – 156 с.
9. Асаи, К. Прикладные нечеткие системы [Текст] : монография / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи [и др.] ; пер. с япон. – М. : Мир, 1993. – 392 с.
10. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление [Текст] / А. Пегат ; пер. с англ. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.
11. Shafer, G. A mathematical theory of evidence [Text] / G. Shafer. – Princeton University Press, Princeton, 1976. – 297 p.
12. Smarandache, F. Advances and applications of DSMT for Information Fusion [Electronic resource] / F. Smarandache, J. Dezert // Rehoboth : American Research Press, 2009. – Vol. 3. – 760 p. – Available at : <http://fs.gallup.unm.edu/DSMT-book3.pdf>
13. Коваленко, И. И. Некоторые прикладные задачи теории грубых множеств [Текст] / И. И. Коваленко, А. В. Швед // Вестник ХНТУ : сб. науч. тр. – Вып. 1(44). – 2012. – С. 7-14.
14. Куратовский, К. Теория множеств [Текст] / К. Куратовский, А. Мостовский. – М. : Мир, 1970. – 416 с.
15. Коваленко, И. И. Экспертные технологии поддержки принятия решений [Текст] : монография // И. И. Коваленко, А. В. Швед. – Николаев : Илюн, 2013. – 216 с.
16. Китаев, Н. Н. Групповые экспертные оценки [Текст] / Н. Н. Китаев. – М. : Знание, 1975. – 64 с.
17. Ильина, Е. П. Оценка и использование показателей качества экспертного решения проблемы [Текст] / Е. П. Ильина // Проблемы программирования. – 2007. – № 1. – С. 38-45.
18. Коваленко, И. И. Анализ адаптивных робастных процедур статистического оценивания данных [Текст] / И. И. Коваленко, А. В. Швед // Вестник ХНТУ : сб. науч. тр. – Вып. 2(38). – Херсон, 2010. – С. 141-147.
19. Beynon, M. J. The Dempster-Shafer theory of evidence: an alternative approach to multicriteria decision modeling [Text] / M. J. Beynon, B. Curry, P. Morgan // Omega. – 2000. – Vol. 28, № 1. – P. 37-50.
20. Dempster, A. P. Upper and lower probabilities induced by a multi-valued mapping [Text] / A. P. Dempster // Ann. Math. Stat. – 1967. – Vol. 38. – P. 325-339.
21. Zadeh, L. A. Review of Shafer's "mathematical theory of evidence" [Text] / L. A. Zadeh // The AI Magazine. – 1984. – P. 81-83.
22. Inagaki, T. Interdependence between safety-control policy and multiple-sensor schemes via Dempster-Shafer theory [Text] / T. Inagaki // Transaction on Reliability. – 1991. – Vol. 40, № 2. – P. 182-188.

23. Smets, Ph. *The transferable belief model* [Text] / Ph. Smets, R. Kennes // *Artificial Intelligence*. – 1994. – Vol. 66, № 2. – P. 191-234.

24. Yager, R. R. *On the Dempster–Shafer framework and new combination rules* [Text] / R. R. Yager // *Information Sciences*. – 1987. – Vol. 41. – P. 93-138.

25. Yager, R. R. *On the relationships of methods of aggregation of evidence in expert systems* [Text] / R. R. Yager // *Cybernetics and Systems*. – 1985. – Vol. 16. – P. 1-21.

26. Zhang, L. *Representation, independence and combination of evidence in the Dempster-Shafer Theory* [Text]. *Advances in the Dempster-Shafer Theory of Evidence* / L. Zhang ; ed. by R.R. Yager. – New York : John Wiley & Sons, Inc. – 1994. – P. 51-69.

27. Smarandache, F. *An In-Depth Look at Information Fusion Rules and the Unification of Fusion Theories* [Electronic resource] / F. Smarandache // *Computing Research Repository (CoRR)*. – 2004. – Vol. cs. OH/0410033. – 22 p. - Available at : <http://arxiv.org/pdf/cs.OH/0410033.pdf>.

References

1. Gavva, V. N. *Ocenka potenciala predpriyatiya i otrasli : monografiya* [Assessing the potential of enterprises and industries]. Kharkov, KHAI Publ., 2004. 287 p.

