НЕЧЕТКИЕ СЕТЕВЫЕ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ОЦЕНИВАНИЯ

Д.А. Новиков, А.Л. Суханов
(*Институт проблем управления РАН, Москва*)
novikov@ipu.ru

Введение

На практике распространена задача оценивания сложных систем, процессов и явлений, описываемых многими показателями. Для принятия управленческих решений желательно иметь агрегированную картину, которая, с одной стороны, включала бы минимальное количество показателей, а, с другой стороны, позволяла бы выявлять существенные с точки зрения управляющего органа различия состояний управляемой системы. Процедура перехода от исходного набора *частных показателей* (оценок по частным критериям) к *агрегированным показателям* (оценкам по агрегированным критериям) называется *процедурой комплексного оценивания*. Совокупность исходных и конечных показателей, совместно с процедурой агрегирования, называется *системой комплексного оценивания* [6].

Задача построения системы комплексного оценивания с математической точки зрения практически совпадает с многокритериальной задачей принятия решений. Поэтому одним из направлений исследований является характеризация процедур комплексного оценивания, удовлетворяющих тем или иным системам требований (аксиом) [15, 17].

С практической точки зрения важным является не только поиск процедуры агрегирования, но и предъявление такого алгоритма ее построения и использования, который основывался бы на информации, получаемой от экспертов – специалистов в различных предметных областях. Поэтому процедуры комплексного оценивания обычно строят последовательно, декомпозируя получение агрегированного показателя на несколько процедур, то есть сначала "сворачивают" частные показатели, затем сворачивают уже полученные показатели и т.д. Во многих случаях логика свертки диктуется деревом целей – структурой декомпозиции целей и задач описываемой системы [8].

Имея систему комплексного оценивания, можно ставить и решать задачи управления [7]. Если заданы процедура агрегирования частных показателей и затраты на их изменение, то можно искать оптимальные (с точки зрения затрат, рисков и т.д.) комбинации частных показателей, приводящие к требуемому значению агрегированного показателя.

Наибольшее распространение в последние годы получили *матричные процедуры комплексного оценивания*, в которых существует набор частных показателей, измеряемых в дискретной шкале, которые сворачиваются попарно (*дихотомическая – бинарная – процедура*), а агрегированные значения определяются так называемыми *матрицами свертки*. При этом возникают как теоретические задачи нахождения функций свертки, представимых в виде дихотомического дерева [9, 10], перестроения деревьев свертки [2], так и задачи построения матричных систем комплексного оценивания в различных прикладных областях: управления развитием приоритетных направлений науки и техники [12], управления проектами [8], управления безопасностью [4, 11], регионального управления [1, 2], управления научными [18], производственными [6, 7] и образовательными [13, 14] системами и т.д.

Настоящая работа посвящена рассмотрению нечетких сетевых систем комплексного оценивания, которые обобщают матричные сверки, с одной стороны, на случай сети (бинарное дерево является частным случаем сети [5]), а с другой стороны – на случай нечетких [3] оценок (как частных, так и агрегированных). Для этого сначала дается общая постановка задачи комплексного оценивания, а затем описываются нечеткие матричные и сетевые системы комплексного оценивания.

1. Общая постановка задачи комплексного оценивания

Обозначим: $N = \{1, 2, ..., n\}$ – множество частных критериев, оценки $x_i \in X_i$ по которым принимают значения из множеств X_i, $i \in N$; $x_0 \in X_0$ – *комплексная* (*агрегированная*) *оценка*, которая вычисляется в соответствии с процедурой агрегирования $F(\cdot)$: $X' \to X_0$, то есть $x_0 = F(x)$, где $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n) \in X' = \prod_{i \in N} X_i$.

Различают *непрерывные* (когда X_i – область в некотором конечномерном евклидовом пространстве) и *дискретные* (когда множества X_i конечны) процедуры комплексного оценивания. Также можно отдельно выделить *унифицированные процедуры*, в которых все множества X_i одинаковы (например, отрезок [0; 1] или дискретная шкала с одним и тем же числом значений).

