

## МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 658.003;62-50

### ФОРМАЛИЗАЦІЯ ЗНАНИЙ РАСПОЗНАВАНИЯ СИТУАЦИЙ В СИСТЕМАХ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ

### FORMALIZATION OF SITUATION RECOGNITION KNOWLEDGE IN ADAPTIVE MANAGEMENT SYSTEMS OF ENTERPRISE COMPETITIVENESS

**Бобыр Е.И.**

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры экономической кибернетики,  
Новокаховский политехнический институт

**Лещенко Е.В.**

кандидат экономических наук,  
ФЛП

**Bobir Evgeniy**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Professor of the Economic Cybernetics Department,  
Novokakhovsky Polytechnic Institute

**Leshchenko Olena**

PhD in Economics Sciences,  
PE

*В статье разработаны средства формализации знаний распознавания ситуаций в системах адаптивного управления конкурентоспособностью предприятий. Определено понятие события в системе управления конкурентоспособностью. Реализована формализация логико-аналитических задач процесса организации распознавания событий в системе за счет отнесения их к классу эталонных событий, сформированного на этапе планирования задач распознавания, и последующего определения количественных и качественных характеристик этих событий экспертами. Рассмотрены средства формализации и правила определения признаков информации для решения логико-аналитических задач распознавания. На основе математического аппарата теории нечетких множеств рассмотрены и систематизированы этапы оценивания текущих событий на предприятии и потребительском рынке в условиях неопределенности и неполноты априорной информации при принятии решений в системах управления конкурентоспособностью.*

**Ключевые слова:** неопределенность, неполнота информации, конкурентоспособность предприятия, эффективность управления, адаптация, формализация знаний.

*У статті розроблені засоби формалізації знань розпізнавання ситуацій в системах адаптивного управління конкурентоспроможністю підприємств. Визначено поняття події в системі управління конкурентоспроможністю. Реалізовано формалізацію логіко-аналітичних задач процесу організації розпізнавання подій в системі за рахунок віднесення їх до класу еталонних подій, сформованого на етапі планування задач розпізнавання, й подальшого визначення кількісних та якісних характеристик цих подій експертами. Розглянуто засоби формалізації та правила визначення ознакової інформації для вирішення логіко-аналітичних задач розпізнавання. На основі математичного апарату теорії нечітких множин розглянуто й систематизовано етапи оцінювання поточних подій на підприємстві та споживчому ринку в умовах невизначеності та неповноти априорної інформації під час прийняття рішень в системах управління конкурентоспроможністю.*

**Ключові слова:** невизначеність, неповнота інформації, конкурентоспроможність підприємства, ефективність управління, адаптація, формалізація знань.

*The goals of any enterprise are to achieve high work efficiency, increase profitability and gain a real competitive advantage. Timely making the right decisions when the economic situation changes are one of the main problems in enterprise management. To manage means to set specific goals that form the management cycle, plan, analyze the results, compare them with the goals, identify the causes of deviations and make decisions that eliminate these causes. The adoption of management decisions is associated primarily with the task of choosing the best solution in the context of incomplete information, the inability to accurately calculate and analyze everything, as well as the multiplicity of opinions about goals, criteria and their preferences. The state of the external environment changes constantly, and the conditions of vital activity of any system, despite a certain degree of repeatability and cyclical nature of events, are still unique. Thus, it becomes obvious that decisions on technology change, marketing activities, pricing, credit policy, etc. should be taken as often as required by changes in the external and internal environment. When there is no information about the possible consequences of choosing one or another option, uncertainty becomes an integral part of decision-making processes in the enterprise management. In this regard, in competitiveness management arises, the need to base on an adaptive approach, which involves reducing the initial uncertainty due to the use of information obtained in the management process. At the same time, means of formalizing knowledge about the processes of recognition of situations in competitiveness management systems should be presented as analytical mathematical models of different levels. These analytical models must meet the requirements of knowledge representation in specific subject areas of the recognition and control process. They should allow simply enough to carry out both the composition and the decomposition of individual parts of the knowledge base that underlies the means of recognizing situations. Therefore, such models are most easily implemented on the mathematical apparatus of the theory of fuzzy sets. Taking into account the uncertainty in production and consumption allows for a more meaningful consideration of the correlation of current consumption, logistics and product savings, and thereby building a more adequate to real processes models of production and marketing of products in the consumer market.*

**Key words:** *uncertainty, incomplete information, enterprise competitiveness, management efficiency, adaptation, knowledge formalization.*

**Постановка проблеми.** В настоящее время существенно возросла роль фактора неопределенности и неполноты априорной информации при принятии решений в системах управления производством продукции и конкурентоспособностью предприятий (КСП). В связи с этим при управлении КСП возникает необходимость основываться на адаптивном подходе, который предполагает снижение первоначальной неопределенности благодаря использованию информации, получаемой в процессе управления.