2. Shostak, E. I. *Formirovanie komand ispolniteley vyisokotekhnologichnykh proektov na innovatsionnykh predpriyatiyah s ispolzovaniem ekspertnogo otsenivaniya stsensariiev* [Formation of high-tech projects implementing innovative teams at companies using expert assessment scenarios]. *Visnik Natsionalnogo tekhnichnogo universitetu «HPI» : zb. nauk. pr. Ser. : Mehaniko-tehnologichni sistemi ta kompleksi* [Gerald of National Polytechnical university “KhPI”. Collected scientific papers. Ser. Mechanical-technological systems and complexes]. Kharkov, 2015, vol. 36(1145), pp. 57-63.

3. Sentz, K., Ferson, S. *Combination of Evidence in Dempster-Shafer Theory. SAND2002–0835 Technical Report*. Albuquerque, New Mexico, 2002. 94 p.

4. Shafer, G. *A mathematical theory of evidence*. Princeton, Princeton University Press Publ., 1976. 297 p.

5. Smarandache, F., Dezert, J. *Advances and applications of DSMT for Information Fusion. Rehoboth: American Research Press, 2004, vol. 1. 438 p.* [The global pharmaceutical industry]. Available at : <http://www.gallup.unm.edu/~smarandache/DSMT-book1.pdf>

6. Smarandache, F., Dezert, J. *Advances and applications of DSMT for Information Fusion. Rehoboth: American Research Press, 2006, vol. 2. 461 p.* [The global pharmaceutical industry]. Available at : <http://www.gallup.unm.edu/~smarandache/DSMT-book2.pdf>

7. Uzga–Rebrovs, O. *Nenoteiktibu parvaldisana*. Rezekne, RA Izdevnieciba Publ., 2010, vol. 3. 560 p.

8. Kovalenko, I. I., Shved, A. V. *Metodyi ekspertnogo otsenivaniya stsensariiev* [Methods of evaluation of the expert scenarios]. Nikolaev, Izd-vo ChGU im. Petra Mogilyi, 2012. 156 p.

9. Asai, K., Vatada, D., Ivai, S. *Prikladnye nechetkie sistemy : monografiya* [Applied fuzzy systems]. Moscow, Mir Publ., 1993. 392 p.

10. Pegat, A. *Nechetkoe modelirovanie i upravlenie* [Fuzzy modeling and control]. Moscow, BINOM, Laboratoriya znanij Publ., 2009. 798 p.

11. Shafer, G. *A mathematical theory of evidence*. Princeton, Princeton University Press Publ., 1976. 297 p.

12. Smarandache, F., Dezert, J. *Advances and applications of DSMT for Information Fusion. Rehoboth: American Research Press, 2009, vol. 3. 760 p.* [The global pharmaceutical industry]. Available at : <http://fs.gallup.unm.edu/DSMT-book3.pdf>

13. Kovalenko, I. I., Shved, A. V. *Nekotorye prikladnye zadachi teorii grubyx mnozhestv* [Some applied problems of rough set theory]. *Vestnik XNTU : sb. nauch. tr.* [Gerald of National Polytechnical university “KhPI”. Collected scientific papers.]. Kharkov, 2012, vol. 1(44), pp. 7-14.

14. Kuratovskij, K., Mostovskij, A. *Teoriya mnozhestv* [Set theory]. Moscow, Mir Publ., 1970. 416 p.

15. Kovalenko, I. I., Shved, A. V. *Ekspertnye tekhnologii podderzhki prinyatiya reshenij* [Expert tech support decision-making]. Nikolaev, Ilion Publ., 2013. 216 p.

16. Kitaev, N. N. *Grupповые ekspertnye ocenki* [Group expert assessments]. Moscow, Znanie Publ., 1975. 64 p.

17. Ilina, E. P. *Ocenka i ispolzovanie pokazatelej kachestva ekspertnogo resheniya problem* [Assessment and use of indicators of quality of expert problem solving]. *Problemy programmirovaniya*, 2007, no. 1, pp. 38-45.

18. Kovalenko, I. I., Shved, A. V. *Analiz adaptivnykh robstnykh protsedur statisticheskogo otsenivaniya dannykh* [Analysis of adaptive robust procedures for statistical data assessment]. Herson, *Vestnik HNTU*, 2010, vol. 2(38), pp.141-147.

19. Beynon, M. J., Curry, B., Morgan, P. *The Dempster-Shafer theory of evidence: an alternative approach to multicriteria decision modeling. Omega*, 2000, vol. 28, no. 1, pp. 37-50.

20. Dempster, A. P. *Upper and lower probabilities induced by a multi-valued mapping. Ann. Math. Stat.*, 1967, vol. 38, pp. 325-339.

