

УДК 65.011:519.816

Ю. М. ПАНОЧИШИН, О. М. ВІЛЬЧИНСЬКА

Вінницький навчально-науковий інститут економіки Тернопільського національного економічного університету

## ОЦІНЮВАННЯ СТРАТЕГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ЗАСОБАМИ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН І НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

*У статті описано математичну модель оцінювання стратегічної стійкості підприємств на основі нечітких множин і нечіткої логіки, яка адекватно формалізує експертні знання про зв'язок різних оціночних показників з рівнем стратегічної стійкості, має гнучку структуру та високу адаптивну здатність, що в сукупності забезпечує високу адекватність оцінювання стратегічної стійкості підприємств.*

*Ключові слова: підприємство, стратегічна стійкість, оцінювання, нечітка множина, нечітка логіка.*

Y. M. PANOCHYSHYN, O. M. VILCHYNSKA

Vinnytsia Educational and Scientific Institute of Economics of Ternopil National Economic University

## ESTIMATION OF STRATEGIC STABILITY OF ENTERPRISES BY MATHEMATICAL APPARATUS OF FUZZY SETS THEORY AND FUZZY LOGIC

*The article describes a mathematical model of estimation of enterprises' strategic stability based on fuzzy sets and fuzzy logic, which adequately formalizes the expert knowledge about the interrelation of different assessment indicators with the level of strategic stability and has a flexible structure and high adaptation ability. All in all, it provides high adequacy of estimation of enterprises' strategic stability.*

*Keywords: enterprise, strategic stability, estimation, fuzzy set, fuzzy logic.*

**Постановка проблеми.** Будь-яке підприємство у процесі своєї господарської діяльності переслідує певну мету. В різні періоди діяльності підприємства такою метою може бути максимізація прибутку або мінімізація збитку, утримання існуючих або завоювання нових ринків збуту, розширення асортименту товарів чи переліку надаваних послуг, оптимізація витрат, технологічна модернізація та підвищення якості продукції, підтримка і розвиток кадрового потенціалу, підвищення продуктивності праці тощо. Однак, якою б не була поточна мета діяльності, у довгостроковій перспективі будь-яке підприємство намагається досягти такого стану, при якому мінімізується негативний вплив зовнішнього середовища і водночас максимально розкривається внутрішній потенціал підприємства, іншими словами, такого стану, за якого забезпечується максимальний рівень стратегічної стійкості підприємства. Особливої гостроти питання стратегічної стійкості набуває сьогодні, коли економіка України перебуває у кризовому стані, що спричиняє деструктивний вплив на розвиток вітчизняних підприємств і часто ставить їх на межу банкрутства. Відповідно наукові дослідження, присвячені проблематиці стратегічної стійкості підприємств, у тому числі питанням її адекватного оцінювання, наразі є одними з найбільш пріоритетних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теоретичним і практичним аспектам стратегічної стійкості підприємств приділяють увагу багато дослідників, серед вітчизняних це, зокрема Ареф'єва О.В. і Городинська Д.М. [1–3], Галушко В.Б. [4], Дуброва О.С. [5], Крисько Ж. [6], Маслак О.І. і Мовчан І.В. [7], Мохонько Г.А. [8–10], Шандова Н.В. [11], Шпак М.М. [12] та інші. У їхніх публікаціях розкрито сутність поняття "стратегічна стійкість підприємства", охарактеризовано основні складові та виділено і описано рівні стратегічної стійкості, встановлено зовнішні й внутрішні фактори, які впливають на стійкість розвитку підприємств, розроблено методи, моделі та методики оцінювання і прогнозування рівня стратегічної стійкості, запропоновано комплекс заходів і механізмів її забезпечення тощо.