Предположим, что заданы: функция затрат $c(x^1, x^2)$: $(X')^2 \to \Re^1$ на изменение вектора частных показателей с $x^1 \in X'$ до $x^2 \in X'$; начальное состояние $x^0 \in X'$; F_0 – требуемое значение комплексной оценки; R – ограничение на ресурсы. Будем считать, что $X_i \subseteq \Re^1$, $i \in \{0\} \cup N$, то есть все оценки – скалярные.

Прямая задача комплексного оценивания заключается в вычислении при известном векторе частных показателей $x^0 \in X'$ значения комплексной оценки $F^0 = F(x^0)$. При известном отображении $F(\cdot)$ данная задача тривиальна.

Обратная задача комплексного оценивания заключается в нахождении такого множества $X(F_0) \subseteq X'$ значений векторов частных показателей, которые приводят к заданной комплексной оценке F_0, то есть

$$X(F_0) = \{x \in X' \mid F(x) = F_0\}.$$

Задача распределения ресурса

(1) $F(x) \to \max\limits_{\{x \in X' \mid c(x^0, x) \leq R\}}$

заключается в поиске такого вектора частных показателей, который приводил бы к максимальной комплексной оценке при условии ограниченности затрат (затраты на переход не должны превышать имеющегося ресурса R).

Обратная задача распределения ресурса

(2) $c(x^0, x) \to \min\limits_{\{x \in X' \mid F(x) = F_0\}}$

заключается в нахождении такого вектора значений частных показателей, переход к которому из текущего состояния обеспечивал бы достижение заданного значения F_0 комплексной оценки.

Задачи, аналогичные (1) и (2) можно ставить и решать и с учетом неопределенности – например, риска недостижения соответствующих значений частных показателей. Возможен также учет глобальных ограничений $X_{\text{гл}}$ на значения частных показателей: $x \in X' \cap X_{\text{гл}}$.

Отметим, что задача (2) может формулироваться и для более сложных случаев – когда требуется определить оптимальную (с точки зрения затрат) траекторию в пространстве частных критериев, приводящую к концу планового периода к требуемой или максимально возможной величине комплексной оценке (в динамике можно также минимизировать время достижения требуемого значения комплексной оценки и т.д.).

Если ввести на множестве X' значений частных критериев функционал $G(x^1, x^2)$, отражающий "расстояние" между векторами значений частных критериев, то в случае монотонно неубывающего по всем переменным отображения $F(\cdot)$ можно определять *резерв*

(3) $\delta(x_0) = x_0 - \min\limits_{x \in X(F(x_0))} G(x_0, x)$.

Понятие резерва позволяет ввести определение *напряженного варианта* [8], как такого (условно говоря "Парето-оптимального по расстоянию $G(\cdot)$") вектора значений частных критериев, что ни одна из оценок ни по одному из этих критериев не может быть уменьшена без уменьшения комплексной оценки. Делается это следующим образом: если резервы (3) "независимы", то учет взаимной зависимости значений частных критериев, приводящих к одному и тому же значению комплексной оценки F_0, приводит к следующему определению множества напряженных вариантов:

$$\Delta(x_0) = \{x \in X' \mid F(x) = F_0 \text{ и } \forall x' \neq x\ F(x') < F_0\}.$$

Все сформулированные в настоящем разделе определения и поставленные задачи являются достаточно общими, хотя и сводятся к известным задачам математического программирования или дискретной оптимизации. Для их использования на практике необходимо, как минимум, расшифровать "что скрывается внутри" процедуры агрегирования $F(\cdot)$, как ее строить и как ею пользоваться в каждом конкретном случае. Поэтому перейдем к рассмотрению матричных систем комплексного оценивания.