При этом средства формализации знаний о процессах распознавания ситуаций в системах управления КСП должны быть представлены в виде аналитических математических моделей разных уровней [7; 8]. Эти аналитические модели должны соответствовать требованиям представления знаний по конкретным предметным областям процесса распознавания и управления. Они должны позволять достаточно просто осуществлять как композицию (укрупнение), так и декомпозицию (детализацию) отдельных частей базы знаний, лежащей в основе средств распознавания ситуаций, поэтому такие модели легче всего реализуются на математическом аппарате теории нечетких множеств.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Ученые, занимающиеся проблемами неопределенности в экономике и адаптивным управлением, такие как Н.А. Кизим, Т.С. Клебанова [1], Е.А. Кузьмин [2], в своих исследованиях показали, что случайность в экономике проявляется через производственные технологии, цены, ресурсы, спрос на производимые товары, услуги и т. д. Все эти неопределенности должны

быть учтены при формировании цен предприятия, особенно при расчете его конкурентоспособности, так как известно, что в условиях рыночных отношений она является инструментом, помогающим достичь определенных целей предприятию, функционирующему в реальном времени. Учет стохастичности в производстве и потреблении позволяет более содержательно рассматривать соотношение текущего потребления, логистики и сбережения продукта, благодаря чему можно строить более адекватные реальным процессам модели производства и сбыта продукции на потребительском рынке.

Формулирование целей статьи (**постановка задания**). С учетом актуальности определенной проблемы целью статьи является усовершенствование средств формализации знаний распознавания ситуаций в моделях систем адаптивного оперативно-тактического управления конкурентоспособностью предприятий.

**Изложение основного материала исследования.** Под событием в системе управления КСП будем понимать мгновенное изменение некоторых характеристик процесса управления в результате действий менеджмента предприятия, самой системы управления, влияния внешних факторов или естественной эволюции [5].

Процесс оценивания вариантов действий системы управления КСП может быть сведен к распознаванию и оценке множества событий, происходящих в разные моменты времени; определению их количественных и качественных характеристик; сравнению характеристик этих событий с теми, что были выделены на этапе планирования управляющих действий менеджментом предприятия.

Нижче розробтані средства формалізації знань розпознавання ситуацій в системах управління КСП с помощью аппарата теории нечетких множеств.

Процесс распознавания при соответствующей декомпозиции может быть разбит на расчетные, поисковые и логико-аналитические задачи [6].

Расчетные задачи в общем случае могут быть сведены к определению значений некоторого функционала  $F\{f_1(x_1, \dots, x_n), f_2(y_1, \dots, y_m), \dots, f_k(z_1, \dots, z_p)\}$ , реализующего расчеты в соответствии с целью задачи управления (поддержание КСП на рынке выше, чем у конкурентов).

Поисковые задачи сводятся к реализации процедуры поиска необходимой информации для решения управления конкурентоспособностью предприятия в базах данных систем распознавания и управления КСП.

Формализацию логико-аналитических задач процесса организации распознавания в этих системах будем осуществлять за счет отнесения распознаваемых текущих событий к классу эталонных событий, сформированного на этапе планирования задач распознавания, и последующего определения количественных и качественных характеристик этих событий экспертами.

Оценивание текущих событий на предприятии и потребительском рынке может быть разбито на такие этапы:

- 1) интерпретация значений текущих признаков событий;
- 2) интерпретация событий, составленных на основе описаний признаков;
- 3) определение количественных и качественных характеристик событий и вариантов действий при распознавании.

Первый этап предполагает определение степени близости экспертного и текущего описания признаков. Эта процедура в нашем случае различна для количественных и качественных признаков. Для количественных признаков это степень близости  $v_n(x_m)$  экспертного  $\mu_n(x_m)$  и текущего  $\mu_{\text{мек}}(x_m)$  распределений их значений,  $v_n(x_m) = \inf\{\mu_n(x_m), \mu_{\text{мек}}(x_m)\}$ ; для качественных – экспертное значение функции принадлежности события к некоторому классу  $\pi_n(x_m)$  по значению качественного признака  $x_m$ .