**Виділення невирішених раніше частин проблеми.** Однак не дивлячись на значний інтерес до проблематики стратегічної стійкості підприємств і значну кількість доробок, в цій області все ще залишається простір для наукових досліджень. Так, на нашу думку, існуючі моделі оцінювання стратегічної стійкості підприємств мають недостатню адекватність. У більшості з них рівень стратегічної стійкості пропонується оцінювати з допомогою інтегрального показника, який обчислюється як зважена сума частинних показників, які, у свою чергу, представляють собою оцінки окремих складових стратегічної стійкості і також обчислюються як зважені суми деяких оціночних показників. При цьому оскільки вихідні показники мають різний тип, масштаб та одиниці оцінювання і в такому вигляді їх важко поєднати в рамках однієї моделі, то дослідники вимушено йдуть на певні спрощення: нехтують окремими показниками, які з їхньої точки зору є малозначущими, вводять певні коефіцієнти для приведення показників до спільного масштабу, здійснюють заміну якісних показників кількісними для приведення їх до одного типу, штучно спрощують характер зв'язків між показниками, що, звичайно, ж знижує адекватність моделі. Окремі дослідники асоціюють стратегічну стійкість підприємств виключно з їхньою фінансовою стійкістю, взагалі не враховуючи інші складові, і відповідно включають у модель оцінювання лише показники фінансової стійкості. Іноді для оцінки стратегічної стійкості вихідні показники не об'єднують в одну модель, а

порівнюють їх один з одним або з певними нормативними значеннями, визначаючи таким чином рівень стратегічної стійкості підприємств.

**Мета дослідження** полягає у підвищенні адекватності оцінювання стратегічної стійкості підприємств шляхом розробки математичної моделі на основі нечітких множин і нечіткої логіки.

**Результати дослідження.** Моделі, побудовані за допомогою нечіткого математичного апарату, мають певні переваги над моделями, створеними в рамках класичних підходів до моделювання. Так, нечіткі моделі можуть формалізувати залежності практично будь-якої складності, причому навіть у тих випадках, коли з допомогою класичних методів моделювання такі залежності отримати не вдається або ж їх адекватність виявляється неприйнятною. Крім того, в них можна поєднувати показники різних типів – кількісні і якісні, неперервні і дискретні, що особливо актуально для складних систем, до яких безперечно відносяться й економічні. Нечіткі моделі достатньо гнучкі – за необхідності в них можна вводити додаткові параметри, не змінюючи кардинально структуру самої моделі. Насамкінець, нечіткі моделі мають високу адаптивну здатність – їх параметри за допомогою процедури оптимізації можна налаштовувати так, щоб досягалася максимальна відповідність між модельними результатами і результатами, отриманими експериментальним або експертним шляхом. Нечіткий підхід до моделювання економічних систем був використаний в авторських дослідженнях [13–15 та ін.], довів свою ефективність і пройшов практичну перевірку.

Для побудови математичної моделі на основі нечітких множин і нечіткої логіки слід покроково розв'язати такі задачі [16]: виділити параметри, які характеризують досліджувану систему, і в загальному вигляді формалізувати залежності між ними; визначити і формалізувати лінгвістичні оцінки виділених параметрів; побудувати нечітку базу знань про залежності між параметрами; використовуючи формалізовані лінгвістичні оцінки і нечітку базу знань, вивести нечіткі логічні рівняння; розробити алгоритм нечіткого логічного висновку; налаштувати параметри нечіткої моделі за допомогою навчальної вибірки даних.

Отже, відповідно до означеної методики спочатку слід виділити вхідні (незалежні) та вихідні (залежні) параметри майбутньої нечіткої моделі оцінювання стратегічної стійкості підприємств. Очевидно, що в якості вихідного параметра моделі виступатиме рівень стратегічної стійкості. Що стосується вхідних параметрів моделі, то тут не все так однозначно. Стратегічна стійкість підприємств є інтегральним поняттям і включає кілька складових. На сьогоднішній день не існує їх усталеної класифікації, однак більшість дослідників вважають, що найвагомішими складовими стратегічної стійкості підприємств є фінансова, виробнича, маркетингова і кадрова стійкість. Погоджуючись з цією думкою, зв'язок між стратегічною стійкістю та її складовими подамо в такому узагальненому вигляді:

$$ССП = f_{ССП}(ФСП, ВСП, МСП, КСП), \quad (1)$$

де  $ССП$  – рівень стратегічної стійкості підприємств;  $ФСП$ ,  $ВСП$ ,  $МСП$ ,  $КСП$  – відповідно рівень фінансової, виробничої, маркетингової і кадрової стійкості підприємств.