2. Нечеткие матричные системы комплексного оценивания

Начнем с описания четких матричных (дискретных дихотомических древовидных) систем комплексного оценивания, следуя примеру, приведенному в [3]. Предположим, что требуется оценить уровень социально-экономического развития некоторого региона (критерий X_0 – см. рисунок 1), который определяется уровнем экономического развития (критерий $X1$) и уровнем социального развития (критерий $X2$). Уровень экономического развития в свою очередь определяется уровнем инвестиций (критерий $X11$) и средней заработной платой (критерий $X12$), а уровень социального развития – уровнем цен (критерий $X21$) и экологической обстановкой (критерий $X22$). В данном случае частными критериями являются $X11$, $X12$, $X21$ и $X22$, агрегированным критерием является X_0, а критерии $X1$ и $X2$ являются промежуточными.

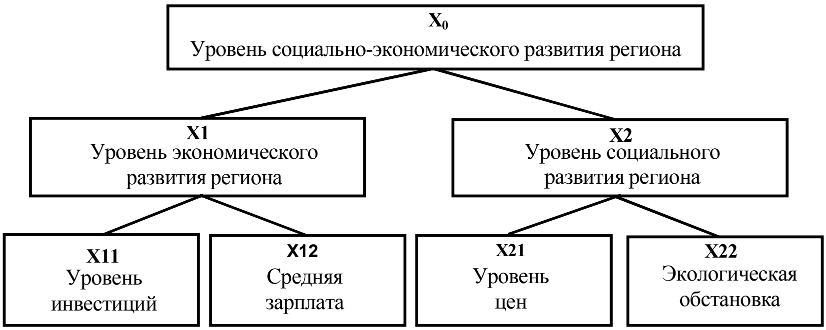

Рис. 1. Дерево критериев

Пусть оценки по каждому критерию могут принимать конечное число значений (для простоты будем использовать четырехбальную шкалу: 1 – «плохо», 2 – «удовлетворительно», 3 – «хорошо» и 4 – «отлично»). Требуется (прямая задача), имея оценки по критериям $X11$, $X12$, $X21$, $X22$ нижнего уровня, получить оценку агрегированную оценку по критерию X_0. В случае бинарного (дихотомического) дерева для свертки оценок, полученных в дискретной шкале, используют логические матрицы (матрицы свертки), значения элементов которых определяют агрегированную оценку при условии, что оценки по агрегируемым критериям являются номерами соответствующих строк и столбцов.

Если использовать в рассматриваемом примере матрицы свертки, приведенные на рисунке 2, то, например, при $x_{11} = 4$, $x_{12} = 3$, $x_{21} = 2$, $x_{22} = 3$ получим, что $x_1 = 4$, $x_2 = 2$, а $x_0 = 3$ (см. таблицу 1).

x_2 x_0

1	1	2	2	3
2	1	2	3	3
3	2	2	3	4
4	2	3	3	4
	1	**2**	**3**	**4**

x_1

x_{12} x_1

1	1	1	2	2
2	1	2	3	3
3	2	3	3	4
4	2	3	4	4
	1	**2**	**3**	**4**

x_{11}

x_{22} x_2

1	1	1	3	3
2	1	2	3	3
3	1	2	3	4
4	2	2	3	4
	1	**2**	**3**	**4**

x_{21}

Рис. 2. Матрицы свертки

Таблица 1

Агрегирование четких оценок

Критерии	***Четкие значения***
X_0	3
X1	4
X2	2
X11	4
X12	3
X21	2
X22	3

Напряженными вариантами, приводящими, например, к агрегированной оценке $x_0 = 4$, будут следующие 8 вариантов:

$$x_{11} = 3, x_{12} = 4, x_{21} = 3 \text{ и } x_{11} = 3, x_{12} = 4, x_{21} = 3$$

при любых значениях x_{22}.

