

сучасної економіки сприяє промисловій адаптації системи у наведеній предметній галузі. ■

#### ЛІТЕРАТУРА

1. **Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф.** Базы знаний интеллектуальных систем.– СПб.: Питер, 2010.– 480 с.
2. **Джарратано Дж.** Экспертные системы: принципы разработки и программирование.– М.: Вильямс, 2005.– 1152 с.
3. **Люггер Дж. Ф.** Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем.– М.: Вильямс, 2009.– 864 с.
4. **Newell J. H.** Knowledge Engineering.– MG – HiiPublishing Company, New-York, 2008.– 513 p.

5. **Nonaka I., Takeuchi I.** The Knowledge-Creating Company. New York, Oxford: Oxford University Press, 2010.– 605 p.
6. **Walker C. T., Miller K. R.** Expert Systems an Assessment of Technology and Application.– Madison, 2007.– 511 p.
7. **CLIPS User's Guide/ Version 6.0.** NASA. Lyndon B. Johnson space center information systems directorate. Software Technology Branch, 1999.– 578 p.
8. **Forgy C. L.** FuzzyClips User's Manual.– Pittsburg, Pa: Carnegie-Mellon University, 2003.– 310 p.
9. **Соколовська З. М.** Експертні системи в економічних дослідженнях: Монографія.– Одеса: Астропринт, 2005.– 240 с.

УДК 004: 519.71

## НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

**БИЗЯНОВ Е. Е.**

*кандидат технических наук*

**Алчевск**

**Д**ля предприятий и фирм управление жизненным циклом собственных информационных систем (ИС) имеет особый смысл в проекции на будущее. В современных экономических условиях, характеризующихся изменчивостью внешней среды, высокой степенью неопределенности, использование для прогнозирования стохастических моделей не всегда дает адекватный результат.

С этой точки зрения предпочтительным является использование моделей, базирующихся на использовании теории нечетких множеств: нечетких продукционных, функциональных и реляционных моделей, нечетких временных рядов, нечеткой регрессии, нечетких дифференциальных и интегральных уравнений, нечетких когнитивных карт, нечетких искусственных нейронных сетей [1]. Применение той или иной разновидности нечетких моделей определяется как предметной областью, так и степенью неопределенности, наличием либо отсутствием исходных данных.

*Анализ последних достижений и публикаций* позволяет сделать вывод о том, что вопрос прогнозирования развития ИС освещен недостаточно. Развитие ИС рассматривается, как правило, в историческом аспекте, а при составлении прогнозов на будущее используются законы Мура, Макрона, Меткалфа, Ципфа и пр. [2]. Однако для владельцев, акционеров и руководства предприятия (фирмы) не представляет интереса количество транзисторов на чипе, вычислительная мощность процессоров или емкость жестких дисков серверов. Гораздо важнее для них то, как именно используются информационные системы, и какую они приносят пользу.

Значительный вклад в развитие современной теории развития экономических ИС внесли отечественные и зарубежные ученые: Ю. Г. Лысенко, В. Н. Андриенко, В. К. Галицын, Н. Н. Иванов, В. М. Порохня, Р. С. Седегов, П. Страссманн, Э. Бриниолфсон и др.

Отметим, что информационные системы управления (ИСУ) – специфический вид ИС, которые наряду с подсистемой обеспечения информацией они должны включать и подсистему принятия решений [3]. Оценить процесс развития ИСУ возможно, однозначно сформировав решаемые цели и задачи, и, что самое главное, формализовав систему оценок результатов деятельности ИСУ. При этом оценка развития должна производиться по всем подсистемам ИСУ с учетом возможностей реализации тех или иных сценариев.

*Целью* данной статьи является разработка нечеткой модели развития информационных систем управления.

Экономические системы и объекты отличаются высокой сложностью, нелинейностью, динамичностью, эргатичностью, наличием неопределенности практически на всех уровнях управления. Значительная часть методов принятия решений предполагает наличие априорного знания о поведении экономических систем и их составляющих. Такое предположение изначально является грубым, и поэтому при построении экономико-математических моделей, призванных облегчить работу лица, принимающего решение, приходится вводить ряд допущений и ограничений, которые либо сводят результаты, полученные с помощью моделей, к тривиальным, либо требуют дополнительной интерпретации.

