

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КВАЛИТАТИВНОЙ ОЦЕНКИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ, ОСНОВАННОЙ НА ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЯХ

А. В. Швец

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Поступила в редакцию 14.10.2014 г.

Аннотация. В работе рассматриваются модели и методическое обеспечение автоматизированной системы экспертного оценивания качества сложных объектов – системы, основанной на экспертных знаниях и предназначенной для вербально-числового анализа данных. Приводятся примеры практического применения данной системы в слабоструктурированных задачах экологической диагностики и мониторинга.

Ключевые слова: автоматизированная система экспертного оценивания, частные абсолютные, относительные и интегральные качественные оценки, экологическая диагностика, экологический мониторинг.

Annotation. In work models and methodical providing the automated system of expert estimation of quality of difficult objects – the system founded on expert knowledge and intended for the verbal and numerical analysis of data are considered. Examples of practical use of this system in the ill-structured problems of ecological diagnostics and monitoring are given.

Keywords: the automated system of expert estimation, private absolute, relative and integrated kvalitativny estimates, ecological diagnostics, environmental monitoring.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальной является задача создания автоматизированных систем экспертного оценивания (АСЭО) качества сложных объектов [9], которые относятся к классу информационных систем, основанных на знаниях [3]. Это особый класс интеллектуальных систем, который, в отличие от экспертных систем, ориентирован на систематизацию и организацию деятельности высококвалифицированного специалиста (эксперта) при выработке управленческих решений.

АСЭО предназначена для решения слабоструктурированных задач вербально-числового анализа данных. В этих задачах качественное описание проблемной ситуации доминирует над количественным. К таким задачам относятся задачи диагностики и мони-

торинга состояния сложных (многомерных) объектов и др. Решение их основывается на знаниях эксперта. «Ядром» АСЭО является компьютерная технология построения качественных оценок, к которым относятся абсолютная, относительная и интегральная оценки качества / некачественности сложных объектов [14].

Цель настоящей работы заключается в разработке методического обеспечения АСЭО качества сложных объектов.

ПОСТРОЕНИЕ КВАЛИТАТИВНЫХ ОЦЕНОК СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Пусть имеется множество объектов, качество которых рассматривается как иерархическая структура («дерево» свойств) [1]. Нижний уровень «дерева» свойств содержит определенный набор частных показателей качества (ПК): y_1, \dots, y_m . Обозначим через y_j^i значение j -го ПК для i -го объекта, $i = 1, 2, \dots, N$, $j = 1, 2, \dots, m$.

Основные этапы построения интегральной качественной оценки анализируемых объектов представлены на рис. 1.

Предлагаемая методика основана на использовании следующей экспертной информации: $[a_j, b_j]$ – интервала изменения j -го ПК; y_j^* – порогового (предельно-допустимого) значения j -го ПК для всех анализируемых объектов, отражающего нормативные требования к их качеству; λ_j – весовых коэффициентов оценок, удовлетворяющих условию:

$$\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

Будем считать, что качество по j -му ПК для i -го объекта соответствует нормативным требованиям, если выполняется условие $y_j^i \leq y_j^*$.

Один из ключевых этапов построения интегральной качественной оценки объекта является выбор способа перехода от значений y_j^i и y_j^* к безразмерным величинам: $\mu_j^i = \mu_j^i(y_j^i, a_j, b_j)$ – частным абсолютным

кавалитативным оценкам по j -му ПК для i -го объекта и $\varepsilon_j = \varepsilon_j(y_j^*)$ – нормативному уровню, соответствующему предельно-допустимому значению по j -му ПК для всех объектов. Причем, для каждого ПК такой переход может осуществляться различными оригинальными способами (табл. 1).

Для построения частной относительной оценки некачественности (частной относительной качественной оценки) d_j^i по j -му ПК для i -го объекта используется формула [11]:

$$d_j^i = \frac{\varepsilon_j(1 - \mu_j^i)}{\mu_j^i(1 - \varepsilon_j)}. \quad (2)$$

Вероятностное обоснование данной формулы приведено в работах [6–7].