Обобщением описанной выше четкой матричной системы комплексного оценивания является нечеткая матричная система комплексного оценивания, в которой оценки по каждому из критериев являются в общем случае нечеткими, и агрегируются в соответствии с четкими матрицами свертки[1]. Нечетким оценкам могут соответствовать вектора степеней уверенности экспертов в достижении четких оценок. Получаемая в результате агрегирования оценка также является нечеткой и несет в себе больше информации, чем четкие оценки.

Пусть $\tilde{x}_1$ – нечеткая оценка по первому критерию, задаваемая функцией принадлежности $\mu_{\tilde{x}_1}(x_1)$ на универсальном множестве, определяемом соответствующей шкалой (в рассматриваемом примере это множество – $\{1, 2, 3, 4\}$), $\tilde{x}_2$ – нечеткая оценка по второму критерию, задаваемая функцией принадлежности $\mu_{\tilde{x}_2}(x_2)$.

В соответствии с принципом обобщения [16] полученная в результате агрегирования по процедуре $F(\cdot)$, задаваемой матрицей свертки, нечеткая оценка $\tilde{x}_0$ будет определяться функцией принадлежности[2]

(4) $м_{\tilde{x}_0}(x_0) = \sup\limits_{\{(x_1, x_2) \mid F(x_1, x_2) = x_0\}} \min \{ \mu_{\tilde{x}_1}(x_1),\ \mu_{\tilde{x}_2}(x_2) \}, x_0 = \overline{1,4}$.

В предельном случае, то есть когда агрегируются четкие оценки, естественно, агрегированная оценка является четкой и совпадает с получающейся в результате использования четкой процедуры комплексного оценивания.

Пусть для рассматриваемого примера нечеткие оценки по критериям нижнего уровня принимают значения, приведенные в таблице 2, и сворачиваются в соответствии с деревом, приведенным на рисунке 1. Используя матрицы свертки, приведенные на рисунке 2, и выражение (4), получаем нечеткие оценки по агрегированным критериям (см. таблицу 2).

---

[1] *Под нечеткими процедурами комплексного оценивания будем понимать четкие процедуры (отображения) нечеткой информации в нечеткую информацию. Все полученные результаты могут быть легко обобщены на случай, когда процедура агрегирования является нечеткой. Однако содержательные интерпретации и практическое использование подобных моделей представляется затруднительным в силу высокой их сложности.*

[2] *Супремум по пустому множеству в выражении (4) (и аналогичных ему) будем считать равным нулю.*

Таблица 2

Агрегирование нечетких оценок

Критерии	***Нечеткие значения***			
	1	*2*	*3*	*4*
X_0	0,00	0,20	0,70	0,30
X1	0,00	0,10	0,40	0,70
X2	0,20	0,90	0,30	0,10
X11	0,00	0,20	0,40	0,70
X12	0,00	0,10	1,00	0,40
X21	0,20	0,90	0,30	0,10
X22	0,00	0,30	0,95	0,40

Нечеткие оценки по критериям X_0, *X1* и *X2* для рассматриваемого примера приведены на рисунке 3.

