

МОДЕЛИ СОГЛАСОВАННОГО КОМПЛЕКСНОГО ОЦЕНИВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В.Н. Бурков, И.В. Буркова, Н.А. Коргин, А.В. Щепкин

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук,
г. Москва, Россия*

Введение. Построение качественной комплексной оценки объекта требует более точного и всестороннего учета как объективной информации об объекте, так субъективных оценок, индивидуального опыта, интуиции и знаний руководителя объекта. **Цель исследования.** Целью работы является разработка современного подхода к решению задач многокритериального оценивания и ранжирования на основе формирования согласованной структуры комплексной оценки. Для этого осуществляется выбор структуры системы комплексного оценивания (дихотомического дерева, вершины которого соответствуют оцениваемым направлениям, а корневая вершина – комплексной оценке) и выбор матричных сверток в каждой (не ви-сячей) вершине дерева. Кроме того, разрабатываются требования к шкалам оценивания, дере-ву свертки и матрицам свертки, позволяющим наглядно продемонстрировать синергетиче-ский эффект и дать описание класса обобщенных медианных схем, реализуемых на выпуклом представлении двоичных деревьев. **Материалы и методы.** Решение этих задач основывается на методе синтеза и обобщения существующих подходов к построению комплексной оценки и имитационного моделирования при выборе структуры системы комплексного оценивания. При этом определены матрицы свертки на основе обучающих вариантов, задаваемых экспер-тами, такие, что для любого обучающего варианта оценка, полученная на основе системы комплексного оценивания, совпадает с экспертной оценкой. **Результаты.** Получены условия существования матрицы в виде неравенств на обобщенные оценки обучающих подвариантов. Этим неравенствам поставлен в соответствие граф, вершины которого обозначают подварианты, а дуги отражают неравенства, связывающие обобщенные оценки. Показано, что если граф не имеет контуров, то матрица свертки существует. Предложен алгоритм определения обобщенных оценок подвариантов на основе полученного графа и последующего определе-ния соответствующей матрицы. Дано обоснование требований к шкалам оценивания и струк-туре дерева свертки. Получены требования к размерности и виду матриц свертки, находящих-ся в узлах дерева. Определена возможность реализации набора обучающих данных с помо-щью какого-либо механизма комплексного оценивания. **Заключение.** Полученные результаты позволяют формировать системы комплексного оценивания, обеспечивающие гибкость на-стройки на предпочтения лиц, принимающих решения, простоту расчетов и возможность ре-шения на этой основе оптимизационных задач формирования программ.

Ключевые слова: комплексная оценка, экспертные варианты, дихотомическое дерево, матричные свертки, граф, синергетический эффект, идентификация.

Введение

Реализация метода комплексного оценивания (КО) [1–5] состоит в последовательном выпол-нении определенных этапов. Приведем их укрупненную последовательность.

1. На первом этапе формируется набор показателей, в необходимой и достаточной мере ха-рактеризующих объект оценки.

2. Далее для всех показателей формируется качественная шкала и все показатели оценивают-ся по ней. Наибольшее распространение получила 4-балльная шкала с оценками 1 (плохо), 2 (удовлетворительно), 3 (хорошо) и 4 (отлично). Перевод количественных оценок в качествен-ные происходит путем разбиения шкалы возможных количественных оценок на интервалы по

количеству качественных оценок и выставления оценки в зависимости от того, в какой интервал попадает количественное значение показателя.

3. На следующем шаге формируется дерево попарной свертки начальных или уже агрегированных показателей (критериев), причем на верхнем уровне получается КО. Для одного и того же набора показателей могут быть сформированы различные деревья – показатели могут по-разному объединяться в пары, к агрегированной оценке может добавляться либо вторая агрегированная оценка, либо показатель начального уровня и т. д. Причем вид дерева может повлиять на итоговую КО.