Для квалиметрического анализа свойств сложных объектов в основном применяются интегральные оценки, которые являются различного рода средневзвешенными величинами: средневзвешенной арифметической (аддитивной) – $d_m = \sum_{j=1}^m \lambda_j d_j$ и средневзвешенной

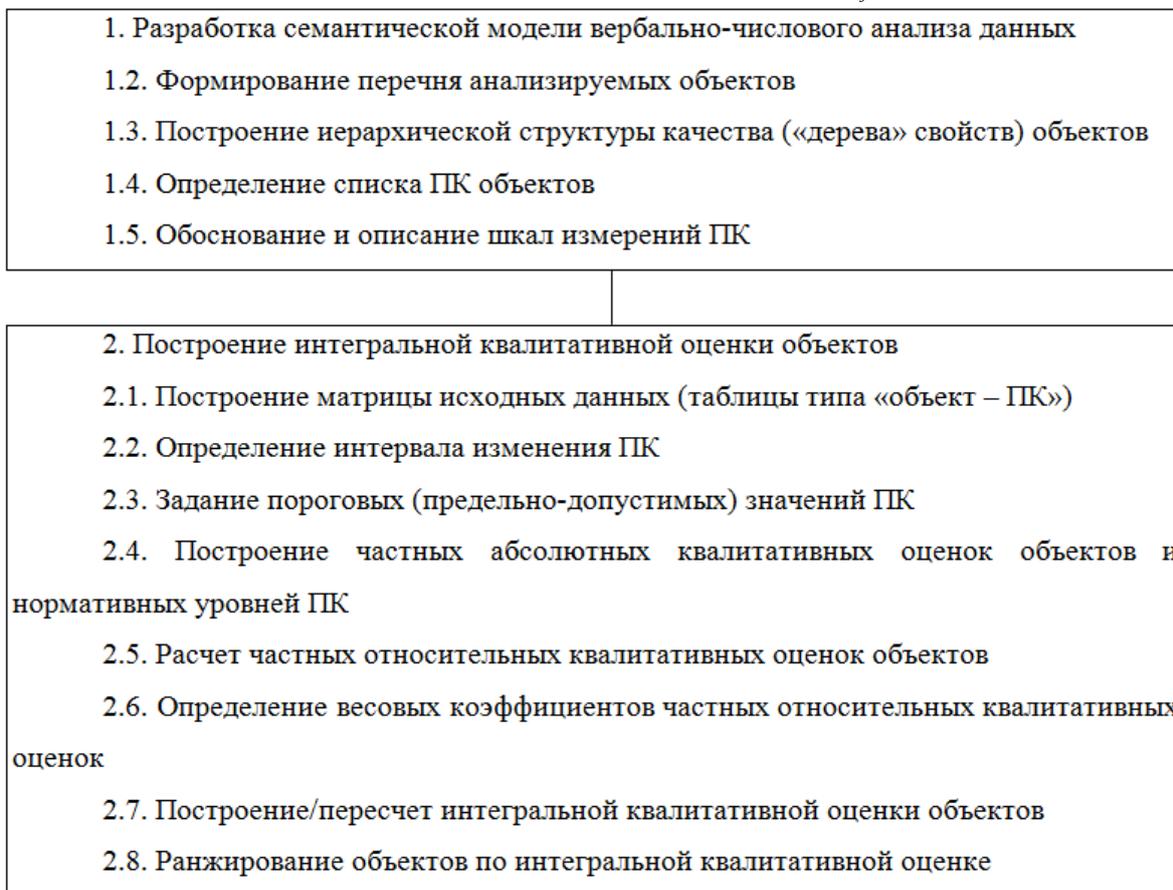


Рис. 1. Основные этапы автоматизированной технологии построения интегральной качественной оценки объектов