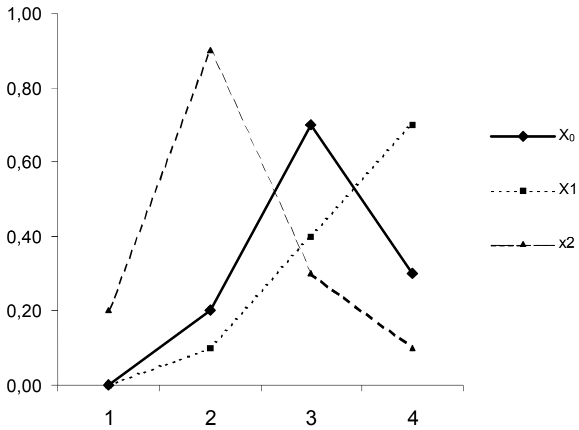

Рис. 3. Нечеткие оценки по критериям X_0, X1 и X2

По аналогии с напряженными вариантами в системах четкого комплексного оценивания [8], можно рассматривать *нечеткие напряженные варианты*. Пусть задан нечеткий вектор оценок агрегированного критерия (в рассматриваемом примере – это вектор $\widetilde{x}_0 = (0; 0{,}2; 0{,}7; 0{,}3))$. Напряженными назовем минимальные вектора агрегируемых оценок, приводящие к заданному нечеткому вектору агрегированных оценок. Легко убедиться, что в рассматриваемом примере – это вектора $\tilde{x}_1$ = (0; 0; 0,2; 0,7) и $\tilde{x}_2$ = (0,2; 0,7; 0,3; 0). Напряженному варианту будет соответствовать следующий набор значений оценок нижнего уровня: $\tilde{x}_{11}$ = (0; 0; 0,2; 0,7), $\tilde{x}_{12}$ = (0; 0; 0,7; 0), $\tilde{x}_{21}$ = (0,2; 0,7; 0,3; 0), $\tilde{x}_{22}$ = (0; 0; 0,7; 0). Разности между приведенными в таблице 2 значениями оценок и напряженными можно считать резервами по соответствующим критериям, что позволяет ставить и решать задачи оптимизации резервов, затрат и риска. Отметим, что найденные напряденные варианты отличаются от оценки, даваемой формулой (6) – см. ниже, в соответствии с которой в данном примере $\mu^{\min}_{\tilde{x}_i}(x_i) = 0{,}7$, $x_i \in \{1, 2, 3, 4\}$, $i \in \{11, 12, 21, 22\}$.

Завершив рассмотрение примера, обобщим полученные результаты. В случае, когда нечеткие оценки $\{\tilde{x}_i\}_{i \in N}$ агрегируются в соответствии с четкой процедурой $F(\cdot)$ значение функции принадлежности для агрегированной оценки $\tilde{x}_0$ вычисляется по следующей формуле:

$$(5)\quad \mu_{\tilde{x}_0}(x_0) = \sup_{\{x \in X' \mid F(x) = x_0\}} \min_{i \in N} \{\mu_{\tilde{x}_i}(x_i)\},\ x_0 \in X_0.$$

Можно решить и обратную задачу: пусть задана требуемая функция принадлежности $\mu_{\tilde{x}_0}(x_0)$ итоговой агрегированной нечеткой оценки $\tilde{x}_0$. Тогда равномерная оценка сверху[1] "минимальных" ("напряженных") значений функций принадлежности значений частных критериев есть

$$(6)\quad \mu^{\min}_{\tilde{x}_i}(x_i) = \sup_{\{x_0 \in X_0 \mid x_i \in \mathrm{Proj}_i X(x_0)\}} \mu_{\tilde{x}_0}(x_0),\ x_i \in X_i,\ i \in N.$$

где $\mu_{\tilde{x}_0}(x_0)$ определяется (5).

Пример расчетов нечетких напряженных вариантов по формуле (6) приведен выше. Имея значения минимальных функций принадлежности (6), приводящих к заданному нечеткому агреги-

[1] *Оценка (6) является достаточно грубой и дает значения функции принадлежности, равные либо одному из значений функции принадлежности комплексной оценки, либо ноль.*

рованному результату, можно при известном функционале затрат, определенном на множестве пар ("начальных" и "конечных") функций принадлежности, искать наиболее дешевый вариант достижения заданного нечеткого агрегированного результата из начального состояния, описываемого также нечетких вектором оценок по частным критериям.

Нечетким резервом назовем следующую нечеткую величину:

(7) $\delta_{\tilde{x}_i}(x_i) = \mu_{\tilde{x}_i}(x_i) - \mu_{\tilde{x}_i}^{\min}(x_i)$, $x_i \in X_i$, $i \in N$.

Если функции затрат монотонны по оценкам и значениям функции принадлежности, а процедура агрегирования не убывает по каждой из агрегируемых оценок, то более дешевыми будут комбинации оценок частных критериев, которые имеют минимальные нечеткие резервы (7). С другой стороны, нечеткие резервы могут интерпретироваться как "запас устойчивости" состояния системы относительно внешних возмущений или ошибок оценивания.