У свою чергу, кожна складова стратегічної стійкості також є інтегральним поняттям, і для оцінки їх рівня кожен дослідник пропонує використовувати свій перелік показників. Так, наприклад, в [3] фінансову стійкість пропонують оцінювати на основі коефіцієнта фінансової автономії, коефіцієнта фінансової залежності, коефіцієнта фінансового ризику і т.п., виробничу стійкість – на основі рентабельності виробництва, рентабельності продукції, фондівіддачі і т.п., маркетингову стійкість – на основі рентабельності продажів, темпів зростання обсягів продажів, співвідношення витрат на маркетингові дослідження до обсягів продажів і т.п., кадрову стійкість – на основі коефіцієнта плинності кадрів, рівня освіти працюючих, рівня забезпеченості працюючих соціальним пакетом і т.п. Звичайно, перелік оціночних показників складових стратегічної стійкості може бути й дещо іншим, але така систематизація виходить за рамки нашого дослідження. Більше того, для нечітких моделей це не має принципового значення: як уже зазначалося, при потребі в них ввести додаткові чи вивести зайві параметри, при цьому доведеться змінити нечітку базу знань, а структура моделі залишиться незмінною. Враховуючи це, зв'язок складових стратегічної стійкості підприємств з відповідними їм оціночними показниками подамо в такому узагальненому вигляді:

$$ФСП = f_{ФСП}(ФСП_1, \dots, ФСП_i, \dots, ФСП_p), \quad (2)$$

$$ВСП = f_{ВСП}(ВСП_1, \dots, ВСП_i, \dots, ВСП_r), \quad (3)$$

$$МСП = f_{МСП}(МСП_1, \dots, МСП_i, \dots, МСП_s), \quad (4)$$

$$КСП = f_{КСП}(КСП_1, \dots, КСП_i, \dots, КСП_t), \quad (5)$$

де  $ФСП$ ,  $ВСП$ ,  $МСП$ ,  $КСП$  – рівень фінансової, виробничої, маркетингової і кадрової стійкості підприємств відповідно;  $ФСП_1, \dots, ФСП_i, \dots, ФСП_p$  – показники фінансової стійкості підприємств;  $ВСП_1, \dots, ВСП_i, \dots, ВСП_r$  – показники виробничої стійкості підприємств;  $МСП_1, \dots, МСП_i, \dots, МСП_s$  – показники маркетингової стійкості підприємств;  $КСП_1, \dots, КСП_i, \dots, КСП_t$  – показники кадрової стійкості підприємств.

...,  $BCPi$ , ...,  $BCPr$  – показники виробничої стійкості підприємств;  $MCP$ , ...,  $MCPi$ , ...,  $MCPs$  – показники маркетингової стійкості підприємств;  $KCP$ , ...,  $KCPi$ , ...,  $KCPs$  – показники кадрової стійкості підприємств;  $p$ ,  $r$ ,  $s$ ,  $t$  – кількість показників фінансової, виробничої, маркетингової і кадрової стійкості підприємств відповідно.

Наступний крок побудови нечіткої моделі пов'язаний з визначенням лінгвістичних оцінок параметрів і їх формалізацією. Реалізація цього кроку базується на понятті лінгвістичної змінної та нечіткої множини [17].

Лінгвістична змінна – це змінна, яка може набувати значень слів або словосполучень деякої природної чи штучної мови. Такі значення називають лінгвістичними оцінками або термами, а множину таких значень називають терм-множиною. Формальних правил щодо кількості термів та їхніх назв немає, їх визначають виходячи із суті відповідних лінгвістичних змінних, при цьому і кількість термів і їхні назви можуть бути різними для різних лінгвістичних змінних. Однак на практиці кількість термів намагаються брати не більше семи, при більшій кількості ними буде важко оперувати, особливо на етапі побудови нечіткої бази знань.

В нашому випадку для оцінки рівня стратегічної стійкості підприємств та рівнів стійкості її основних складових будемо використовувати таку терм-множину (назви термів взято з дослідження [10]): "кризовий" ("к"), "нестійкий" ("н"), "прийнятний" ("п"), "стабільний" ("с"), "динамічний" ("д"). У свою чергу, для оціночних показників складових стратегічної стійкості пропонуємо єдину множину термів "низький" ("н"), "нижче середнього" ("нс"), "середній" ("с"), "вище середнього" ("вс"), "високий" ("в").

