

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ БАНКОВСКИХ СИСТЕМ**

**Завгородний В.И., Золотарюк А.В.**

*Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,  
Россия, г. Москва, Ленинградский проспект, д.49  
vzavgorodniy@fa.ru, AZolotaryuk@fa.ru*

*Аннотация: оценка эффективности информационных банковских систем предполагает использование значительного количества показателей, имеющих иерархическую структуру. Значительная часть показателей определяется в условиях неопределенности. Предлагается для оценки эффективности использовать модифицированную нечеткую модель, основанную на применении лингвистических переменных.*

Ключевые слова: иерархическая нечеткая модель, лингвистические переменные, эффективность информационных банковских систем.

### **Введение**

Бизнес-процессы современного банка полностью интегрированы с информационными банковскими системами (ИБС). Полный отказ от наличных денег, внедрение новых платежных систем и развитого искусственного интеллекта приведут к появлению практически автоматических информационных систем, обеспечивающих банковское обслуживание физических и юридических лиц. Поэтому проблема оценки эффективности ИБС на всех жизненных этапах таких систем приобретает все возрастающее значение. Для анализа эффективности таких сложных систем требуются новые методы и средства, применимые, в том числе для работы с нечеткими данными.

## Иерархическая нечеткая модель для оценки информационных банковских систем

Существует множество методов многокритериальной оценки сложных систем. К ним относятся методы ранжирования, среди которых можно выделить методы лексикографический, попарных сравнений, метод Парето и др. При выборе метода определения эффективности ИБС учитывались следующие факторы. Для анализа таких сложных систем используются десятки характеристик. В то же время результаты исследований показывают, что количество характеристик или показателей эффективности для формирования критерия не должно быть более девяти. Поэтому необходимо использовать иерархические методы вычисления показателей эффективности. Они позволяют поэтапно формировать показатели эффективности более высокого уровня путем интеграции показателей нижних уровней. Модель также должна быть приспособлена к работе в условиях неопределенности. Особенно это относится к работе с показателями информационной безопасности [1,2].

Для оценки эффективности ИБС используем иерархическую нечеткую модель с лингвистическими переменными [3]. Выбор модели обусловлен наличием возможности совмещения иерархического алгоритма с использованием лингвистических переменных. Это позволяет создавать модели в условиях неопределенности и наличия как количественных, так и качественных характеристик и показателей.

Эффективность ИБС может быть описана следующей нечеткой моделью  $Q = \langle G, L, S, A \rangle$ . В модели под  $G$  понимается связный ациклический граф (дерево). Каждому показателю эффективности системы ставится в соответствие вершина графа  $g_{nk}^d$ , где  $d, d=(1;D)$  – уровень, на котором находится вершина  $g_{nk}^d$ ;  $n, n=(1;N_d)$ , номер вершины  $g_{nk}^d$  на уровне  $d$ ;  $k, k=(1;K_{d-1})$  – номер вершины уровня  $d-1$ , с которым связана вершина  $g_{nk}^d$ . Вершинам дерева соответствуют определенные значения лингвистических переменных  $l_j \in L$ , где  $L = \{l_j, j=(1;J)$ . Символом  $S$  обозначено правило задания и использования нечетких предпочтений между показателями при формировании обобщенного показателя. Алгоритм получения обобщенных (агрегированных) показателей на всех уровнях модели обозначен в модели символом  $A$ .

Пусть выбрано множество лингвистических переменных  $L$ , мощность которого  $J = 5$ .  $L = \{\text{"Очень низкий"} (ОН), \text{"Низкий"} (Н), \text{"Средний"} (С), \text{"Высокий"} (В), \text{"Очень высокий"} (ОВ)\}$ . Для представления лингвистических переменных используется трапециевидальная функция принадлежности. Тогда  $j$  – значение переменной  $l_j$  может быть представлено функцией принадлежности  $\mu_j(x)$ , которая определена на единичном интервале  $(0,1)$  [4].

Обобщенный (агрегированный) показатель каждого уровня получается из показателей уровнем ниже, значение которых оказывает влияние на формируемый обобщенный показатель. На графе это показатели, связанные с показателем следующего по иерархии уровня. На первом этапе определяются показатели нижнего уровня иерархии. Первичные лингвистические переменные получают либо непосредственно с помощью экспертных методов, либо относительные количественные оценки приводятся к виду лингвистических переменных.