Выражения (4)-(7) дают возможность решения в явном виде прямых и обратных задач комплексного оценивания для двух "предельных" случаев – произвольной функции агрегирования и свертки двух дискретных показателей. Все остальные – "промежуточные" – случаи рассматриваются аналогично.

3. Нечеткие сетевые системы комплексного оценивания

Обобщим полученные в предыдущем разделе результаты на случай, когда логика агрегирования показателей описывается *сетью* [5], то есть ориентированным графом без циклов, в котором выделено множество вершин, являющихся *входами*, и одна вершина, являющаяся выходом *сети*. Будем считать, что сеть не содержит контуров.

Для этого сначала рассмотрим четкий случай сетевого агрегирования показателей, измеряемых в произвольной (дискретной или непрерывной шкале), а затем перейдем к нечеткому случаю.

Пусть сеть описывается ациклическим графом (E, V), где V – множество вершин, а E – множество дуг между этими вершинами. Предположим, что множество E состоит из множества N входов сети (в которые не ведет ни одна дуга) и множества $K = \{1, 2, ..., k\}$ вершин, в которые входят дуги (для сети без контуров всегда можно построить *правильную нумерацию*: $\forall\, p, q \in V$, $(p, q) \in E$ выполнено $p < q$ [5]). Вершину с номером k в множестве K будем считать выходом сети.

Наложим на сеть следующее ограничение (содержательно означающее, что используется информация по всем частным и промежуточным показателям, кроме окончательной агрегированной оценки, вычисленной в выходе сети – вершине из множества K с номером k):

(8) $\forall\, i \in N \;\; \exists\, l \in K$: $(i, l) \in E$.

$\forall\, j \in K, j \neq k \;\; \exists\, l \in K$: $(j, l) \in E$.

(9) $\forall\, i, l \in N \;\; (i, l) \notin E$.

Последнее ограничение означает, что все вершины из множества N являются входами сети, и ни одна из них не вычисляется как агрегат от какой-либо другой.

Содержательно вершины, принадлежащие множеству K можно считать "промежуточными узлами агрегирования" – на выходе вершины $j \in K$ имеется переменная y_j, значение которой определяется известным отображением $F_j(\cdot)$, $j \in K$.

Для формального определения этого отображения введем следующие обозначения:

$$P_j = \{i \in N \mid (i, j) \in E\}, \;\; Q_j = \{l \in K \mid (l, j) \in E\}, j \in K.$$

Пусть для каждой вершины $j \in K$ задано множество Y_j и число $y_j \in Y_j$, определяемое отображением

(10) F_j: $(\prod_{i \in P_j} X_i) \times (\prod_{l \in Q_j} Y_l) \to Y_j$,

то есть

(11) $y_j = F_j((x_i)_{i \in P_j}, \; (y_l)_{l \in Q_j})$, $j \in K$.

Величина y_k как раз и будет значением комплексной оценки.

Сетевой системой комплексного оценивания назовем следующий кортеж:

- сеть (E, V) с правильной нумерацией, удовлетворяющую условиям (8) и (9);
- совокупность множеств N, K, $(X_i)_{i \in N}$, $(Y_j)_{j \in K}$;
- совокупность отображений $F_j(\cdot)$, $j \in K$, – см. (10).

Прямая задача (определения комплексной оценки по заданным значениям оценок по частным показателям) для сетевой системы решается просто – достаточно последовательно вычислить значения k промежуточных критериев (это возможно в силу правильной нумерации сети).

Обозначим $z = (x, y) \in Z' = X' \times Y'$, где $Y' = \prod_{l \in K} Y_l$.

Обратная задача (определения множества значений оценок по частным показателям, приводящим к заданному значению комплексной оценки) решается несколько более сложным образом с помощью следующего алгоритма:

Шаг 0. Фиксируем $y_k \in Y_k$. Определим множество

$$Z^k(y_k) := \{(x, y') \in Z' \mid y'_k = y_k\}$$

Шаг $m = \overline{1, k}$.