Таблица 1

Различные виды частных качественных оценок и их нормативных уровней

№ п/п	Абсолютная оценка	Нормативный уровень	Относительная оценка
1	$\mu_j^i = \frac{a_j}{y_j^i}$	$\varepsilon_j = \frac{a_j}{y_j^*}$	$d_j^i = \frac{\varepsilon_j(1-\mu_j^i)}{\mu_j^i(1-\varepsilon_j)} = \frac{y_j^i - a_j}{y_j^* - a_j}$
2	$\mu_j^i = \frac{y_j^i}{b_j}$	$\varepsilon_j = \frac{y_j^*}{b_j}$	$d_j^i = \frac{\varepsilon_j(1-\mu_j^i)}{\mu_j^i(1-\varepsilon_j)} = \frac{y_j^*(b_j - y_j^i)}{y_j^i(b_j - y_j^*)}$
3	$\mu_j^i = \frac{b_j - y_j^i}{b_j - a_j}$	$\varepsilon_j = \frac{b_j - y_j^*}{b_j - a_j}$	$d_j^i = \frac{\varepsilon_j(1-\mu_j^i)}{\mu_j^i(1-\varepsilon_j)} = \frac{(b_j - y_j^*)(y_j^i - a_j)}{(b_j - y_j^i)(y_j^* - a_j)}$
4	$\mu_j^i = \left[\frac{b_j - y_j^i}{b_j - a_j} \right]^{\beta_j}$	$\varepsilon_j = \left[\frac{b_j - y_j^*}{b_j - a_j} \right]^{\beta_j}$	$d_j^i = \frac{\varepsilon_j(1-\mu_j^i)}{\mu_j^i(1-\varepsilon_j)}$
5	$\mu_j^i = [\exp(-\alpha(y_j^i - a_j)) - \exp(-\alpha(b_j - a_j))] / [1 - \exp(-\alpha(b_j - a_j))]$	$\varepsilon_j = [\exp(-\alpha(y_j^* - a_j)) - \exp(-\alpha(b_j - a_j))] / [1 - \exp(-\alpha(b_j - a_j))]$	$d_j^i = \frac{\varepsilon_j(1-\mu_j^i)}{\mu_j^i(1-\varepsilon_j)}$
6	$\mu_j^i = 1 / (1 + \alpha_j \exp(-\beta_j y_j^i))$	$\varepsilon_j = 1 / (1 + \alpha_j)$	$d_j^i = \frac{\varepsilon_j(1-\mu_j^i)}{\mu_j^i(1-\varepsilon_j)} = \exp(-\beta_j y_j^i)$
7	$\mu_j^i = \exp(-\exp(-z_j^i)),$ $z_j^i = \alpha_j y_j^i + \beta_j$	$\varepsilon_j = \exp(-\exp(-z_j^*)),$ $z_j^i = \alpha_j y_j^* + \beta_j$	$d_j^i = \frac{\varepsilon_j(1-\mu_j^i)}{\mu_j^i(1-\varepsilon_j)}$

геометрической (мультипликативной) – $d_g = \prod_{j=1}^m d_j^{\lambda_j}$. Здесь через d_j обозначена j -я частная относительная качественная оценка объекта по j -му частному ПК.

В работе [11] введена интегральная оценка качества / некачественности объекта типа «трудность достижения цели»:

$$d = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - d_j)^{\lambda_j}. \quad (3)$$

Эта оценка также имеет вероятностную интерпретацию [6-7], является средней величиной по Коши [4], средневзвешенной квази-геометрической величиной в смысле ассоциативного среднего по А.Н. Колмогорову [5] и удовлетворяет существенному принципу «ограниченной компенсации», т.е. условию невозможности улучшения значений некоторых частных ПК, за счет компенсации сколь

угодно большого снижения качества по другим частным показателям. Данную оценку будем интерпретировать как интегральную качественную оценку сложных объектов, которая позволяет проводить вербально-числовой анализ данных в универсальной шкале Харрингтона (табл. 2).

Таблица 2

Степень некачественности сложного объекта в вербально-числовой шкале Харрингтона [15]

Ранг	Содержательное описание градаций	Численное значение
1	очень высокая	(0,8, 1)
2	высокая	(0,63, 0,8]
3	средняя	(0,37, 0,63]
4	низкая	(0,2, 0,37]
5	очень низкая	(0, 0,2]

Эта шкала позволяет автоматизировать процедуру содержательной интерпретации полученных результатов. Отметим, что точка $d_e = 1 - 1/e \approx 0.63$ соответствует «единице» в алгебре оценок d_j [1, 4] и является точкой перехода объекта в «некачественное» (критическое) состояние.

**МЕТОДИКА «КОРРЕКТИРОВКИ»
КВАЛИТАТИВНЫХ ОЦЕНОК ПРИ
ПОЛУЧЕНИИ НОВОЙ ИНФОРМАЦИИ
ОБ ОБЪЕКТАХ**

Пусть к первоначальному списку N объектов добавлены L «новых» объектов с тем же набором ПК, которым соответствуют значения $y_j^i, j = 1, 2, \dots, m; i = N + 1, N + 2, \dots, N + L$. Необходимо ранжировать (упорядочить) список $(N + L)$ объектов по величине интегральной качественной оценки с учетом условия инвариантности – если в первоначальном списке один объект лучше другого (или они равноценны), то с появлением новых объектов должно сохраняться отношения предпочтительности (эквивалентности). Таким образом, при получении новой информации требуется «скорректировать» интегральные качественные оценки всех $(N + L)$ объектов.