Само понятие «развитие» предполагает динамический, изменяющийся процесс. Статические модели отражают состоявшееся прошлое, и хотя их вклад в анализ текущего состояния объекта существенен, наиболее ценным является предсказание будущего, т.е. прогнозирование, и с этой точки зрения интерес представляют динамические модели.

Как при формировании целей и задач для ИСУ, так и при описании желаемых результатов одним из наиболее сложных вопросов является выбор системы оценок (показателей). Как показано в [4], предпочтительным является отслеживание изменений, происходящих в управляющей, производственно-сбытовой, информационной и других подсистемах экономического объекта, при одновременном учете затратной составляющей.

Введем переменные, характеризующие ИСУ, для удобства объединив их в группы:

1. Количественные, отражающие количество: компьютеров (персональных, серверов, рабочих станций)  $N_{ПК}$ , автоматизированных рабочих мест  $N_{АРМ}$  пользователей ИСУ  $N_{ПД}$ , бизнес-процессов, обслуживаемых ИСУ  $N_{БП}^{ИС}$ .

2. Временные, учитывающие время: работы компьютеров  $T_{ПК}$  пользователей с компьютерами  $T_{ПК}^{ПЗ}$ .

3. Стоимостные: текущая стоимость ИСУ (основные фонды и нематериальные активы)  $C_{ИСУ}$ , затраты на содержание ИСУ  $C_{ИСУ}^{СД}$ , эксплуатационные затраты  $C_{ИСУ}^Э$ , амортизационные отчисления  $A_{ИСУ}$ , затраты на обучение персонала, работающего с ИСУ  $C_{ИСУ}^{ОБЛЕРС}$ .

4. Качественные: квалификация работников, работающих с ИСУ  $L_{ПД}^{КВ}$ .

5. Интегрированные: уровень автоматизации бизнес-процессов  $L_{БП}^{АВТ}$ , коэффициенты обновления ИСУ  $K_{ИСУ}^{ОБН}$  и персонала  $K_{ПЕРС}^{ОБН}$  [4].

Введем систему ограничений для переменных модели:

$$\begin{aligned} N_{ПК} &\geq N_{АРМ}; N_{ПД} \leq N_{ПК}; \\ T_{ПК} &\geq T_{АРМ}; T_{ПК} \geq T_{ПК}^{ПЗ}; \\ C_{ИСУ} &\geq C_{ИСУ}^{СД} + C_{ИСУ}^Э; \end{aligned} \quad (1)$$

Пусть выпуск продукции (объем оказанных услуг) предприятия за определенный период времени в стоимостном выражении составляет  $X$ , прибыль от реализации равна  $k \cdot X$ , а затраты на развитие ИСУ соответственно  $d \cdot k \cdot X$ .

Примем, что выпуск продукции предприятия растет с постоянным темпом  $\delta$ , то есть  $X(t) = X(0) \cdot e^{\delta \cdot t}$ , где  $X(0) \in \mathfrak{X}$  – начальный выпуск при  $t = 0$ , а начальная стоимость ИСУ при  $t = 0$  равна  $C_{ИСУ}(0) \in \mathfrak{X}$ .

Для оценки роста текущей стоимости ИСУ используем базовое уравнение модели Солоу, модифицировав его с учетом принятых обозначений:

$$\frac{dC_{ИСУ}}{dt} = -\mu C_{ИСУ} - A_{ИСУ} + d \cdot k \cdot X, \quad (2)$$

где  $\mu$  – доля выбывшего оборудования и нематериальных активов ИСУ.

Приняв линейный метод амортизационных отчислений, можем записать:

$$A_{ИСУ} = a_{ИСУ} \cdot C_{ИСУ}. \quad (3)$$

Примем следующий закон увеличения количества компьютеров:

$$\begin{aligned} N_{ПК}(t) &= N_{ПК}(t-1) + 1, \\ \text{если } C_{ИСУ}(t) - C_{ИСУ}(t-1) &> C_{ПК}^1, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $C_{ПК}^1$  – стоимость одного компьютера (или программы).

АРМы создаются после ввода в эксплуатацию компьютеров и программ, с некоторым лагом  $\tau_{АРМ}$ . Приняв лаг распределенным, можем записать:

$$\frac{dN_{АРМ}^*}{dt} = \frac{1}{\tau_{АРМ}} (N_{ПК}(t) - N_{АРМ}(t)), \quad (5)$$

$$N_{АРМ} = \lfloor N_{АРМ}^* \rfloor, \quad (6)$$

где  $N_{АРМ}^*$  – расчетное значение (действительное число);  $\lfloor \cdot \rfloor$  – операция округления.