4. Для каждой вершины дерева, где происходит агрегация критериев, формируются матрицы логической свертки, отражающие, какая оценка агрегированного критерия будет соответствовать каждой паре оценок критериев нижнего уровня, входящих в него. Причем после формирования всех матриц мы получаем не просто КО для конкретной комбинации оценок показателей выбранного объекта, но инструмент получения КО для любой комбинации оценок. Очевидно, что от сформированных матриц свертки (которые могут быть сформированы по-разному) значение КО тоже зависит.

Обратим внимание на то, что каждый из четырех этапов может быть реализован неоднозначно – могут быть выбраны различные наборы критериев, шкалы оценки, по-разному выставлены оценки показателей. Особенности 3-го и 4-го этапов отмечены выше, и именно эти этапы влияют на конечный результат особенно сильно. Поэтому для максимально адекватного отражения мнения лица, проводящего комплексное оценивание, следует быть готовыми к решению двух важных задач.

1. Выбор максимально эффективной структуры дихотомического дерева КО.

2. Формирование адекватных матриц логической свертки в вершинах дерева КО.

До настоящего момента основой подходов к синтезу структуры двух деревьев и матриц свертки в его узлах осуществлялся на основе оценки сравнительной важности критериев, являющихся листьями дерева комплексного оценивания [6, 7]. Подходам, позволяющим формализовать процесс синтеза КО на основе наборов обучающих данных, внимания уделено не было. В то же время в смежных областях теории принятия решений, использующих древовидные структуры для синтеза правил принятия решений, данной проблематике уделяется достаточно много внимания, в частности, в области деревьев принятия решений [8]. Однако принципиальные различия в подходах к применению деревьев (в том числе двоичных) при построении деревьев поддержки принятия решений и механизмов комплексного оценивания не позволяют применить полученные результаты напрямую.

1. Выбор матриц структуры дихотомического дерева комплексного оценивания

Будем считать, что задана структура дихотомического дерева системы комплексного оценивания (СКО).

Рассматриваем случай последовательной структуры, приведенной на рис. 1. Эту структуру можно назвать «ветка дерева».

Рассматривается случай последовательной структуры. Совокупность значений показателей $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, называется вариантом, а часть этой совокупности $\{x_1, x_2, \dots, x_q\}$, где $q < m$ – q -подвариантом. Требуется определить матрицы свертки в вершинах I, II и III.

Предполагается, что заданы обучающие варианты, т. е. для некоторого множества вариантов π значений показателей экспертами определены комплексные оценки $K(\pi)$. Задача заключается в определении $(m-1)$ матриц (m – число критериев оценки) таких, что КО любого варианта π равна $K(\pi)$.

Сначала рассматривается случай двухбалльной шкалы оценок и трех критериев ($m = 3$). В этом случае необходимо определить две матрицы. Дихотомическое дерево для $m = 3$ приведено на рис. 2.

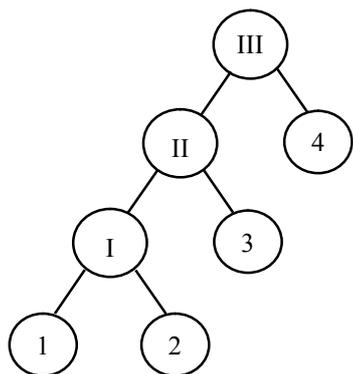


Рис. 1. Структура типа «ветка дерева»
Fig. 1. "Tree Branch" Structure

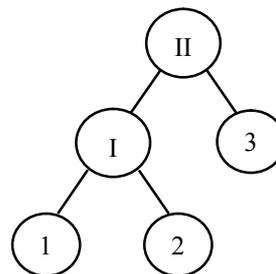


Рис. 2. Дихотомическое дерево для $m = 3$
Fig. 2. Dichotomizing tree for $m = 3$

Заметим, что при $m = 3$ и двухбалльной шкале существует $q = 2^3 = 8$ различных вариантов. В табл. 1 приведен пример экспертных комплексных оценок этих вариантов.

