

УДК 004.932.2

А.А. Замула

Харьковский учебно-научный институт ГВУЗ «Университет банковского дела», Харьков

НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Спроектирована структура интеллектуальной системы управления сложными процессами на примере банковской деятельности с использованием нечеткого моделирования. Модифицирована концептуальная модель путем выделения дополнительных факторов и управляющего воздействия на финансовые и качественные показатели. Исследованы эффективность и адекватность применения разработанной интеллектуальной системы для решения задач прогнозирования и контроля.

Ключевые слова: нечеткая логика, интеллектуальное управление, моделирование, сложные процессы, банковская деятельность.

Введение

Разработка системы управления сложными процессами требует исследования как теоретических аспектов функционирования выбранной предметной области, так и применяемых практических методов с последующим анализом их эффективности. Определив в качестве сложного процесса банковскую деятельность, был проведен анализ современного состояния методологии моделирования банковской деятельности. Он выявил необходимость построения современных систем управления на основе интеллектуальных принципов, так как большинство банковских процессов невозможно формализовать строго математическими моделями. Среди методов искусственного интеллекта применение нечеткой логики расширяет возможности управления банковской деятельностью, так как позволяет описывать качественные, неточные понятия и знания, а также оперировать этими знаниями с целью получения новой информации, при этом представляя собой прозрачный процесс с возможностью интерпретации каждого их этапов нечеткого логического вывода.

Исследование теоретических основ функционирования банковской системы [1,2] выявило потребность в комплексном решении существующих проблем и новом подходе к управлению, позволяющему исследовать особенности функционирования коммерческого банка на микроуровне и закономерности развития банковской системы на макроуровне, при этом учитывая не только финансовые и количественные показатели, но и качественные знания, которые возможно формализовать с применением средств искусственного интеллекта.

Целью работы является повышение эффективности управления финансовыми и качественными показателями банковской деятельности путем проектирования интеллектуальной системы управления. Объект исследования – процессы управления банковской деятельностью, предмет – методы и

модели интеллектуального управления сложными процессами.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи: построить концептуальную модель интеллектуального управления банковской деятельностью, разработать нечеткую модель управления качественными показателями, спроектировать структуру интеллектуальной системы и исследовать ее эффективность и адекватность.

Концептуальная модель управления банковской деятельностью

Проведён анализ процесса управления банковской деятельностью и построена усовершенствованная концептуальная модель (рис. 1). Введены определения входных и выходных переменных на макроуровне и микроуровне, определены управляющие переменные, введены соответствующие обозначения [7].

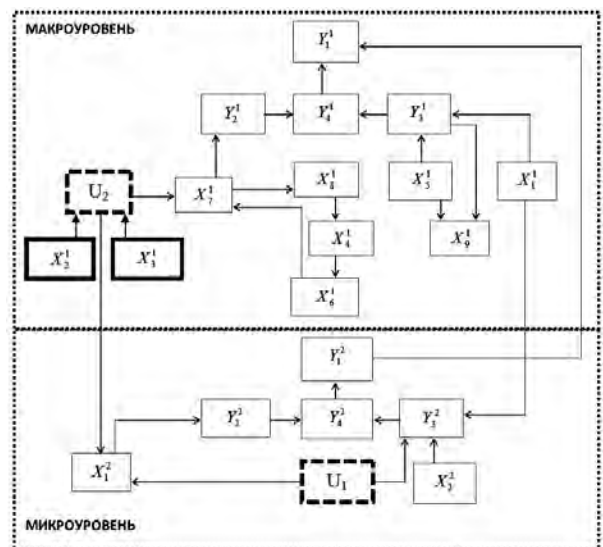


Рис. 1. Модифицированная концептуальная модель управления банковской деятельностью

Входные переменные макроуровня (¹) и микроуровня (²): X_1^1 – процентная ставка по депозитам,

%, X_2^1 – индекс LPS (Loans to private sector), индекс кредитования частного сектора, баллы, X_3^1 – индекс EMU (Economic sentiment index), индекс настроений в экономике, баллы, X_4^1 – ВВП (валовый внутренний продукт), млн грн, X_5^1 – объем депозитов БС, млн грн, X_6^1 – объем инвестиций, млн грн, X_7^1 – объем кредитования БС, млн грн, X_8^1 – объем промышленного производства, млн грн, X_9^1 – объем резервов на покрытие убытков, млн грн, X_1^2 – объем кредитования КБ, тыс. грн, X_2^2 – объем депозитов КБ, тыс. грн, X_3^2 – административные расходы КБ, тыс. грн. Выходные переменные макроуровня (1) и микроуровня (2): Y_1^1 – капитализация БС, млн грн, Y_2^1 – доходы БС, млн грн, Y_3^1 – расходы БС, млн грн, Y_4^1 – прибыль БС, млн грн, Y_1^2 – капитализация КБ, тыс. грн, Y_2^2 – доходы КБ, тыс. грн, Y_3^2 – расходы КБ, тыс. грн, Y_4^2 – прибыль КБ, тыс. грн.