В работе [12] данная задача сформулирована как «задача о пересчете интегральных оценок». Применение данной методики для целей экологического мониторинга предложено в работе [13]. В отличие от работы [12] предлагается метод корректировки значений μ_j^i, d_j^i, d^i при неизменных y_j^i для первоначального списка объектов. Это позволяет получить расчетные формулы независимо от вида нормировки $\mu_j^i = \mu_j^i(y_j^i, a_j, b_j)$.

На практике при получении новых объектов требуется корректировка исходной экспертной информации, а именно:

- 1) интервалов изменения j -го ПК – $[A_j, B_j]$, где $A_j \leq a_j$ и $B_j \geq b_j$;
- 2) предельно-допустимых значений – Y_j^* и, следовательно, нормативных уровней – E_j .

Предполагается, что для каждого ПК остаются без изменения способ нормировки (см. табл. 1) и значения весовых коэффициентов

λ_j частных качественных оценок d_j . Для всего списка $(N + L)$ объектов с учетом новой информации частная абсолютная качественная оценка M_j^i по j -му ПК для i -го объекта имеет вид аналогичный виду μ_j^i (см. табл. 1): $M_j^i = M_j^i(y_j^i, A_j, B_j)$. Частная относительная D_j^i по j -му ПК и интегральная D^i качественные оценки для i -го объекта вычисляются по формулам:

$$D_j^i = [E_j(1 - M_j^i)] / [M_j^i(1 - E_j)], \quad (4)$$

$$D^i = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - D_j^i)^{\lambda_j}, \quad i = 1, 2, \dots, N + L; \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

При этом, ранжировки первоначального списка N объектов по значениям D^i и d^i будут отличаться друг от друга.

Утверждение. *Существуют преобразования качественных оценок, которые позволяют произвести упорядочение всех анализируемых объектов, сохраняющее отношения предпочтительности (эквивалентности) в первоначальном списке объектов при получении новой информации.*

Доказательство. Для включения новых объектов в ранжировку первоначального списка по значениям d^i , необходимо «скорректировать» значения величин M_j^i с помощью преобразования $\hat{M}_j^i = F(M_j^i)$. При этом значения частной относительной \hat{D}_j^i и интегральной \hat{D}^i качественных оценок объекта вычисляются по формулам:

$$\hat{D}_j^i = [E_j(1 - \hat{M}_j^i)] / [\hat{M}_j^i(1 - E_j)], \quad (6)$$

$$\hat{D}^i = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - \hat{D}_j^i)^{\lambda_j}. \quad (7)$$

Эти оценки обладают следующими свойствами: 1) если $d^i > d^l$, то и $\hat{D}^i > \hat{D}^l$; 2) если $d^i = d^l$, то и $\hat{D}^i = \hat{D}^l, i, l = 1, 2, \dots, N$.

Неравенство $d^i \geq d^l$ перепишем в виде:

$$1 - \prod_{j=1}^m (1 - d_j^i)^{\lambda_j} \geq 1 - \prod_{j=1}^m (1 - d_j^l)^{\lambda_j}. \quad (8)$$

Вначале рассмотрим случай, когда изменение свойств объекта рассматривается лишь с точки зрения «корректировки» одной частной качественной оценки d_j . Без ограничения общности, можно считать, что это оценка d_1 . Тогда неравенство (7) переписывается следующим образом:

$$(1-d_1^i)^{\lambda_i} \geq (1-d_1^i)^{\lambda_i} \left[\prod_{j=2}^m (1-d_j^i)^{\lambda_j} / \prod_{j=2}^m (1-d_j^i)^{\lambda_j} \right]. \quad (9)$$

Введем в рассмотрение величину

$$D^{ii} = \prod_{j=2}^m \left(\frac{[1-d_j^i]}{[1-d_j^i]} \right)^{\lambda_j}. \text{ Поскольку}$$

$$1-d_j^i = 1 - [\varepsilon_j(1-\mu_j^i)] / [(1-\varepsilon_j)\mu_j^i] =$$

$$= [\mu_j^i - \varepsilon_j] / [\mu_j^i(1-\varepsilon_j)] = [1-\varepsilon_j / \mu_j^i] / [1-\varepsilon_j],$$