Затраты на эксплуатацию ИСУ примем пропорциональными  $N_{ПК}$ :

$$C_{ИСУ}^Э = K_Э \cdot N_{ПК}, \quad (7)$$

где  $K_Э$  – коэффициент затрат на эксплуатацию единицы техники ИСУ.

Запишем предварительно зависимость квалификации персонала  $L_{ПД}^{КВ}$  от затрат на обучение  $C_{ИСУ}^{ОБЛЕРС}$ , а также зависимость затрат на содержание ИСУ  $C_{ИСУ}^{СД}$  от  $L_{ПД}^{КВ}$  следующим образом:

$$L_{ПД}^{КВ} = f_1(C_{ИСУ}^{ОБЛЕРС}, T_P^П), \quad C_{ИСУ}^{СД} = f_2(L_{ПД}^{КВ}, T_P^О), \quad (8)$$

где  $T_P^П, T_P^О$  – соответственно трудовой стаж для сотрудников и время работы для оборудования ИСУ (усредненные показатели).

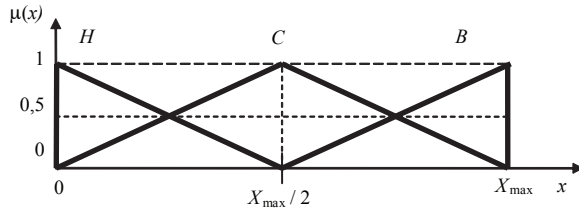
Примем, что количество бизнес-процессов, обслуживаемых ИСУ  $N_{БП}^{ИС}$ , также зависит от  $N_{ПК}$ , причем прирост происходит с лагом  $\tau_{БП}$ :

$$\frac{dN_{БП}^{ИС}}{dt} = \frac{1}{\tau_{БП}} (s_{ПК}^{БП} \cdot N_{ПК} - N_{БП}^{ИС}), \quad (9)$$

где  $s_{ПК}^{БП}$  – максимально возможное количество бизнес-процессов, обслуживаемых одним компьютером.

В (1) – (9) имеются элементы, точное значение которых в будущем сложно предсказать: выпуск  $X$ , доля прибыли  $k$ , доля средств, выделяемых из прибыли на развитие ИСУ  $d$ , стоимость единицы техники  $C_{ПК}^1$ , лаги: ввода АРМ  $\tau_{АРМ}$  и автоматизации бизнес-процессов  $\tau_{БП}$ , коэффициент эксплуатационных затрат  $K_Э$ . Их целесообразно представить треугольными нечеткими числами вида  $(L + a_L \cdot r, R - a_R \cdot r)$ , где  $L, R$  – соответственно левая и правая границы носителя нечеткого множества,  $a_L, a_R$  – коэффициенты наклона левой и правой граней функции принадлежности,  $r \in [0, 1]$  – множитель.

Так как квалификация персонала – качественный показатель, функции  $f_1(\bullet), f_2(\bullet)$  представим через лингвистические переменные. Пусть переменные  $L_{ПЛ}^{KB}$ ,  $C_{ИСУ}^{СД}$  и  $C_{ИСУ}^{ОБ.ПЕРС}$  определены на терм-множестве  $T(X) = \{\text{низкий (H); средний (C); высокий (B)}\}$ , функции принадлежности термов которого приведены на рис. 1.



**Рис. 1. Функции принадлежности терм-множества T(X)**

Здесь  $X_{\max}$  – максимально возможное значение соответствующей переменной.

Для реализации нечеткого вывода применим правила Мадмани [7]. Для  $L_{ПЛ}^{KB}$  они имеют следующий вид:

- П1: Если  $C_{ИСУ}^{ОБ.ПЕРС}$  = Низкие И  $T_P^П$  = Низкий,  
ТО  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Низкая;
- П2: Если  $C_{ИСУ}^{ОБ.ПЕРС}$  = Низкие И  $T_P^П$  = Средний,  
ТО  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Низкая;
- П3: Если  $C_{ИСУ}^{ОБ.ПЕРС}$  = Низкие И  $T_P^П$  = Высокий,  
ТО  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Средняя;
- П4: Если  $C_{ИСУ}^{ОБ.ПЕРС}$  = Средние И  $T_P^П$  = Низкий,  
ТО  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Средняя;
- П5: Если  $C_{ИСУ}^{ОБ.ПЕРС}$  = Средние И  $T_P^П$  = Средний,  
ТО  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Средняя;
- П6: Если  $C_{ИСУ}^{ОБ.ПЕРС}$  = Средние И  $T_P^П$  = Высокий,  
ТО  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Высокая;
- П7: Если  $C_{ИСУ}^{ОБ.ПЕРС}$  = Высокие И  $T_P^П$  = Низкий,  
ТО  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Средняя;
- П8: Если  $C_{ИСУ}^{ОБ.ПЕРС}$  = Высокие И  $T_P^П$  = Средний,  
ТО  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Высокая;
- П9: Если  $C_{ИСУ}^{ОБ.ПЕРС}$  = Высокие И  $T_P^П$  = Высокий,  
ТО  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Высокая.

Правила для  $C_{ИСУ}^{СД}$  представим следующим образом:

- П1: Если  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Низкая И  $T_P^O$  = Низкий,  
ТО  $C_{ИСУ}^{СД}$  = Средние;

- П2: Если  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Низкая И  $T_P^O$  = Средний,  
ТО  $C_{ИСУ}^{СД}$  = Высокие;
- П3: Если  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Низкая И  $T_P^O$  = Высокий,  
ТО  $C_{ИСУ}^{СД}$  = Высокие;
- П4: Если  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Средняя И  $T_P^O$  = Низкий,  
ТО  $C_{ИСУ}^{СД}$  = Средние;
- П5: Если  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Средняя И  $T_P^O$  = Средний,  
ТО  $C_{ИСУ}^{СД}$  = Средние;
- П6: Если  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Средняя И  $T_P^O$  = Высокий,  
ТО  $C_{ИСУ}^{СД}$  = Высокие;
- П7: Если  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Высокая И  $T_P^O$  = Низкий,  
ТО  $C_{ИСУ}^{СД}$  = Низкие;
- П8: Если  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Высокая И  $T_P^O$  = Средний,  
ТО  $C_{ИСУ}^{СД}$  = Низкие;
- П9: Если  $L_{ПЛ}^{KB}$  = Высокая И  $T_P^O$  = Высокий,  
ТО  $C_{ИСУ}^{СД}$  = Средние.

С учетом принятых обозначений и допущений, окончательно уравнения модели примут следующий вид:

$$\frac{d \tilde{C}_{ИСУ}}{dt} = - \left( \tilde{\mu} + \tilde{a}_{ИСУ} \right) \tilde{C}_{ИСУ} + \tilde{d} \cdot \tilde{k} \cdot X(0) \cdot e^{\tilde{\delta} \cdot t}, \quad (12)$$

$$\tilde{N}_{ПК}(t) = \tilde{N}_{ПК}(t-1) + 1, \quad (13)$$

если  $\tilde{C}_{ИСУ}(t) - \tilde{C}_{ИСУ}(t-1) > \tilde{C}_{ПК}^1$ ,

$$\frac{d \tilde{N}_{АРМ}^*}{dt} = \frac{1}{\tilde{\tau}_{АРМ}} \left( \tilde{N}_{ПК}(t) - \tilde{N}_{АРМ}(t) \right), \quad (14)$$

$$\tilde{N}_{АРМ} = \left] N_{АРМ}^* \left[ , \quad \tilde{C}_{ИСУ}^{\tilde{\varepsilon}} = \tilde{K} \tilde{\varepsilon} \cdot \tilde{N}_{ПК}, \quad (15)$$

$$\frac{d \tilde{N}_{БП}^{ИС}}{dt} = \frac{1}{\tilde{\tau}_{БП}} (s_{ПК}^{БП} \cdot \tilde{N}_{ПК} - \tilde{N}_{БП}^{ИС}). \quad (16)$$

Расчет по приведенным формулам следует производить следующим образом. Сначала определяются начальные условия для решения дифференциальных уравнений (12), (14), (16), производится экспертная оценка параметров модели, представленных треугольными нечеткими числами. Полученные от экспертов оценки усредняются для дальнейшего использования в модели. Далее последовательно, в цикле, производится расчет по формулам (12) – (16) с учетом ограничений (1) и

правил (10), (11). Решение нечетких дифференциальных уравнений можно произвести, например, с использованием классических методов [5] или нечеткого преобразования Лапласа [7]. По результатам расчетов строят таблицы и графики в виде диапазонов значений.