Интерпретация событий (второй этап) предполагает свертку частных значений степени близости текущего и экспертного распределений значений признаков, полученных на предыдущем этапе:

$$\begin{cases} v_{A \cap B}(x_m) = \min\{v_A(x_m), v_B(x_m)\} \\ v_{A \cup B}(x_m) = \max\{v_A(x_m), v_B(x_m)\} \end{cases}'$$

где  $v_A(x_m)$ ,  $v_B(x_m)$  – частные значения степени близости эталонного экспертного и текущего значений признака  $x_m$ .

Здесь под классом будем понимать произвольную совокупность событий (объектов), характеризующихся каким-либо набором общих свойств или признаков [3; 4].

Под алфавитом классов  $A = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$  будем понимать непересекающиеся подмножества классов, описывающие то или иное событие в процессе распознавания, где  $n$  – количество классов в алфавите.

Оценка степени близости  $\Phi(k_n^r)$  анализируемого события к  $n$ -му классу алфавита определяется по наибольшему значению функции принадлежности интерпретированных событий для каждого из классов [5]:

$$\Phi(k_n^r) = \max_{\forall i \in I_n} \left[ \min_{\forall k \in K_n} \{v_n^r(x_{ik})\}, \min_{\forall s \in S_n} \{\pi_n^r(x_{is})\} \right],$$

где  $n$  – порядковый номер класса в соответствующем алфавите событий;  $k$  – порядковый номер количественного признака;  $K_n$  – количество номеров количественных признаков  $n$ -го класса;  $s$  – порядковый номер качественного признака;  $S_n$  – количество номеров количественных признаков  $n$ -го класса;  $i$  – порядковый номер группы признаков;  $I_n$  – количество групп признаков для описания  $n$ -го класса.

Для принятия решения о классе события будем использовать правило наибольшего значения функции возможности отнесения событий к классам [5]:

$$k_n = \operatorname{argmax}_{\forall k_n} (\Phi(k_n) / \Phi(k_n) > \delta_{\text{пор}}),$$

где  $k_n$  – класс с максимальным значением меры возможности;  $\delta_{\text{пор}}$  – пороговое значение, выбираемое в зависимости от различимости классов алфавита.

Третий этап оценивания событий предполагает реализацию процедур поиска и расчета с целью определения количественных и качественных характеристик распознанных событий.

Учитывая требования к формализации разнородных, неточных и неполных знаний, формальное описание классов будем осуществлять методами, основанными на положениях теории нечетких мер и множеств.

В работе [5] всю совокупность признаков ситуаций (объектов) проблемной области (ПрО) предложено разделить на количественные и качественные. При этом под количественными понимаются те признаки, для которых возможно введение метрики на множество допустимых значений, позволяющих дать количественную оценку тому или иному значению признака. Под качественными признаками понимаются признаки, определяющие семантическое описание свойств ситуаций, сложившихся в проблемной области. К таким признакам относятся, например, признаки, описывающие содержание источников информации распознавания.

Рассмотрим средства формализации и правила определения признаковой информации

для решения логико-аналитических задач распознавания событий.

Определение вариантов действий при распознавании может быть сведено к оцениванию соответствия между выделенным на этапе планирования множеством событий  $S_i^n$  и реально складывающимися событиями  $S_i^m$ . Решение этой задачи на начальном этапе предполагает определение степени соответствия эталонных и текущих значений признаков. Для этого необходимо:

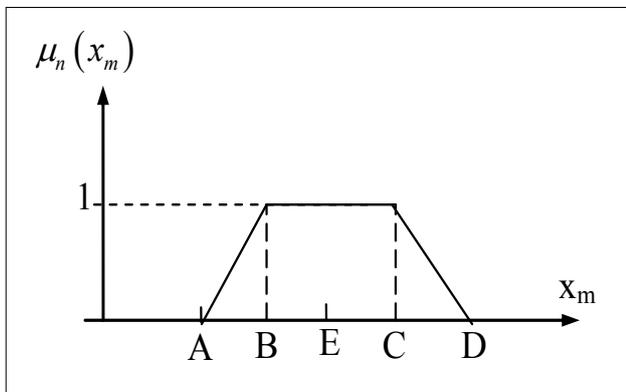
- формально представить значения эталонной и текущей признаковой информации;
- определить правила сравнения (соответствия) значений эталонных и текущих признаков для распознавания событий, выделенных на этапе планирования.

Учитывая принятый подход к определению классов событий, считаем, что целесообразно ввести некоторую функцию, характеризующую информативность признаков. В качестве такой функции для количественных признаков выберем функцию принадлежности  $\mu_n(x_m)$  с областью определения на интервале от 0 до 1 и характеризующую закономерности проявления значений признака  $x_m$  при описании  $n$ -го класса процесса распознавания [3–5].