Управляющие переменные: U_1 – показатель качества банковской деятельности, $[0,100]$, U_2 – процентная ставка по кредитам, %.

Разработанная концептуальная модель представляет усовершенствованную модификацию существующей путем выделения на макроуровне индекса кредитования частного сектора – X_2^1 и индекса настроений в экономике – X_3^1 , которые осуществляют влияние на закономерности развития банковской системы, и управляющих факторов – показатель качества – U_1 и процентной ставки – U_2 , которые позволяют оказывать воздействие на финансовые результаты банка [6].

Нечеткая модель управления качественными показателями банковской деятельностью

Для разработки модели нечеткого управления качественными показателями коммерческого банка необходимо: представить в виде иерархического дерева факторы качества коммерческого банка; определить функции принадлежности нечетких термов; разработать базу знаний для моделирования качества банковской деятельности на основе выведения нечетких правил; определить способ нечеткого логического вывода; провести параметрическую идентификацию модели; оценить точность и прозрачность нечеткой модели [3].

Критерий качества коммерческого банка обозначен интегральным показателем $U_1 \in [0,100]$. Основные показатели банковской деятельности, изменение которых невозможно описать с помощью

четких математических функций, – это качественные показатели. Обозначив их через X_1^3, \dots, X_n^3 , $n = \overline{1,9}$, модель качества банка будет представлять функциональное отображение вида (1):

$$X = \{ X_1^3, X_2^3, \dots, X_n^3 \} \rightarrow U_1 \in [0,100] \quad (1)$$

При достаточно большом числе факторов их удобно представить в виде иерархического дерева (рис. 2). Элементы дерева интерпретируются следующим образом: U_1 – корень дерева – качество банковской деятельности; Y_1^3, Y_2^3, Y_3^3 – нетерминальные вершины – укрупненные влияющие факторы; X_n^3 , $n = \overline{1,9}$ – терминальные вершины – частные влияющие факторы.

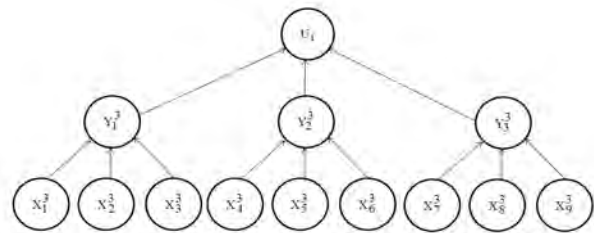


Рис. 2. Иерархическая модель нечеткого логического вывода

Факторы модели представлены в виде лингвистических переменных, описание которых приведено в табл. 1.

Таблица 1
Лингвистические переменные модели

Имя лингвистической переменной	Универсум
U_1 – «показатель качества банковской деятельности»	$[10,100]$
Y_1^3 – «качество банковских услуг (БУ)»	$[0,30]$
Y_2^3 – «качество обслуживания»	$[0,30]$
Y_3^3 – «качество банковских инф. технологий (БИТ)»	$[0,30]$
X_1^3 – «ассортимент БУ»	$[10,100]$
X_2^3 – «эксклюзивность БУ»	$[0,10]$
X_3^3 – «стоимость БУ»	$[0,5]$
X_4^3 – «квалификация персонала банка»	$[1,10]$
X_5^3 – «плит. финансовых отношений с клиентом»	$[2,20]$
X_6^3 – «разветвленность филиальной сети»	$[1,10]$
X_7^3 – «технологичность БИТ»	$[0,10]$
X_8^3 – «удобство эксплуатации БИТ»	$[0,10]$
X_9^3 – «функциональные возможности БИТ»	$[0,10]$

На первом этапе определяется терм-множество для каждой лингвистической переменной. Для содержательной интерпретации каждого из терм-множеств сформулированы следующие условия: 1) количество термов должно быть достаточным для того, чтобы эксперт каждому нечеткому множеству мог поставить

лингвистическую оценку; 2) нечеткие множества разных термов не должны быть эквивалентны или почти эквивалентны; 3) не должна нарушаться линейная упорядоченность нечетких множеств.

В качестве терм-множества для входных и выходных лингвистических переменных используется множество $T = \{\text{«низкое»}, \text{«среднее»}, \text{«высокое»}\}$ или $T = \{\text{«Н»}, \text{«С»}, \text{«В»}\}$.