## ВЫВОДЫ

В условиях неопределенности для прогнозирования развития информационных систем управления целесообразно использовать инструменты теории нечетких множеств. Предложенная нечеткая динамическая модель позволяет оценить динамику развития ИСУ в диапазоне возможных значений переменных (параметров модели) и, таким образом, предсказать будущее состояния ИСУ. ■

## ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С. Нечеткие модели и сети.– М. : Горячая линия-Телеком, 2007.– 284 с.

2. Информационные технологии : учебник / Под ред. В. В. Трофимова.– М. : Издательство Юрайт ; ИД Юрайт, 2011.– 624 с. – (Основы наук).

3. Энциклопедия кибернетики : [в 2 т.] / [редкол.: В. М. Глушков (отв. ред.) и др.]– К. : Гл. ред. Украинской Советской Энциклопедии, 1974.

4. Бізнянов Є. Є. Економетричні моделі економічної ефективності інформаційних систем / Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля.– 2011.– № 2(156). Частина 1.– С. 23 – 27.

5. Batyrshin I. (2003). Perception based functions with boundary conditions.– [Электронный ресурс].– Режим доступа : [http://www.eusflat.org/publications/proceedings/EUSFLAT\\_2003/papers/06Batyrshin2.pdf](http://www.eusflat.org/publications/proceedings/EUSFLAT_2003/papers/06Batyrshin2.pdf)

6. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат; Пер. с англ.– М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011.– 798 с. (Адаптивные и интеллектуальные системы).

7. Fuzzy Laplace Transform on Two Order Derivative and Solving Fuzzy Two Order Differential Equations. S.J. Ramazannia Tolouti, M. Barkhordari Ahmadi/ Int. J. Industrial Mathematics. Vol. 2, No. 4 (2010) 279 – 293.

УДК 330

# УЧЕТ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ В НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

БРОДСКИЙ Ю. Б.

ТИМОНИН Ю. А.

Житомир

ТИМОНИН А. Ю.

кандидат технических наук

Санкт-Петербург (Россия)

Модели экономического роста обоснованно отнесены к основному классу моделей математической экономики. Если в области макроэкономики применяют модели Кобба – Дугласа, Харрода – Домара, Солоу, Неймана и др., то в области микроэкономики модели роста ограничены производственными функциями [1, 2, 3 и др.]. Развитие моделей экономического роста можно связать, в частности, с учетом факторов, которые приводят к потерям и снижению темпов роста. Если рассматривать экономический рост предприятия за счет капитализации прибыли, то к потерям следует отнести налоги, процентные платежи, дивиденды и другие факторы. Попытки учета потерь в известных моделях роста наталкиваются на ряд принципиальных трудностей, связанных с согласованием базовых переменных модели и переменных, которые описывают потери. Поэтому формирование моделей экономического роста с учетом потерь представляет актуальную проблему, в первую очередь, для объектов микроэкономики.

Перспективной, с точки зрения учета потерь, можно считать концептуальную модель экономических систем (ЭС) [4]. Эта модель получена теоретическим путем из формальных законов ЭС, которые описывают рост стоимости в базе переменных: стоимость, стоимостный потенциал. В работах [5 – 7] показаны результаты детализации, концептуальной модели и связь параметров модели с отчетной информацией. Однако в этих работах недостаточное внимание уделено методологии учета дифференциальных потерь, которая важна для обоснования метода экономико-физических аналогий. В статье рассматривается метод учета дифференциальных потерь в концептуальной модели и его применение для формирования общего уравнения роста стоимости.

Объектом исследований является концептуальная модель ЭС [4] в виде неоднородного дифференциального уравнения первого порядка (ДУ-1)

$$X' = \varphi X + v. \quad (1)$$

Концептуальная модель ЭС получена путем объединения уравнений целостности  $x = v + y$  и доходности  $y = \varphi \int x dt$ , где  $x = X' = \frac{dX}{dt}$ ,  $v = V' = \frac{dV}{dt}$ ,  $y = Y' = \frac{dY}{dt}$  – соответственно потоки полной, основной и дополнительной стоимости;  $\varphi$  – стоимостный потенциал.

Для моделирования экономических потерь воспользуемся аналогией с моделями математической физики, которые, по сути, описывают потери энергии