В работах [1; 5] для формального описания количественных признаков факторов распознавания обосновано использование нечетких интервалов. Так, нечеткий LR-интервал может быть описан выражением:

$$\mu_n(x_m) = \langle A, B, C, D \rangle,$$

где  $B, C$  – нижнее и верхнее модальные значения признака (границы ядра нечеткого множества с наиболее возможным значением признака);  $A, D$  – левый и правый коэффициенты нечеткости (наименьшее и наибольшее значения признака). Графическая иллюстрация структуры нечеткого LR-интервала представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Графическая иллюстрация к формальному представлению количественных признаков с использованием нечеткого LR-интервала

Аналитически функцию  $\mu_n(x_m)$  можно записать в таком виде:

$$\mu_n(x_m) = \begin{cases} 0, & \text{если } E_m \leq A; \\ \frac{E_m - A}{B - A}, & \text{если } A < E_m < B; \\ 1, & \text{если } B < E_m < C; \\ \frac{E_m - D}{D - C}, & \text{если } C < E_m < D; \\ 0, & \text{если } E_m \geq D, \end{cases}$$

где  $E_m$  – оценка значения признака  $x_m$ .

Формализованное описание качественных признаков может быть представлено функцией возможности  $\pi_n(x_m)$  с областью определения на интервале от 0 до 1, определяющей степень возможности отнесения объекта (события) к  $n$ -му классу алфавита по значению признака  $x_m$  [1; 4; 5].

Рассмотрим процесс формализации количественных и качественных признаков факторов, поступающих от источников информации (системы и менеджеров предприятия).

Текущие количественные данные с нестохастической неопределенностью могут представлять собой понятия естественного языка о значении количественного признака (например, объем продаж  $i$ -го продукта).

Оценку значений количественного признака с нестохастической неопределенностью можно представить в виде лингвистической переменной, которая задается набором из трех компонент [5; 6]:

$$\langle Id, X, R(Y, x) \rangle,$$

где  $Id$  – имя признака,  $X$  – множество допустимых значений признака,  $R(Y, x)$  – нечеткое множество, определенное на множестве  $X$  и представляющее собой нечеткое ограничение на числовую оценку значения признака  $x$ , обусловленное лингвистической характеристикой  $Y$ .

Параметры LR-интервалов определим таким образом:

$$A = k_A(Y) \cdot |x|,$$

$$B = x + k_B(Y) \cdot |x|,$$

$$C = x + k_C(Y) \cdot |x|,$$

$$D = k_D(Y) \cdot |x|,$$

где  $|x|$  – мощность множества  $X$ ;  $k_A, k_B, k_C, k_D$  – числа из интервала от -1 до 1, характеризующие процентную часть  $|x|$  для каждой лингвистической характеристики  $Y$ .

Таким образом, формализация знаний о закономерностях проявления значений количественных признаков может быть сведена к построению нечетких LR-интервалов множества допустимых значений признаков для каждого класса.

Эталонные качественные данные  $X_3^{кач}$  формируются экспертами и могут быть представлены выражением такого вида:

$$X_3^{кач} = \pi_n(x_m),$$

где  $\pi_n(x_m)$  – субъективная мера возможности гипотезы о том, что наблюдаемая ситуация относится к  $n$ -му классу по значению признака  $X_m$ .

Сопоставление оценки значения текущих признаков с экспертным формализованным описанием для определения его информативности может быть выполнено посредством сравнения двух соответствующих нечетких множеств.

Формально процедура такого оценивания соответствует операции пересечения двух нечетких множеств и может быть представлена таким выражением:

$$v(x_m) = \mu_3(x_m) \cap \mu_{мек}(x_m),$$

где  $v(x_m)$  – оценка степени близости текущего  $\mu_{мек}(x_m)$  и эталонного  $\mu_3(x_m)$  распределения значений признака  $x_m$ .

На основе сопоставления оценки значения текущего признака  $E_m$  с его экспертным описанием  $x_m^3$  осуществляется оценивание многозначной степени истинности  $v(E_m, x_m^3)$  для описания соответствующего класса ситуации. Результатом такого оценивания является значение степени истинности, определенное на интервале от 0 до 1. Под степенью истинности признака будем понимать степень подтверждения полученной оценкой значения признака  $E_m$  экспертного описания закономерностей проявления значений этого признака  $x_m^3$  при описании некоторого класса  $k_n$ .