Составим на основе табл. 1 обучающие варианты в виде табл. 2.

Таблица 1
Экспертные комплексные оценки
Table 1
Expert complex estimates

КО	x_1	x_2	x_3
0	0	0	0
0	0	0	1
1	0	1	0
1	0	1	1
0	1	0	0
0	1	0	1
1	1	1	0
1	1	1	1

Таблица 2
Обучающие варианты
Table 2
The training variants

(x_1, x_2)	$x_3 = 0$	$x_3 = 1$
(0, 0)	0	0
(0, 1)	1	1
(1, 0)	0	0
(1, 1)	1	1

Необходимо присвоить всем возможным комбинациям оценок x_1 и x_2 обобщенные оценки $K(x_1, x_2)$, равные 0 или 1. После этого можно получить необходимое условие существования двухбалльной системы КО. Пусть для $x_3 = 0$ существуют пары (x_1, x_2) такие, что КО = 1. В этом случае обобщенная оценка этих пар $K(x_1, x_2)$ должна быть равна 1. Действительно, если $K(x_1, x_2) = 0$, то КО при $x_3 = 0$ не может быть 1. Более того, для пар (x_1, x_2) , имеющих комплексную оценку 0 (либо при $x_3 = 0$, либо при $x_3 = 1$), обобщенная оценка должна быть равной 0. И, наконец, для всех пар, имеющих при $x_3 = 1$ комплексную оценку 0, обобщенная оценка должна быть равна 0. Полученные условия существования двухбалльной системы КО удобно представить в виде графа, вершины которого соответствуют парам (x_1, x_2) , а дуги отражают различие обобщенных оценок (рис. 3).

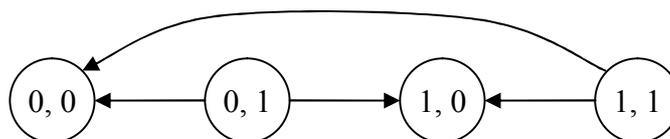


Рис. 3. Представление условия существования
двухбалльной системы КО в виде графа
Fig. 3. Representation of condition of existence of two-point system
of complex estimation in the form of graph

Из графа следует, что обобщенные оценки пар (0, 0) и (1, 0) равны 0, а пар (0, 1) и (1, 1) равны 1. В этом случае легко построить матрицу для узла I рис. 2. свертки показателей (x_1, x_2) . На рис. 4 представлена эта матрица.

Из матрицы на рис. 4 легко построить матрицу для узла II рис. 2 свертки обобщенного показателя (x_1, x_2) и показателя x_3 . На рис. 5 представлена эта матрица.

	1	1	1
	0	0	0
x_2		0	1
x_1			

Рис. 4. Матрица для узла I свертки показателей (x_1, x_2)
Fig. 4. Matrix for node I of key figure convolution (x_1, x_2)

	1	0	1
	0	0	1
x_3		0	1
(x_1, x_2)			

Рис. 5. Матрица для узла II свертки обобщенного показателя (x_1, x_2) и показателя x_3
Fig. 5. Matrix for node II of convolution of generalized indicator (x_1, x_2) and indicator x_3

Приведем пример нарушения необходимых условий (табл. 3).

Составим на основе табл. 3 обучающие варианты в виде табл. 4.

Таблица 3
Нарушение необходимых условий
Table 3
Violation of necessary conditions

КО	x_1	x_2	x_3
0	0	0	0
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
1	1	1	0
1	1	0	1
1	0	1	1
1	1	1	1

Таблица 4
Обучающие варианты из табл. 3
Table 4
Training variants from Table 3

(x_1, x_2)	$x_3 = 0$	$x_3 = 1$
(0, 0)	0	0
(0, 1)	0	1
(1, 0)	0	1
(1, 1)	1	1

Граф, соответствующий нарушению необходимых условий, приведен на рис. 6.