Для определения функций принадлежности нечетких термов определены следующие условия: 1) нечеткие множества полностью покрывают интервал возможных значений входных переменных, т.е. любое число из этого интервала принадлежит с ненулевой степенью хотя бы к одному нечеткому множеству; 2) пересекаются только функции принадлежности соседних нечетких термов; 3) отсутствует неинтерпретируемость крайних термов.

Функции принадлежности для входных переменных были построены с использованием метода статистической обработки экспертной информации, а для выходных переменных – на основе метода парных сравнений [5].

При построении применялись следующие кусочно-линейные функции принадлежности – треугольная (2), и трапециевидная (3).

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (2)$$

где a, c – численные параметры, которые характеризуют основание треугольника; b – численный параметр, который характеризует вершину треугольника; x – число, для которого не обходимо определить степень принадлежности нечеткому терму.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (3)$$

где a, d – численные параметры, которые характеризуют нижнее основание трапеции; b, c – численные параметры, которые характеризуют верхнее основание трапеции. $a \leq b \leq c \leq d, \{a, b, c, d\} \in X = \{x_i\}$, где x_i – универсум, на котором задается i -ая лингвистическая переменная, $i = \overline{1, 13}$.

Для повышения адекватности модели были построены вид и параметры функций принадлежности термов с помощью обучающей выборки.

Математическая постановка задачи обучения нечеткой модели: P – вектор параметров функций принадлежности термов входных и выходных пере-

менных; $Y_r^3 = (y_{r1}^3, y_{r2}^3, y_{r3}^3)$, $r=1..m$, $m=58$ – вектор значений входных переменных модели; $U_1(P, Y_r^3)$ – значение показателя качества банковской деятельности в результате применения нечеткой модели с параметрами P при значениях входов Y_r^3 ; U_r – значение показателя качества обучающей выборки, $r=1..m$, $m=58$. Необходимо настроить параметры модели таким образом, чтобы выполнялось условие (4):

$$RMSE(P) = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{r=1}^m (U_r - U_1(P, X_r))^2} \rightarrow \min, \quad (4)$$

Исследованы результаты применения модели при гауссовой и кусочно-линейных функциях принадлежности. Результаты оценки точности разработанной нечеткой модели при рассматриваемых функциях принадлежности представлены в табл. 2.

Таблица 2
Результаты оценки точности нечеткой модели

Вид функции принадлежности	Кол-во коррект. парам-ов	RMSE / номер эксперимента		
		RMSE / 1	RMSE / 2	RMSE / 3
Гауссовая	18	22,67	14,93	7,36
Линейно-кусочная	44	18,77	14,69	6,14

В результате настройки точности модели выбраны треугольная и трапециевидная кусочно-линейные функции принадлежности с параметрами, представленными в табл. 3.

Таблица 3
Параметры функций принадлежности

Лингвистические переменные	Термы	Параметры функций принадлежности			
		a	b	c	d
Y_1^3	Н	0	0	5	12
	С	5	13	17	25
	В	18	25	30	40
Y_2^3	Н	0	0	5	10
	С	4	13	17	25
	В	18	25	30	40
Y_3^3	Н	0	0	5	13
	С	5	14	16	25
	В	17	25	30	40
U_1	Н	0	0	10	35
	С	15	40	60	85
	В	60	80	100	130

Следующим этапом является разработка нечеткой базы знаний, которая должна удовлетворять следующим условиям: 1) база знаний является непротиворечивой или неизбыточной, т.е. не содержит правил с одинаковыми антецедентами; 2) база знаний согласована с количеством термов, т.е. каждый терм фигурирует как минимум в одном нечетком правиле; 3) для произвольного входного вектора на выходе получается не пустое нечеткое множество.

Необходимо создать базу знаний вида (5):

$$P_i: \text{ЕСЛИ } X_1 \text{ есть } A_{i1} \text{ И...И } X_j \text{ есть } A_{ij} \text{ И...И } X_m \text{ есть } A_{im}, \text{ то } Y \text{ есть } B_i, \quad i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m} \quad (5)$$

где n – количество правил в базе знаний; m – количество входных переменных.

Для разработки базы знаний использованы экспериментальные данные и экспертная информация.

Разработка базы знаний на основе экспертной информации состоит из следующих этапов:

- 1) разбиение пространств входных и выходных переменных;
- 2) формирование начальной базы правил;
- 3) сокращение числа правил;
- 4) параметрическая оптимизация конечного набора правил.