Оценивание степени истинности  $v_n(X_m)$  количественного признака в соответствии с полученной оценкой его значения  $E_m$  осуществляется путем определения степени принадлежности этой оценки к нечеткому множеству описания закономерностей проявления значений этого признака  $\mu_n(E_m)$ , полученного экспертным путем (рис. 2).

$$v_n(X_m) = \inf(\mu_n(X_m), \mu_{мек}(X_m)).$$

Полученное значение  $v_n(X_m)$  можно считать оценкой степени истинности (информативности) признака при описании  $n$ -го класса.

Поскольку значение функции  $\mu(x_m) \in [0,1]$ , то можно записать такое правило определения значения  $v_n(X_m)$ , где  $a_1, a_2, b_1, b_2, d_1, d_2, c_1, c_2$  – соответствующие размеры интервалов:

$$v_n(X_m) = \begin{cases} 1, & \text{если } Y \geq 1; \\ 0, & \text{если } Y \leq 0; \\ Y = \frac{d_1 - a_2}{(b_2 - a_2 + d_1 - c_1)}, & \text{если } A_1 < A_2; \\ Y = \frac{c_2 - a_1}{b_2 - a_1 + d_1 - c_1}, & \text{если } A_1 > A_2 \end{cases}$$

Оценка степени истинности отнесения объекта к конкретному классу в соответствии с полученной оценкой значения качественного признака  $E_m$  будет равна экспертному значению возможности этого признака при описании  $n$ -го класса  $\pi_n(x_m)$ .

Таким образом, для идентификации разнородных, неточных и неполных знаний текущих событий процесса управления конкурентоспособностью предприятий предлагается использовать методы экспертного распознавания на основе теории нечетких множеств.

**Выводы.** Принятие решений в системах управления производством продукции и конкурентоспособностью предприятий в условиях неопределенности и неполноты априорной информации должно основываться на вероятностном подходе с целью уменьшения неопределенности и повышения надежности этих решений.

Итак, вышеприведенные правила определения истинности признаковой информации факторов управления могут служить исходными посылками для разработки экономических информационно-логических моделей знаний факторов процесса управления производством продукции и конкурентоспособностью предприятий, определения классов событий и их количественных и качественных характеристик.

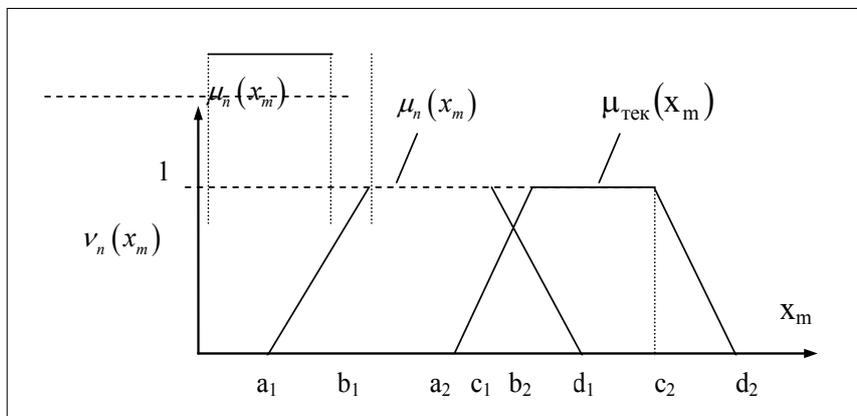


Рис. 2. Графическая иллюстрация определения степени истинности признака при отнесении объекта к конкретному классу

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:**

1. Адаптивные модели в системах принятия решений : монография / под ред. Н.А. Кизима, Т.С. Клебановой. Харьков : «ИНЖЭК», 2007. 368 с.
2. Кузьмин Е.А. Проблема неопределенности как научной категории. *Стратегические решения и риск-менеджмент*. 2014. № 3. С. 90–100.
3. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. Москва : Наука, 1988.
4. Моисеев В.Б. Представление знаний в интеллектуальных системах. *Информатика и образование*. 2003. № 2. С. 84–92.
5. Низиенко Б.И., Затхей В.А. Использование функциональных сетей для формализации начальных условий в открытых экспертных системах. *Экспертные оценки элементов учебного процесса : тезисы докладов*. Харьков : Народная Украинская Академия, 2000. С. 64–66.
6. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. Москва : Высшая школа, 1989. 321 с.
7. Тимофеев В.А., Лещенко Е.В. Модель оперативной оценки конкурентоспособности предприятия. *Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії та практики*. 2016. Вып. 1 (20). С. 96–105.
8. Лещенко Е.В. Адаптивная система оценки конкурентоспособности предприятия при оперативно-тактическом управлении. *Вдосконалення економіки та фінансової системи країни: актуальні проблеми та перспективи*. 2018. Ч. 2. С. 103–105.