то неравенство (9) будет иметь вид:

$$1-\varepsilon_1 / \mu_1^i \geq D^{ii}(1-\varepsilon_1 / \mu_1^i). \quad (10)$$

Обозначим через

$$z_1^i = 1-\varepsilon_1 / \mu_1^i, \quad z_1^l = 1-\varepsilon_1 / \mu_1^l;$$

$$Z_1^l = 1-E_1 / M_1^l, \quad Z_1^i = 1-E_1 / M_1^i;$$

$$\hat{Z}_1^l = 1-E_1 / \hat{M}_1^l, \quad \hat{Z}_1^i = 1-E_1 / \hat{M}_1^i.$$

Тогда неравенство (10) будет иметь вид: $z_1^l \geq D^{ii} z_1^i$. Необходимо показать, что из условия $z_1^l \geq D^{ii} z_1^i$ следует неравенство $\hat{Z}_1^l \geq D^{ii} \hat{Z}_1^i$. Таким образом, доказательство утверждения сводится к поиску преобразования $\hat{Z} = \varphi(z)$ такого, что из выполнения неравенства $z_1^l \geq D^{ii} z_1^i$ следует, что $\varphi(z_1^l) \geq D^{ii} \varphi(z_1^i)$.

Вначале найдем решение следующего функционального уравнения относительно неизвестной функции φ :

$$\varphi(z^l) = D^{ii} \varphi(z^i). \quad (11)$$

Учитывая, что $z^l = D^{ii} z^i$, имеем $\varphi(D^{ii} z) = D^{ii} \varphi(z)$. Будем искать решение уравнения (11) в классе непрерывно дифференцируемых функций. Продифференцируем обе части последнего уравнения по z : $D^{ii} \varphi'(D^{ii} z) = D^{ii} \varphi'(z)$. Так как $D^{ii} \neq 0$, то $\varphi'(D^{ii} z) = \varphi'(z)$. Введем обозначение $g(z) = \varphi'(z)$. Тогда для любого $D^{ii} > 0$ имеет место следующее функциональное уравнение $g(D^{ii} z) = g(z)$. При $D^{ii} < 1$ $g(x) = g(D^{ii} x) = g[(D^{ii})^2 x] = \dots = g[(D^{ii})^n x]$.

Перейдя к пределу при $n \rightarrow \infty$, получим $g(z) = g(0) = const$. Пусть $g(z) = \gamma$, т. е. $\varphi'(z) = \gamma$. Поэтому $\varphi(z) = \gamma z + \beta$, где $\gamma, \beta = const$. Определим значения констант γ и β . Так как $z_1^l = D^{ii} z_1^i$, то $\gamma z_1^l + \beta = \varphi(z_1^l) = D^{ii} \varphi(z_1^i) = D^{ii} (\gamma z_1^i + \beta) = D^{ii} \gamma z_1^i + D^{ii} \beta$. При этом $\gamma z_1^l + \beta = \gamma D^{ii} z_1^i + \beta$, тогда $\beta = D^{ii} \beta$ для

любого D^{ii} . Следовательно, $\beta = 0$ и $\varphi(z) = \gamma z$, а решением уравнения (11) при $\gamma \neq 0$ является функция $\varphi(z) = \gamma z$. Поскольку $z_1^l \geq D^{ii} z_1^i$, $D^{ii} > 0$, то для любого $\gamma > 0$ выполняется неравенство $\gamma z_1^l \geq \gamma D^{ii} z_1^i$, которое можно переписать в виде $\varphi(z_1^l) \geq D^{ii} \varphi(z_1^i)$. Отсюда следует, что $\hat{Z}_1^l = \gamma_1 z_1^l$ или $1-E_1 / \hat{M}_1^l = \gamma_1 (1-\varepsilon_1 / \mu_1^l)$.

Следовательно, скорректированная абсолютная оценка качества \hat{M}_1^i для i -го объекта вычисляется по следующей формуле:

$$\hat{M}_1^i = E_1 / \left[1 - \gamma_1 (1 - \varepsilon_1 / \mu_1^i) \right]. \quad (12)$$

Таким же образом осуществляется корректировка остальных частных абсолютных оценок качества объекта. В табл. 3 представлены формулы корректировки для некоторых видов этих оценок.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ КВАЛИТАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА АНТРОПОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Рассмотрим применение интегральной качественной оценки d в задачах экологической диагностики и мониторинга антропогенно-нарушенных территорий – сложных природно-хозяйственных геообъектов. А именно, для оценки изменений качества водных ресурсов в муниципальных районах Воронежской области в категориях экологической безопасности / опасности. Так как, d_j и d имеют вероятностную интерпретацию, то будем рассматривать частные относительные и интегральные качественные оценки как экологическую опасность антропогенно-нарушенных территорий – вероятность снижения качества питьевой воды в результате поступления загрязняющих веществ в вербально-числовой шкале Харрингтона [4].