21. Zadeh, L. A. *Review of Shafer's “mathematical theory of evidence”*. *The AI Magazine*, 1984, pp. 81-83.

22. Inagaki, T. *Interdependence between safety-control policy and multiple-sensor schemes via Dempster-Shafer theory. Transaction on Reliability*, 1991, vol. 40, no. 2, pp. 182-188.

23. Smets, Ph., Kennes, R. *The transferable belief model. Artificial Intelligence*, 1994, vol. 66, no. 2, pp. 191-234.

24. Yager, R. R. On the Dempster–Shafer framework and new combination rules. *Information Sciences*, 1987, vol. 41, pp. 93-138.

25. Yager, R. R. On the relationships of methods of aggregation of evidence in expert systems. *Cybernetics and Systems*, 1985, vol. 16, pp. 1-21.

26. Zhang, L. *Representation, independence and combination of evidence in the Dempster-Shafer Theory*. *Advances in the Dempster-Shafer Theory of Evi-*

dence. New York, John Wiley & Sons Inc. Publ., 1994, pp. 51-69.

27. Smarandache, F. An In–Depth Look at Information Fusion Rules and the Unification of Fusion Theories. *Computing Research Repository (CoRR)*, 2004, vol. cs.OH/0410033. 22 p. [The global pharmaceutical industry]. Available at: <http://arxiv.org/pdf/cs.OH/0410033.pdf>.

Поступила в редакцію 12.05.2016, рассмотрена на редколлегии 15.06.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой менеджмента В. М. Вартамян, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

АНАЛІЗ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВАРІАНТІВ СКЛАДУ КОМАНД ВИКОНАВЦІВ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЄКТІВ НА ОСНОВІ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ І РАНЖУВАННЯ ГРУПОВИХ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК

Н. В. Доценко, О. І. Шостак

Розглянуто завершальний етап процесу формування команд виконавців високотехнологічних проєктів (ВТП) при створенні портфеля проєктів інноваційного підприємства, на основі колективного оцінювання альтернативних варіантів команд. Даному етапу передують: формування бази претендентів на включення до складу команди ВТП; оцінювання кожного претендента на основі компетентнісного підходу; уточнення результатів попереднього етапу з використанням спеціальної нечіткої моделі. Описано методичні засоби для зниження рівня невизначеності, що виникає внаслідок неоднорідності оцінок альтернативних варіантів складу команд ВТП, отриманих від різних представників групи експертів (експертної комісії). Виділено три узагальнені варіанти результатів оцінювання, в залежності від масштабів кластеризації оцінок, і запропоновано методи усереднення оцінок на основі наступних теорій: свідомств; правдоподібних і парадоксальних міркувань, грубих множин.

Ключові слова: високотехнологічний проєкт, команда виконавців проєкту, колективне експертне оцінювання, експертна комісія, теорія правдоподібних і парадоксальних міркувань, теорія свідомств, теорія грубих множин.

ANALYSIS OF ALTERNATIVES RECAPS IMPLEMENTING HIGH-TECH PROJECTS BASED ON CLUSTERING AND RANKING OF GROUP EXPERT ASSESSMENTS

N. V. Dotsenko, E. I. Shostak

Considered the final stage of the formation of teams of high-tech projects of artists (HTP) to create a portfolio of innovative enterprise projects, based on a collective assessment of alternatives command. This stage is preceded by: forming the base of applicants for inclusion in the HTP team; evaluating each applicant on the basis of competence-based approach; clarification of the results of the previous stage using a special fuzzy model. Methodical means to reduce the level of uncertainty arising as a result of non-uniformity evaluation of alternatives composition HTP commands received from various representatives of the group of experts (expert committee). It identifies three generic version of estimation results, depending on the scale of assessments of clustering, and proposed methods of averaging on the basis of estimates of the following theories: evidence; plausible and paradoxical reasoning, rough sets.

Keywords: high-tech project, the project team of performers, the collective expert evaluation, the expert commission, the theory of plausible and paradoxical reasoning, evidence theory, the theory of rough sets.

Доценко Наталья Владимировна – канд. техн. наук, доц., доц. каф. менеджмента, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: nvdotsenko@gmail.com.

Шостак Елена Игоревна – аспирант каф. менеджмента, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: ei_shostak@mail.ru.

Dotsenko Natalia Vladimirovna - Ph.D., Associate Professor Department of Management, National Aerospace University named by N. E. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute", Kharkov, Ukraine, e-mail: nvdotsenko@gmail.com.

Shostak Elena Igorevna - graduate student Department of Management, National Aerospace University named by N. E. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute", Kharkov, Ukraine, e-mail: ei_shostak@mail.ru.