(12) $Z^{k-m}(y_k) = \{(x, y') \in Z^{k-m+1}(y_k) \mid$

$$F_{k-m+1}((x_i)_{i \in P_{k-m}},\ (y'_l)_{l \in Q_{k-m}}) = y_{k-m+1}\}.$$

Алгоритм остановится через k шагов (12), и в результате получится искомое множество

$$X(y_k) = Proj_N Z^0(y_k) \subseteq X'.$$

Задача (1) распределения ресурса для сетевого случая будет иметь такой же вид, что и выше, а обратную задачу распределения ресурса можно сформулировать следующим образом:

(13) $c(x^0, x) \to \min\limits_{x \in X(y_k)}$.

Обобщим полученные результаты на нечеткий случай: для сетевой модели значение функции принадлежности для нечеткой комплексной оценки имеет вид:

(14) $\mu_{\tilde{y}_j}(y_j) =$

$$= \sup_{\{(x,y) \in Z' \mid F_j((x_i)_{i \in P_j}, (y_l)_{l \in Q_j}\}} \min [\min_{i \in P_j} \{\mu_{\tilde{x}_i}(x_i)\}, \min_{l \in Q_j} \{\mu_{\tilde{y}_l}(y_l)\}],$$

где $\mu_{\tilde{x}_i}(x_i)$, $x_i \in X_i$, – функция принадлежности нечеткой частной оценки $\tilde{x}_i$, $i \in N$, а $\tilde{y}_j$ – нечеткая промежуточная или комплексная (при $j = k$) оценка с функцией принадлежности $\mu_{\tilde{y}_j}(y_j)$, $y_j \in Y_j$, $j \in K$.

Обратная задача в рассматриваемой сетевой модели при известной функции принадлежности (14) формулируется по аналогии с (6), а нечеткие резервы – по аналогии с (7).

Приведем пример нечеткой сетевой системы комплексного оценивания.

Пусть $n = 3,\ k = 4,\ X_i = X_0 = \{1, 2, 3\},\ i = \overline{1,3}$, сеть представлена на рисунке 4, а матрицы свертки – на рисунке 5, $y_3 = \max\{y_1, y_2\}$, $x_0 = y_4 = \min\{x_1, y_3\}$.

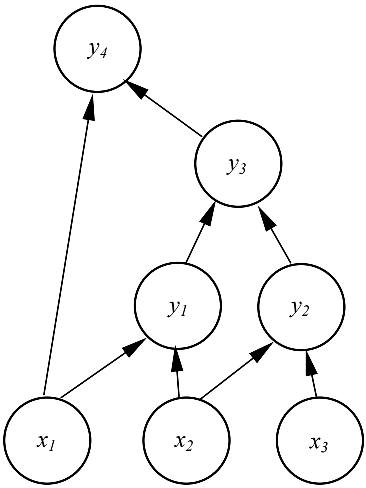

Рис. 4. Пример сети комплексного оценивания

x_2	**3**	*2*	*3*	*3*
	2	*2*	*2*	*2*
	1	*1*	*1*	*2*
		1	**2**	**3**
		x_1		

x_3	**3**	*2*	*2*	*3*
	2	*1*	*2*	*3*
	1	*1*	*2*	*3*
		1	**2**	**3**
		x_2		

Рис. 5. Матрицы сверки

Пусть заданы нечеткие оценки по частным критериям:

$\tilde{x}_1$ = (0,3; 0,8; 0,4), $\tilde{x}_2$ = (0,2; 0,4; 0,9), $\tilde{x}_3$ = (0,1; 0,7; 0,2).