Загрязнение воды будем оценивать с точки зрения двух приоритетных для Воронежской области ПК: y_1 – содержание марганца и y_2 – содержание железа. В табл. 4–5 представлены экспертная информация, промежуточные расчеты и результаты диагностики загрязнения водных ресурсов муниципальных

Таблица 3

Формулы корректировки частных абсолютных качественных оценок

№ п/п	Способы нормировки	Скорректированная абсолютная качественная оценка
1	$\mu_j^i = \frac{a_j}{y_j^i}, M_j^i = \frac{A_j}{y_j^i}$	$\hat{M}_j^i = E_j / [1 - \gamma_j (1 - \varepsilon_j / (p_j M_j^i))]$, где $p_j = a_j / A_j$, $0 < \gamma_j \leq [1 - E_j] / [1 - \varepsilon_j A_j / a_j]$
2	$\mu_j^i = \frac{b_j - y_j^i}{b_j - a_j}, M_j^i = \frac{B_j - y_j^i}{B_j - A_j}$	$\hat{M}_j^i = E_j / [1 - \gamma_j (1 - \varepsilon_j / (p_j M_j^i + q_j))]$, где $p_j = (B_j - A_j) / (b_j - a_j), q_j = (b_j - B_j) / (b_j - a_j)$, $0 \leq \gamma_j \leq [1 - E_j] / [1 - \varepsilon_j (b_j - a_j) / (b_j - A_j)]$
3	$\mu_j^i = \left[\frac{b_j - y_j^i}{b_j - a_j} \right]^{\beta_j}, M_j^i = \left[\frac{B_j - y_j^i}{B_j - A_j} \right]^{\beta_j}$	$\hat{M}_j^i = E_j / [1 - \gamma_j (1 - \varepsilon_j / [p_j (M_j^i)^{1/k} + q_j]^k)]$, где $p_j = (B_j - A_j) / (b_j - a_j), q_j = (b_j - B_j) / (b_j - a_j)$, $0 < \gamma_j \leq [1 - E_j] / [1 - \varepsilon_j (p_j + q_j)^k]$

Таблица 4

Исходная и новая экспертная информация

№ п/п	ПК	Вес	a_j	b_j	y_j^*	A_j	B_j	Y_j^*
1	y_1	0,65	0,005	0,050	0,10	0,005	0,28	0,28
2	y_2	0,35	0,100	0,280	0,30	0,05	0,63	0,63

районов – первоначального списка объектов экологического мониторинга (ОЭМ).

К первоначальному списку ОЭМ были добавлены три «новых» объекта с номерами 2, 12, 28. При появлении дополнительных объектов изменилась и экспертная информация, необходимая для построения интегральной оценки экологической опасности территорий (см. табл. 4). При вычислении этой оценки в связи с загрязнением водных ресурсов для расширенного списка ОЭМ нарушается упорядочение объектов первоначального списка (табл. 6).

Примечание: первая строка таблицы – ранжировка первоначального списка ОЭМ; вторая строка таблицы – ранжировка расширенного списка; третья строка таблицы – ранжировка расширенного списка на основе скорректированной интегральной оценки

Поэтому необходимо использование алгоритма «корректировки» интегральных оценок (переранжировки), приведенного выше в

настоящей статье. В табл. 5 представлен результат пересчета интегральных оценок при получении новой информации с сохранением предыдущей ранжировки. (см. табл. 6).