Алгоритм пошагового формирования агрегированных значений вершин графа можно представить следующим образом:

1) Определяются все первичные показатели эффективности (листья дерева)  $g_{Dnk} = l_j, l_j \in L$

2) Из графа  $G$  выделяются подмножества вершин  $G_{dk}$  на уровне  $d$ , имеющие связь с вершиной  $k$  следующего по иерархии уровня  $d-1$ .

$\mu_k(x) = \sum_{j=1}^{M_k} \mu_{jk}(x) \rho_j$ , 3) Функция принадлежности, соответствующая обобщенному показателю  $g_{d-1kv}$ , где  $v$  – номер вершины на уровне  $d-2$ , с которой связаны вершины подмножества  $G_{dk}$  определяется по формуле:

$$(1) \quad \mu_k(x) = \sum_{j=1}^{M_k} \mu_{jk}(x) \rho_j,$$

где  $\mu_k(x)$  – функция принадлежности, соответствующая обобщенному показателю  $g_{d-1kv}$ ;  $\mu_{jk}(x)$  –  $j$  – функция принадлежности подмножества вершин  $G_{dk}$ ;  $\rho_j, \rho_j = (0;1)$  – весовой коэффициент  $j$  – го показателя среди показателей (вершин)  $G_{dk}$ ;  $M_k$  – мощность множества  $G_{dk}$ .

4) По вычисленной функции принадлежности  $\mu_k(x)$  вершине  $g_{d-1kv}^{d-1}$  присваивается соответствующее значение лингвистической переменной  $l_i \in L$ .

5) После обработки всех подмножеств  $G_{dk}$  уровня  $d$  проверяется условие  $d > 1$ . Если условие выполняется, то  $d=d-1$  и осуществляется переход к шагу 2, иначе – завершение алгоритма.

Весовые коэффициенты  $\rho_j$  могут определяться различными способами. Например, веса назначаются с использованием экспертных методов. Практический интерес представляет метод, основанный на использовании нечетких предпочтений одних показателей перед другими, на основании которых определяются весовые коэффициенты, получившие название коэффициентов Фишберна [5].

Пусть показатели  $gd_{nk}$  уровня  $d$  используются для формирования значения  $\mu_k(x)$   $k$ -го показателя старшего уровня  $d=d-1$ . Они могут находиться между собой в отношении нестрогого предпочтения ( $\succeq$ ) или безразличия ( $\approx$ ). Формально это может быть представлено следующим образом:

$$(2) \quad P = \{ gd_{nk}(\varphi) \succeq gd_{n+1k}, \varphi \in (\succeq, \approx) \}.$$

Если  $gd_{1k} \succeq gd_{2k} \succeq \dots \succeq gd_{Mkk}$  для  $\square \quad gd_{nk}$ , то выражение вычисления коэффициентов Фишберна имеет вид:

$$\frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \dots \quad (3)$$

—  $k$ ). При  $gd_{1k} \approx gd_{2k} \approx \dots \approx gd_{Mkk}$  для  $\square \quad gd_{nk}$ , коэффициенты равны и определяются следующим образом:

$$(4) \quad \frac{1}{M}$$

Если показатели эффективности одного подмножества связаны как отношениями предпочтения, так и отношениями безразличия, то необходимо использовать выражение:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dots \\ \geq \dots, \quad / \sum_j \rho_j B \end{array} \right.$$

соответствии с правилами выполнения операций с функциями принадлежности  $\mu_k(x)$  необходимо осуществить переход к действиям с абсциссами соответствующих вершин трапеций ( $a_1, a_2, a_3, a_4$ ) [4]:

$$\sum \rho_j (a \dots), \quad (\sum \rho \dots, \sum \rho \dots, \sum \rho \dots, \sum \rho \dots)$$

В общем случае полученное значение функции  $\mu_k(x)$ , характеризующее обобщенный показатель на любом уровне иерархии, будет отличаться от выбранных функций принадлежности  $\mu_j(x)$ . Поэтому необходимо произвести сравнение полученной функции  $\mu_k(x)$ , с функциями  $\mu_j(x)$  и выбрать в качестве обобщенной оценки одну из исходных функций  $\mu_j(x)$ , наиболее близкой к вычисленной функции  $\mu_k(x)$ .