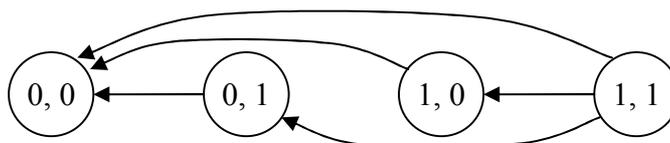


Рис. 6. Представление в виде графа нарушения необходимых условий
Fig. 6. Representation in the form of a graph of violation of the necessary conditions

Из этого графа следует, что двухбалльную систему КО построить не удастся. Действительно, пара (0, 1) должна иметь обобщенную оценку 1, поскольку имеется дуга [01, 00]. С другой стороны, она должна иметь обобщенную оценку 0, поскольку имеется дуга [11, 01]. Аналогичная ситуация с парой (1, 0).

В общем случае имеются m показателей (критериев) и шкала оценок с n_i градаций для i -го показателя. Алгоритм решения задачи состоит в последовательном получении обобщенных оценок, начиная с матрицы $(m - 1)$ верхнего уровня. Доказывается, что если аналогичным образом построенный граф не имеет контуров, то существует матрица свертки $A(m - 1)$. При этом минимальное число градаций шкалы равно максимальной длине путей графа (длина пути равна числу его дуг). В случае произвольных структур дерева КО задача становится существенно более сложной. Полученная для этого случая система логических неравенств представляет собой сложную комбинаторную задачу, которая в настоящее время не имеет эффективных методов решения. При небольших размерностях (числе показателей) ее можно решить простым перебором.

2. Требования к матрицам свертки для реализации «синергетического» эффекта

Учитывая особенности сформированных шкал пересчета, а именно тот факт, что балльная оценка 1 соответствует сильному отрицательному влиянию индикатора, а оценка 2 – отрицательному влиянию, вполне допустима ситуация, когда комбинации двух индикаторов с отрицательным влиянием, то есть с оценкой 2, может в результате привести к сильному отрицательному влиянию. Другими словами, может наблюдаться «синергетический» эффект со знаком минус. Для иллюстрации этого эффекта необходимо формировать соответствующие матрицы свертки. Так как отрицательный «синергетический» эффект проявляется только при отрицательном и сильно отрицательном влиянии индикаторов, то свертки оценок двух этих индикаторов целесообразно использовать матрицу, которая имеет вид, как показано на рис. 7.

$$M_7 = \begin{matrix} \begin{matrix} 1 & 1 & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ 1 & 1 & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{44} & a_{55} \end{matrix} \end{matrix}$$

Рис. 7. Матрица свертки с отрицательным «синергетическим» эффектом
Fig. 7. Convolution matrix with negative “synergistic” effect

Структура матрицы M_7 позволяет сформировать шесть матриц, реализующих отрицательный «синергетический» эффект (рис. 8).

$$\begin{matrix} M_{17} = \begin{matrix} 1 & 1 & 3 & 4 & 5 \\ 1 & 1 & 3 & 4 & 5 \\ 3 & 3 & 3 & 4 & 5 \\ 4 & 4 & 4 & 4 & 5 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 5 \end{matrix} & M_{27} = \begin{matrix} 1 & 1 & 2 & 3 & 3 \\ 1 & 1 & 3 & 3 & 4 \\ 2 & 3 & 3 & 4 & 4 \\ 3 & 3 & 4 & 4 & 5 \\ 3 & 4 & 4 & 5 & 5 \end{matrix} & M_{37} = \begin{matrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{matrix} \\ M_{47} = \begin{matrix} 1 & 1 & 2 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 2 & 3 & 3 \\ 2 & 2 & 3 & 3 & 4 \\ 2 & 3 & 3 & 4 & 4 \\ 3 & 3 & 4 & 4 & 5 \end{matrix} & M_{57} = \begin{matrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 4 & 4 & 4 & 4 & 4 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 5 \end{matrix} & M_{67} = \begin{matrix} 1 & 1 & 2 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 2 & 3 & 3 \\ 2 & 3 & 3 & 3 & 4 \\ 2 & 3 & 3 & 4 & 4 \\ 3 & 3 & 4 & 4 & 5 \end{matrix} \end{matrix}$$