В работе [10] приведена интегральная оценка изменения экологической опасности приаэродромных территорий на модельном примере мониторинга шумового загрязнения окружающей среды под воздействием военной авиации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье для диагностики качества объектов применяется интегральная качественная оценка, которая отличается от аналогов тем, что: 1) является нелинейным (неаддитивным) обобщенным критерием качества / некачественности объекта; 2) позволяет квалифицированно измерять степень соответствия / несоответствия объекта нормативным требованиям к ее качеству;

Таблица 5

Частные показатели качества, абсолютные, относительные и интегральная качественная оценки загрязнения водных ресурсов муниципальных районов Воронежской области

Код района	y_1	y_2	d_1	d_2	d	Ранг	\hat{D}_1	\hat{D}_2	\hat{D}	Ранг
1	0,100	0,100	1,000	0,200	1,000	23	1,000	0,638	1,000	25
2	0,280	0,630	–	–	–		1,000	1,000	1,000	32
3	0,100	0,050	1,000	0,000	1,000	11	1,000	0,547	1,000	13
4	0,100	0,061	1,000	0,044	1,000	16	1,000	0,567	1,000	18
5	0,100	0,090	1,000	0,160	1,000	22	1,000	0,620	1,000	24
6	0,100	0,050	1,000	0,000	1,000	12	1,000	0,547	1,000	14
7	0,005	0,280	0,000	0,920	0,587	9	0,516	0,964	0,805	11
8	0,050	0,162	0,474	0,448	0,465	7	0,745	0,750	0,747	9
9	0,100	0,062	1,000	0,048	1,000	17	1,000	0,569	1,000	19
10	0,051	0,190	0,484	0,560	0,512	8	0,751	0,801	0,769	10
11	0,100	0,086	1,000	0,144	1,000	20	1,000	0,613	1,000	22
12	0,100	0,346	–	–	–	–	0,345	0,510	0,409	2
13	0,005	0,083	0,000	0,132	0,048	1	0,516	0,607	0,550	3
14	0,010	0,086	0,053	0,144	0,086	2	0,542	0,613	0,568	4
15	0,005	0,150	0	0,4	0,164	3	0,516	0,728	0,605	5
16	0,007	0,203	0,023	0,612	0,293	4	0,528	0,824	0,666	6
17	0,100	0,170	1,000	0,480	1,000	25	1,000	0,765	1,000	27
18	0,100	0,175	1,000	0,500	1,000	26	1,000	0,774	1,000	28
19	0,100	0,068	1,000	0,072	1,000	18	1,000	0,580	1,000	20
20	0,100	0,051	1,000	0,004	1,000	13	1,000	0,549	1,000	15
21	0,100	0,056	1,000	0,024	1,000	14	1,000	0,558	1,000	16
22	0,050	0,140	0,474	0,360	0,436	5	0,745	0,710	0,734	7
23	0,100	0,089	1,000	0,156	1,000	21	1,000	0,618	1,000	23
24	0,100	0,185	1,000	0,540	1,000	27	1,000	0,792	1,000	29
25	0,056	0,100	0,539	0,200	0,441	6	0,777	0,638	0,736	8
26	0,100	0,060	1,000	0,040	1,000	15	1,000	0,566	1,000	17
27	0,100	0,210	1,000	0,640	1,000	28	1,000	0,837	1,000	30
28	0,022	0,330	–	–	–	–	0,062	0,483	0,238	1
29	0,100	0,240	1,000	0,760	1,000	29	1,000	0,891	1,000	31
30	0,100	0,079	1,000	0,116	1,000	19	1,000	0,600	1,000	21
31	0,015	0,280	0,105	0,920	0,616	10	0,567	0,964	0,818	12
32	0,100	0,137	1,000	0,348	1,000	24	1,000	0,705	1,000	26

3) формализованные требования к качеству объекта задаются непосредственно в виде нормативных уровней по каждому ПК в отдельности; 4) частные ПК объекта могут быть измерены в различных шкалах (шкале отношений, порядковой шкале, виде балльных оценок); 5) возможен учет неравноценности частных оценок качества объекта на осно-

Таблица 6

Ранжировки объектов экологического мониторинга

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	13	14	15	16	22	25	8	10	7	31	3	6	20	21	26	4
2	13	14	15	16	25	22	7	8	31	10	28	3	6	20	21	26
3	28	12	13	14	15	16	22	25	8	10	7	31	3	6	20	21
№	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	9	19	30	11	23	5	1	32	17	18	24	27	29			
2	4	9	19	30	11	23	5	1	32	17	18	24	27	29	12	2
3	26	4	9	19	30	11	23	5	1	32	17	18	24	27	29	2

Примечание: первая строка таблицы – ранжировка первоначального списка ОЭМ; вторая строка таблицы – ранжировка расширенного списка; третья строка таблицы – ранжировка расширенного списка на основе скорректированной интегральной оценки

ве определения их весовых коэффициентов; б) имеет вероятностную, геометрическую и информационную интерпретации [5–7]. Для мониторинга качества объектов используется метод «корректировки» качественных оценок, сохраняющий ранжировку (упорядочение) исходного списка при добавлении новых объектов.