Проведена генерация множества правил исходя из возможных сочетаний нечетких высказываний в предпосылках и заключениях правил, в соответствии с которыми максимальное количество правил в базе определяется следующим отношением:

$N = N_{x1} \cdot N_{x2} \cdot \dots \cdot N_{xm} \cdot N_y$, где $N_{x1} \cdot N_{x2} \cdot \dots \cdot N_{xm} \cdot N_y$ – число функций принадлежности для задания входных и выходных переменных ($N=81$). Поскольку изначально сформированная база правил является избыточной – с одинаковыми предпосылками и разными заключениями, то набор правил оптимизирован на основе экспертной информации, в результате чего сформирована база из 18 правил – для нечетких моделей

$$Y_1^3 = f_1(X_1^3, X_2^3, X_3^3), Y_2^3 = f_2(X_4^3, X_5^3, X_6^3),$$

$U_1 = f_4(Y_1^3, Y_2^3, Y_3^3)$, и 13 правил – для нечеткой модели

$$Y_3^3 = f_3(X_7^3, X_8^3, X_9^3).$$

В качестве алгоритма нечеткого вывода использован алгоритм Мамдани. С помощью агрегирования определены степени истинности условий каждого из

правил нечетких продукций, используются парные нечеткие логические операции (\min -конъюнкции и \max -дизъюнкции). Те правила, степень истинности условий которых отлична от нуля, считаются активными и применяются для дальнейших расчетов.

Активизация подзаключений в нечетких правилах продукций осуществлена по методу \min -активизации, аккумуляция заключений – путем объединения нечетких множеств, дефаззификация выходных переменных – по методу центра тяжести.

Проектирование структуры интеллектуальной системы управления

После выделения и описания основных компонентов интеллектуальной системы разработана структурная схема (рис. 3).

Эффективность применения системы интеллектуального управления оценена на примере банковской системы Украины [4]. В табл. 4, 5 представлены сводные результаты оценки эффективности применения интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР), обозначения: F_p – расчетное значение критерия Фишера; $F_{кр}$ – критическое значение критерия Фишера; ε – ошибка прогноза; G, F – желаемые и фактические значения критериев.

Исследование эффективности применения методов и моделей подтвердило их адекватность и возможность управления финансовыми показателями банковских учреждений с помощью процентной ставки и показателя качества банковской деятельности.

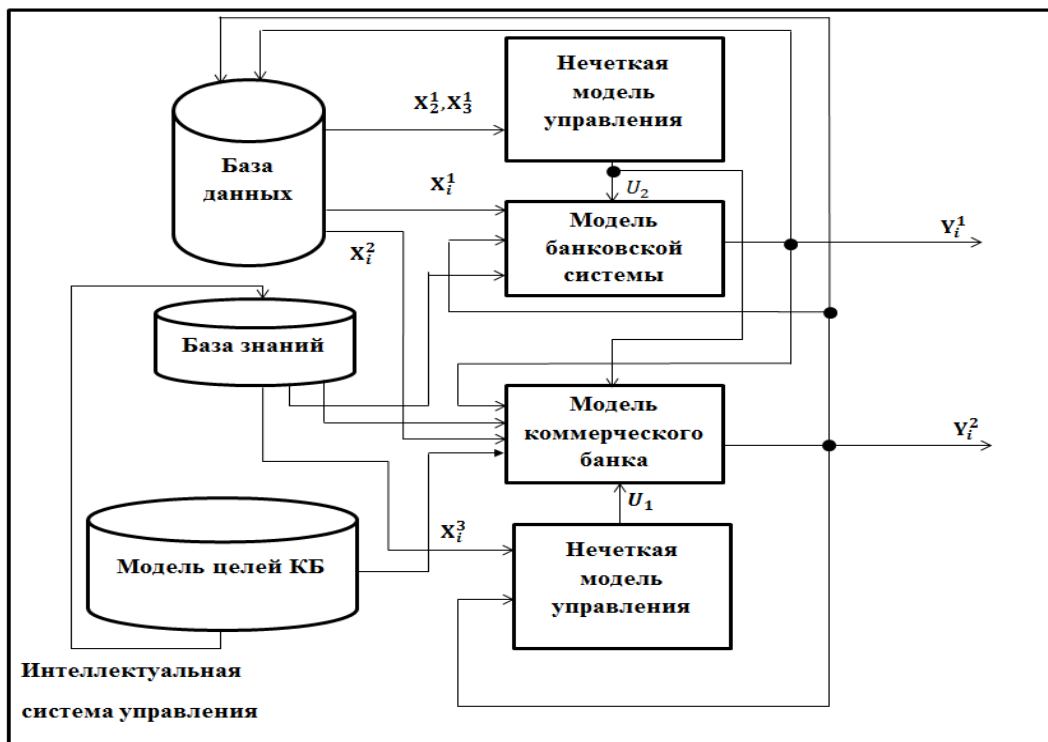


Рис. 3. Структурная схема интеллектуальной системы управления банковской деятельностью