Рис. 8. Матрицы свертки для пятибалльной шкалы с отрицательным «синергетическим» эффектом
Fig. 8. Convolution matrices for five-point scale with negative “synergistic” effect

Аналогично, с учетом особенностей шкал пересчета, в которых балльная оценка 5 соответствует сильному положительному влиянию индикатора, а оценка 4 – положительному влиянию, возможна ситуация, когда комбинации двух индикаторов с положительным влиянием, то есть с оценкой 4, может в результате привести к сильному положительному влиянию. Другими словами, может наблюдаться классический «синергетический» эффект. Особенности этого эффекта можно показать путем применения матрицы, которая имеет вид, как показано на рис. 9.

Структура матрицы M_8 позволяет сформировать шесть матриц, реализующих положительный «синергетический» эффект (рис. 10).

На рис. 8 изображены матрицы с отрицательным «синергетическим» эффектом, а на рис. 10 – матрицы с классическим «синергетическим» эффектом. Очевидно, что возможны комбинации этих матриц, то есть в одной матрице может присутствовать и положительный, и отрицательный «синергетические» эффекты.

$$M_8 = \begin{matrix} \begin{matrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & 5 & 5 \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & 5 & 5 \end{matrix} \end{matrix}$$

Рис. 9. Матрица свертки с классическим «синергетическим» эффектом
Fig. 9. Convolution matrix with classical “synergistic” effect

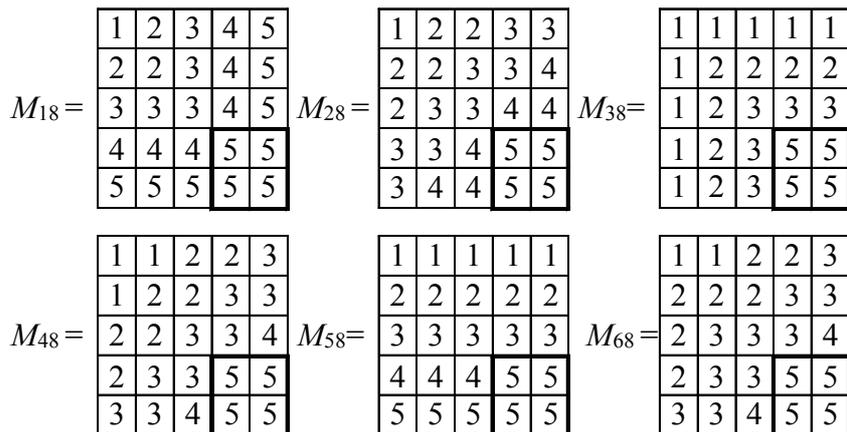


Рис. 10. Матрицы свертки для пятибалльной шкалы с классическим «синергетическим» эффектом
 Fig. 10. Convolution matrices for a five-point scale with a classic “synergetic” effect

Общий вид таких матриц показан на рис. 11.

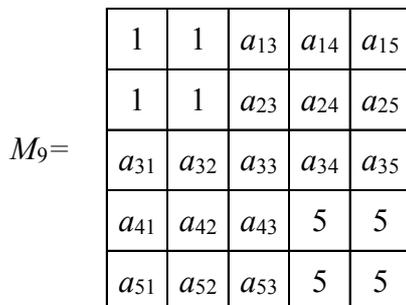


Рис. 11. Матрица свертки с положительным и отрицательным «синергетическим» эффектом
 Fig. 11. Convolution matrix with positive and negative “synergetic” effect

Структура матрицы M_9 позволяет дополнительно сформировать еще шесть матриц, которые показаны на рис. 12.