Разработанная методика применена для экологической диагностики и мониторинга загрязнения водных ресурсов муниципальных районов Воронежской области. В настоящее время ведется разработка АСЭО экологической безопасности / опасности территорий – сложных природно-хозяйственных геообъектов [14].

Автор благодарит профессора кафедры математических методов исследования операций Воронежского государственного университета В. М. Умывакина за полезное обсуждение работы и ценные замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азгальдов Г. Г. О квалиметрии / Г. Г. Азгальдов, Э. П. Райхман. – М. : Изд-во стандартов, 1973. – 172 с.

2. Баева Н. Б. Обобщение методов построения интегральных оценок качества на основе теории трудности достижения цели / Н. Б. Баева, Е. В. Куркин // Вестник ВГУ. Серия «Системный анализ и информационные технологии». – 2011. – № 1. – С. 84–92.

3. Выявление экспертных знаний / О. И. Ларичев [и др.]; отв. ред. С. В. Емельянов. – М. : Наука, 1989. – 128 с.

4. Джини К. Средние величины / К. Джини. – М. : Статистика, 1970. – 448 с.

5. Зибров Г. В. Квалиметрические модели вербально-числового анализа экологической опасности территорий природно-хозяйственных геосистем / Г. В. Зибров, В. М. Умывакин, А. В. Швец // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Системный анализ и информационные технологии. – 2013. – № 1. – С. 112–118.

6. Каплинский А. И. Моделирование и алгоритмизация слабоформализованных задач выбора наилучших вариантов системы / А. И. Каплинский, И. Б. Руссман, В. М. Умывакин. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1991. – 168 с.

7. Леденева Т. М. Моделирование процесса агрегирования информации в целенаправленных системах / Т. М. Леденева. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 1999. – 155 с.

8. Леденева Т. М. О формировании интегральных оценок «трудность достижения цели / Леденева Т. М. // Вестник факультета ПММ. – вып. 8 – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2010. – С. 122–140.

9. Литвак Б. Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б. Г. Литвак. – М. : Патент, 1996. – 271 с.

10. Михайлов В. В. Методическое обеспечение системы комплексного экологического мониторинга приаэродромных территорий

при техногенном воздействии на окружающую среду военной авиации / В. В. Михайлов, В. М. Умывакин, А. В. Швец // Академические Жуковские чтения. Системы гидрометеорологического, экологического и специального мониторинга: методические аспекты повышения качества функционирования: сб. науч. ст. по материалам Всерос. науч.-практ. конф.; Воронеж 20–21 нояб. 2013 г. / ВУНЦ ВВС «ВВА». – Воронеж, 2014. – С. 147–152.

11. Руссман И. Б. Комплексная оценка системы и оценки подсистем / И. Б. Руссман. – Известия АН СССР, Техническая кибернетика. – 1978. – №2. – с. 201–204.

12. Руссман И. Б. О проблеме пересчета интегральных показателей многомерных объектов / И. Б. Руссман // Проблемы функ-

ционирования и развития инфраструктуры народного хозяйства; Тр. семинара Всесоюз. науч.-исслед. ин-та системных исследований. – М., 1983. – С. 19–24.

13. Умывакин В. М. Интегральная эколого-хозяйственная оценка и управление земельными ресурсами в регионе / В. М. Умывакин. – Воронеж : Воронеж. гос. пед. ун-т. – 2002. – 178 с.

14. Умывакин В. М. Программа построения интегральной оценки качества сложных объектов (программа INTEGRREST) / В. М. Умывакин, А. В. Швец, О. В. Вялова // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014618843 от 29 августа 2014 г.

15. Harrington E. C. Jr. The desirability function / E. C. Jr. Harrington // Industrial quality control. – 1965. – Vol. 21, № 10. – P. 494–498.

Швец А.В. – научный сотрудник, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж).
Тел.: 8(950)765-65-65,
E-mail: shvets-av@mail.ru

Shvets A.V. – a scientific employer, Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin» (Voronezh).
Tel.: 8(950)765-65-65
E-mail: shvets-av@mail.ru