Задача может быть решена одним из методов:

квадратичного расстояния Евклида;

абсолютного (относительного) расстояния Хемминга.

При выборе метода абсолютного расстояния Хемминга и с учетом трапецеидальной формы функций  $\mu_j(x)$  и  $\mu_k(x)$  близость этих функций  $\delta_{jk}$  оценивается с помощью выражения:

$$(7) \quad \delta_{jk} = \max \left\{ |a_1^k - b_1^j|, |a_2^k - b_2^j|, |a_3^k - b_3^j|, |a_4^k - b_4^j| \right\}, \quad j = \overline{1,5},$$

где  $\delta_{jk}$  – абсолютное расстояние Хемминга;  $b_{ji}$  – абсцисса исходных функций принадлежности,  $a_{ki}$  – абсцисса вычисленной функции  $\mu_k(x)$ . Критерием выбора  $\mu_j(x)$  является  $\min \delta_{jk}$ . Из множества  $L_j$  выбирается переменная  $l_j$ , с соответствующей функцией  $\mu_j(x)$ , для которой получено минимальное  $\min \delta_{jk}$ .

Вычисление обобщенных показателей предваряет проверка ограничений для частных показателей эффективности ИБС. Если значение частного показателя  $l_j \in L^*$ , где  $L^*$  является множеством неразрешенных значений  $j$ -го показателя, то дальнейшие шаги по вычислению показателей не производятся, а ИБС считается непригодной для использования.

По сравнению с известными методами нечеткого моделирования процесса определения агрегированных показателей эффективности (качества) предложен ряд изменений, направленных на повышение точности метода.

При расчете обобщенного показателя эффективности на уровнях ниже первого уровня иерархии предлагается исключить этап замены полученных координат агрегированной функции  $\mu_k(x)$  на координаты самой близкой функции  $\mu_j(x)$ , а использовать  $\mu_k(x)$  для получения агрегированных

показателей следующего уровня. Тогда операция сравнения координат и выбор одной из функций принадлежности  $\mu_j(x)$  выполняется только для обобщенного показателя эффективности.

В процессе выполнения алгоритма определения обобщенного показателя эффективности следует учитывать ограничения на отдельные показатели эффективности, в том числе и на показатели, получаемые в процессе агрегирования функций принадлежности.

Оценивать степень совпадения полученных функций принадлежности  $\mu_k(x)$  с функциями  $\mu_j(x)$  не только с помощью абсолютного расстояния Хемминга, но и направлением смещения функции  $\mu_k(x)$  относительно ближайшей из функций  $\mu_j(x)$ .

### **Заключение**

В работе представлен метод оценки эффективности ИБС, основанный на использовании иерархической нечеткой модели с применением лингвистических переменных. Предложены изменения в алгоритм метода, позволяющие повысить точность определения обобщенного показателя эффективности.

### **Литература**

1. *Zavgorodniy V., Lukyanov P., Nazarov S.* [The Selection Algorithm of Mechanisms for Management of Information Risks]. 2nd International Conference on Information Technology and Quantitative Management, ITQM 2014. Procedia Computer Science. Imprint: ELSEVIER. pp. 440-448. ISSN: 1877-0509.
2. *Завгородний В.И.* Системное управление информационными рисками. Выбор механизмов защиты от информационных рисков // Проблемы управления. – 2009. – №1. – С. 53-58.
3. *Подиновская О.В., Подиновский В.В.* Анализ иерархических многокритериальных задач принятия решений методами теории важности критериев // Проблемы управления. 2014. № 6. С. 2-8.
4. *Недосекин А.О.* Нечетко-множественный анализ риска фондовых инвестиций. URL: <https://www.twirpx.com/file/132466/> (accessed: 10.01.2019).
5. *Фишберн П.* Теория полезности для принятия решений. – М.: Наука, 1978. – 352 с.