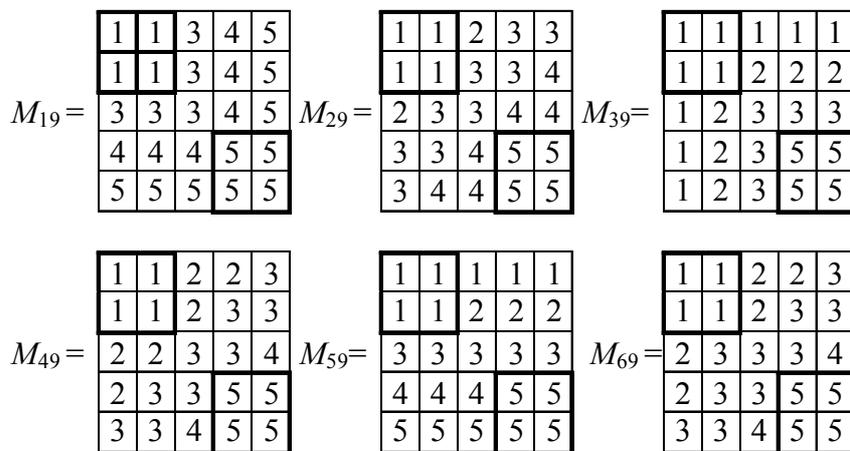


Рис. 12. Матрицы свертки для пятибалльной шкалы с положительным и отрицательным «синергетическими» эффектами
 Fig. 12. Convolution matrices for five-point scale with positive and negative “synergetic” effects

3. Алгоритм проверки реализуемости идентификации комплексной оценки с единой шкалой

Суть предлагаемого алгоритма состоит в последовательном разбиении множества критериев на два подмножества с проверкой, можно ли при таком разбиении в рамках заданного «алфавита» описать все элементы обучающего набора монотонной матрицей свертки. Ключевой конструкцией в алгоритме является процедура разбиения множества Q на непересекающиеся множества с двухмерной адресацией на основе подмножества критериев $S \subset M$, синтезируя $W_{M,S}(\cdot)$. Кроме того, процедура позволяет определить «минимальный алфавит», описывающий элементы множества Q на основе интегральных оценок по подмножествам критериев S и $M \setminus S$. Если для некоторого $S \subset M$ $\#K_S \leq \#K_M$ и $\#K_{M \setminus S} \leq \#K_M$, то показывается, что данное разбиение допустимо для решения задачи идентификации комплексной оценки с единой шкалой и $\{S, M \setminus S\} \subseteq G_M$, $W_{M,S}(\cdot) \in WG_M(\cdot)$. Далее процедура добавляется итеративно для всех подмножеств критериев, добавляемых в G_M до тех пор, пока не дойдет до листьев дерева – $S \in G_M$: $\#S = 1$. На каждой итерации для конкретной $S \in G_M$: $\#S > 1$ с помощью алгоритма проверяется, существует ли такое $L \subset S$, что по результатам процедуры $\#K_L \leq \#K_M$ и $\#K_{S \setminus L} \leq \#K_M$ и синтезируется соответствующее $W(\cdot)_{S,L}$. Если ответ положительный, то показывается, что данное разбиение допустимо для решения задачи идентификации комплексной оценки с единой шкалой и $G_M = G_M \cup \{L, S \setminus L\}$, и $WG_M(\cdot) = WG_M(\cdot) \cup W_{S,L}(\cdot)$.

Заключение

Разработанный метод формирования систем КО на основе экспертных вариантов является достаточно эффективным средством формирования матриц свертки для последовательных структур. Представляет интерес обобщение этого подхода на произвольные структуры дихотомического дерева. Однако здесь возникает ряд проблем. Дело в том, что если в последовательных структурах столбцы матриц свертки упорядочены по возрастанию оценок, то в других структурах это не всегда так. Эта проблема требует дальнейших исследований. Кроме того, возникает проблема, связанная с оценкой минимального числа экспертных вариантов, достаточных для построения полной шкалы обобщенных оценок подвариантов.