По формуле (14) рассчитываем "промежуточные" нечеткие оценки:

$\tilde{y}_1$ = (0,3; 0,4; 0,8), $\tilde{y}_2$ = (0,2; 0,4; 0,7), $\tilde{y}_4$ = (0,2; 0,4; 0,7)

и, наконец, нечеткую комплексную оценку:

$$\tilde{x}_0 = \tilde{y}_4 = (0{,}3;\ 0{,}7;\ 0{,}4).$$

Применение формулы (6) дает одинаковую оценку сверху для всех значений функций принадлежности всех частных критериев, равную 0,7.

Заключение

Таким образом, в настоящей работе, во-первых, введено понятие сетевой системы комплексного оценивания и, во-вторых, древовидные и сетевые системы комплексного оценивания обобщены на нечеткий случай. Сформулированы и решены прямые и обратные задачи комплексного оценивания, а также задачи определения резервов и минимизации затрат на достижение требуемого значения комплексной оценки.

Проведенный анализ показывает, что процедуры комплексного оценивания являются гибким и эффективным инструментом обработки информации, используемой при поддержке принятия управленческих решений. В то же время, применяемые в них алгоритмы достаточно громоздки, поэтому целесообразным представляется при их компьютерной реализации предусматривать средства визуализации как исходных данных, так и промежуточных и окончательных результатов, с тем, чтобы система была "прозрачна" для пользователей – экспертов и лиц, принимающих решения. С теоретической точки зрения перспективным представляется нахождение аналитических выражений или простых алгоритмов, дающих решение обратной задачи комплексного оценивания в нечетком сетевом случае.

Литература

1 Андронникова Н.Г., Баркалов С.А., Бурков В.Н., Котенко А.М. Модели и методы оптимизации региональных программ развития. М.: ИПУ РАН, 2001. – 60 с.
2 Андронникова Н.Г., Бурков В.Н., Леонтьев С.В. Комплексное оценивание в задачах регионального управления. М.: ИПУ РАН, 2002. – 54 с.
3 Андронникова Н.Г., Леонтьев С.В., Новиков Д.А. Процедуры нечеткого комплексного оценивания / Труды международной научно-практической конференции "Современные сложные системы управления". Липецк: ЛГТУ, 2002. С. 7– 8.
4 Бурков В.Н., Грацианский Е.В., Дзюбко С.И., Щепкин А.В. Модели и методы управления безопасностью. М.: Синтег, 2001.–142 с.
5 Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. Теория графов в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2001. – 124 с.
6 Бурков В.Н., Кондратьев В.В., Цыганов В.В., Черкашин А.М. Теория активных систем и совершенствование хозяйственного механизма. М.: Наука, 1984. – 272 с.
7 Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять организациями. М.: Синтег, 2004. – 400 с.
8 Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять проектами. М.: Синтег, 1997. – 188 с.
9 Буркова И.В. Метод дихотомического программирования в задачах управления проектами. Воронеж: ВГАСУ, 2004. – 100 с.
10 Глотов В.А., Павельев В.В. Векторная стратификация. М.: Наука, 1984. – 132 с.
11 Кондратьев В.Д., Щепкин А.В. Комплексное оценивание в области безопасности дорожного движения. М.: ИПУ РАН, 2002. – 51 с.
12 Кузьмицкий А.А., Новиков Д.А. Организационные механизмы управления развитием приоритетных направлений науки и техники. М.: ИПУ РАН, 1993. – 68 с.
13 Новиков Д.А., Глотова Н.П. Модели и механизмы управления образовательными сетями и комплексами. М.: Институт управления образованием РАО, 2004. – 142 с.

14 Новиков Д.А. Модели и методы управления развитием регио-нальных образовательных систем. М.: ИУО РАО, 2001. – 83 с.
15 Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. М.: Физматлит, 2002. – 176 с.
16 Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука, 1981. – 206 с.
17 Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982. – 344 с.
18 Семенов И.Б., Чижов С.А., Полянский С.В. Комплексное оценивание в задачах управления социально-экономическими системами. М.: ИПУ РАН, 1996. – 54 с.