Таблиця 4

Оценка эффективности применения ИСППР для задач прогнозирования

Показатели	Fr	Fkr	ϵ
Прогноз показателей функционирования БС			
X_7^1	65,6	5,32	8,91
X_4^1	19	5,32	8,75
Y_1^1	11,5	5,32	8,32
Прогноз показателей функционирования КБ			
Y_4^2	13,3	5,32	7,91

Таблиця 5

Оценка эффективности применения ИСППР для задач контроля

Цели	Критерии	G	F	Достиженные цели
Долгосрочные цели				
Рост капитализации	Уровень капитализации	500000	398000	-
	Коэффициент отношения кредитов к депозитам	[0,75; 1,7]	[1,4; 1,7]	+
Краткосрочные цели				
Повыш. объема прибыли	Рентабельность прибыли	>2%	[0,15; 1]	-
Повыш. качества услуг	Показ. качества	>70	83	+
	Процентная маржа	[5,10]	[5,16]	+

Выводы

Проектирование структуры управления с привлечением методов искусственного интеллекта позволяет реализовать комплексный подход к принятию решений. Разработанная база знаний интеллектуальной системы управления и математические модели банковской деятельности позволили объединить традиционные методы и модели на основе искусственного интеллекта и за счет этого повысить эффективность управления банковскими процессами на 18,15%.

Научная новизна работы – усовершенствована система интеллектуального управления банковской деятельностью за счет введения дополнительных факторов и интеллектуальных моделей управления на их основе, что позволяет улучшить финансовые результа-

ты банка и численно оценить эффект от принятого решения при выборе направления развития банка.

Практическая ценность полученных результатов заключается в возможности использования разработанной системы интеллектуального управления банковской деятельностью как отдельно коммерческими банками для управления, прогнозирования дальнейшего развития и как средство совершенствования текущей деятельности, так и на уровне государственного регулирования, позволяя выявить основные тенденции развития банковской системы и предупредить кризисные явления.

Перспектива исследования заключается в расширении сферы применения разработанных методов и моделей с целью усовершенствования подхода к управлению сложными системами.

Список литературы

1. Samigulina G.A. *Intellectual systems of forecasting and control of complex objects based on artificial immune systems* / G.A. Samigulina. – WA, USA: Science Book Publishing House, 2014. – 172 p.
2. Володько Л.П. Оценка качества банковских информационных технологий и услуг в условиях неопределенности / Л.П. Володько // *Аудит и финансовый анализ*. – 2010. – № 3. – С. 1-12.
3. Замула А.А. Нечеткая модель управления качеством банковских услуг / А.А. Замула // *Искусственный интеллект*. – 2012. – № 2. – С. 89-94.
4. Национальный банк Украины – офиц. сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bank.gov.ua>.
5. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика / И.З. Батыришин, А.О. Недосекин, А.А. Стецко. – М.: Физматлит, 2007. – 208 с.
6. The Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) – официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.oecd.org>.
7. Шевченко А.И. Об одном подходе при моделировании сложных систем / А.И. Шевченко, А.С. Миненко, А.А. Замула // *Доповіді Національної академії наук України*. – 2012. – № 10. – С. 40-43.

Поступила в редколлегию 26.11.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.О. Гороховатский, Харьковский учебно-научный институт ГВУЗ «Университет банковского дела», Харьков.

НЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СТРУКТУРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

А.О. Замула

Спроектована структура інтелектуальної системи управління складними процесами на прикладі банківської діяльності з використанням нечіткого моделювання. Модифікована концептуальна модель шляхом виділення додаткових чинників і керуючого впливу на фінансові та якісні показники. Досліджено ефективність і адекватність застосування розробленої інтелектуальної системи для вирішення задач прогнозування і контролю.

Ключові слова: нечітка логіка, інтелектуальне управління, моделювання, складні процеси, банківська діяльність.

FUZZY MODELING IN DESIGNING THE INTELLECTUAL CONTROL STRUCTURE

A.A. Zamula

The intellectual control structure of complex processes on the example of the banking activities using fuzzy modeling is designed. A conceptual model is modified by the provision of additional factors and control exposure to financial and qualitative indicators. The efficiency and adequacy of the developed intelligent systems for solving problems of prediction and control is investigated.

Keywords: fuzzy logic, intelligent control, modelling, complex processes, banking.