Для наглядного представления «синергетического» эффекта дается обоснование требований к шкалам оценивания и структуре дерева свертки (условия, которым должны удовлетворять агрегируемые критерии, находящиеся в соседних узлах дерева). Требования к шкалам оценивания тесно связаны с требованиями к размерности и виду матриц свертки, находящихся в узлах дерева.

Разработан алгоритм синтеза механизма комплексного оценивания на основе обучающего набора данных, решающий задачу идентификации КО с единой шкалой. Рассматривается применимость алгоритма для решения задач аппроксимации обучающего набора КО с единой шкалой и задач идентификации КО с монотонными матричными свертками в случае, если задача идентификации КО с единой шкалой решения не имеет.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 18-07-01258.

Литература

1. Механизмы управления: учеб. пособие / под ред. Д.А. Новикова. – М.: Ленанд, 2011. – 192 с. – (Умное управление).
2. Модели, методы и механизмы управления научно-техническими программами / В.Н. Бурков, Б.Н. Коробец, В.А. Минаев, А.В. Щепкин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. 202 с.
3. Управление промышленными предприятиями: стратегии, механизмы, системы: моногр. / О.В. Логиновский, А.А. Максимов, В.Н. Бурков и др.; под ред. О.В. Логиновского, А.А. Максимова. – М.: Инфра-М, 2018. – 410 с. – (Научная мысль).
4. Бурков, В.Н. Проблемы синтеза механизма комплексного оценивания на основе обучающего набора данных / В.Н. Бурков, Н.А. Коргин, О.Л. Марин // Труды 13-го Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ XIII, Москва, 2019). – М.: ИПУ РАН, 2019. – С. 2280–2284.
5. Кондратьев, В.Д. Проектное управление при реализации стратегии безопасности дорожного движения / В.Д. Кондратьев, А.В. Щепкин // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2019. – Вып. 4 (59). – С. 112–119.

6. Бурков, В.Н. *Как управлять проектами* / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. – М.: Синтез, 1997. – 188 с.

7. Казакова, Е.А. *Автоматизированное построение матричных процедур комплексного оценивания на основе оптимизационного подхода* / Е.А. Казакова, П.Н. Курочка // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. – 2010. – Т. 6. – С. 145–149.

8. Rokach, L. *Top-down induction of decision trees classifiers – a survey* / L. Rokach, O. Maimon // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part C (Applications and Reviews)*. – 2005. – Vol. 35, iss. 4. – P. 476–487. DOI: 10.1109/TSMCC.2004.843247

Бурков Владимир Николаевич, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва; vlab17@bk.ru.

Буркова Ирина Владимировна, д-р техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва; irbur27@mail.ru.

Коргин Николай Андреевич, д-р техн. наук, доцент, главный научный сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва; nkorgin@ipu.ru.

Щепкин Александр Васильевич, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва; sch@ipu.ru.

Поступила в редакцию 30 января 2020 г.

DOI: 10.14529/ctcr200201

MODELS FOR COORDINATED INTEGRATED ASSESSMENT IN DECISION-MAKING PROBLEMS

V.N. Burkov, vlab17@bk.ru,

I.V. Burkova, irbur27@gmail.com,

N.A. Korgin, nkorgin@ipu.ru,

A.V. Shchepkin, sch@ipu.ru

*V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation*

Introduction. The construction of a high-quality comprehensive assessment of an object requires a more accurate and comprehensive accounting of both objective information about the object, subjective assessments, individual experience, intuition and knowledge of the head of the object.

Aim. The aim of the work is to develop a modern approach to solving the problems of multi-criteria assessment and ranking based on the formation of a coherent structure of an integrated assessment. To do this, a choice is made of the structure of the complex assessment system (a dichotomous tree, the hanging vertices of which correspond to the estimated directions and the root vertex corresponds to the complex assessment) and the matrix convolutions in each (non-hanging) tree vertex are selected. In addition, requirements are developed for grading scales, a convolution tree, and convolution matrices, which allow one to clearly demonstrate the synergistic effect and give a description of the class of generalized median schemes implemented on the convex representation of binary trees.

Materials and methods. The solution to these problems is based on the method of synthesis and generalization of existing approaches to building a comprehensive assessment and simulation when choosing the structure of a complex assessment system. At the same time, convolution matrices are

determined as training options set by experts, such that for any training option, the score obtained by the system of assessment coincides with the expert score. **Results.** The conditions for the existence of a matrix in the form of inequalities for generalized estimates of training sub-options are obtained. These inequalities are associated with a graph whose vertices denote sub-options, and arcs reflect inequalities connecting generalized estimates. It is shown that if the graph has no contours, then the convolution matrix exists. An algorithm is proposed for determining generalized estimates of sub variants based on the obtained graph and the subsequent determination of the corresponding matrix. The substantiation of the requirements for assessment scales and the structure of the convolution tree is given. The requirements are obtained for the dimension and type of convolution matrices located in the nodes of the tree. The possibility of implementing a set of training data using some kind of integrated assessment mechanism is determined. **Conclusion.** The results obtained make it possible to formulate integrated assessment systems that provide flexibility of tuning to the preferences of decision makers, ease of calculation, and the ability to solve optimization problems of program formation on this basis.

Keywords: integrated assessment, expert options, dichotomous tree, matrix convolutions, graph, synergistic effect, identification.

References

1. Novikov D.A. (Ed.). *Mekhanizmy upravleniya: uchebnoe posobie* [Governance Tools: Tutorial]. Moscow, Lenand Publ., 2011, 192 p.
2. Burkov V.N., Korobets B.N., Minayev V.A., Shchepkin A.V. *Modeli, metody i mekhanizmy upravleniya nauchno-tekhnicheskimi programmami* [Models, Methods and Mechanisms for the Management of Science and Technology Programmes]. Moscow, MSTU Publ., 2017, 202 p.
3. Loginovsky O.V., Maksimov A.A., Burkov V.N. et al. *Upravlenie promyshlennymi predpriyatiyami: strategii, mekhanizmy, sistemy: monografiya* [Management of Industrial Enterprises: Strategies, Mechanisms, Systems: Monograph]. Moscow, Infra-M Publ., 2018, 410 p.
4. Burkov V.N., Korgin N.A., Marin O.L. [Synthesis Problems of the Integrated Assessment Mechanism Based on a Training Data Set]. *Proc. of the 13th All-Russian Meeting on Management Issues (VSPU XIII, Moscow, 2019)*, Moscow, IPU RAS Publ., 2019, pp. 2280–2284. (in Russ.)
5. Kondratiev V.D., Schepkin A.V. [Project Management in the Implementation of the Road Safety Strategy]. *Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)*, 2019, iss. 4 (59), pp. 112–119. (in Russ.)
6. Burkov V.N., Novikov D.A. *Kak upravlyat' proektami* [How to Manage Projects]. Moscow, Sinteg Publ., 1997, 188 p.
7. Kazakova E.A., Kurochka P.N. [Automated Construction of Matrix Procedures for Integrated Assessment Based on the Optimization Approach]. *Bulletin of the Voronezh State Technical University*, 2010, vol. 6, pp. 145–149. (in Russ.)
8. Rokach L., Maimon O. Top-down induction of decision trees classifiers – a survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part C (Applications and Reviews)*, 2005, vol. 35, iss. 4, pp. 476–487. DOI: 10.1109/TSMCC.2004.843247

Received 30 January 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Модели согласованного комплексного оценивания в задачах принятия решений / В.Н. Бурков, И.В. Буркова, Н.А. Коргин, А.В. Щепкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 5–13. DOI: 10.14529/ctcr200201

FOR CITATION

Burkov V.N., Burkova I.V., Korgin N.A., Shchepkin A.V. Models for Coordinated Integrated Assessment in Decision-Making Problems. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2020, vol. 20, no. 2, pp. 5–13. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr200201