Нечітка множина  $\tilde{A}$  на універсальній множині  $U$  – це сукупність пар  $(u, \mu^{\tilde{A}}(u))$ , де  $u$  – елемент універсальної множини  $U$ , а  $\mu^{\tilde{A}}(u)$  – значення функції належності елемента  $u$  нечіткій множині  $\tilde{A}$ . Функція належності  $\mu^{\tilde{A}}(u)$  може набувати значень в діапазоні від 0 до 1: чим більше значення, тим більшою мірою елемент  $u$  належить нечіткій множині  $\tilde{A}$ .

Відповідно до наведеного означення для формалізації термів лінгвістичних змінних слід визначити універсальні множини і функції належності.

Очевидно, що для лінгвістичних змінних, які асоціюються з показниками кількісного типу (наприклад, коефіцієнт фінансової автономії, фондовіддача, рентабельність продажів та ін.), універсальною множиною буде весь можливий діапазон значень відповідних показників. А для лінгвістичних змінних, які представляють показники якісного типу (наприклад, рівень освіти працюючих, рівень забезпеченості працюючих соціальним пакетом, рівень маркетингової стійкості), в якості універсальної множини можна прийняти деяку штучну шкалу, наприклад, від 0 до 1. При цьому для однієї й тієї ж лінгвістичної змінної універсальна множина буде однаковою для всіх термів, значення яких вона може набувати.

Що стосується функцій належності, то в практиці нечіткого моделювання знайшли застосування залежності різних типів: трикутні, трапецієвидні, z-подібні, s-подібні, дзвоноподібні, гаусові та ін. В нашому випадку для термів усіх лінгвістичних змінних пропонуємо використовувати гаусову функцію належності, яка визначається всього двома параметрами і є диференційованою на всій області визначення:

$$\mu(u) = \exp\left[-\frac{(u-g)^2}{2h^2}\right], \quad (6)$$

де  $g$  – координата максимуму функції належності  $\mu(u)$ ;  $h$  – коефіцієнт стиснення-розтягу функції належності  $\mu(u)$ .

Основним етапом нечіткого моделювання є побудова нечіткої бази знань, яка в якісному вигляді описує залежність між вхідними та вихідним параметром досліджуваної системи. Вона представляє собою сукупність нечітких логічних висловлювань (правил) типу "якщо [вхідні параметри], то [вихідний параметр]". Як правило, побудова нечіткої бази знань передбачає залучення одного або декількох експертів з області, для якої створюється нечітка модель. Фактично нечітка база знань відображає досвід експерта та його розуміння причинно-наслідкових зв'язків між вхідними та вихідним параметром досліджуваної системи.

При значній кількості вхідних параметрів задача побудови нечіткої бази знань ускладнюється. В такому разі рекомендується проводити групування вхідних параметрів, а потім формалізувати ієрархічну систему вкладених одна в одну нечітких баз знань, в якій вихідний параметр однієї бази знань є вхідним для іншої [16]. В нашому випадку таке штучне групування виконувати не потрібно, оскільки показники, які визначають стратегічну стійкість підприємств, із самого початку було розділено по окремих складових.

При побудові нечітких баз знань, які моделюють залежності (1)–(5), автори спиралися на власний досвід і досвід колег, які є фахівцями в області фінансового аналізу, економіки та організації виробництва, маркетингу і менеджменту. Однак щоб не переобтяжувати статтю великою кількістю однотипних формул,

ми не будемо наводити нечіткі бази знань у повному обсязі, а покажемо у скороченому вигляді лише нечіткі логічні висловлювання, які представляють залежність (1):

$$\begin{aligned}
 & \text{якщо } (\text{ФСП} = "к") \text{ і } (\text{ВСП} = "н") \text{ і } (\text{МСП} = "н") \text{ і } (\text{КСП} = "н") \text{ або } \dots \\
 & \text{або } (\text{ФСП} = "к") \text{ і } (\text{ВСП} = "к") \text{ і } (\text{МСП} = "к") \text{ і } (\text{КСП} = "к"), \text{ то } \text{ССП} = "к"; \\
 & \text{якщо } (\text{ФСП} = "н") \text{ і } (\text{ВСП} = "н") \text{ і } (\text{МСП} = "н") \text{ і } (\text{КСП} = "н") \text{ або } \dots \\
 & \text{або } (\text{ФСП} = "н") \text{ і } (\text{ВСП} = "к") \text{ і } (\text{МСП} = "н") \text{ і } (\text{КСП} = "к"), \text{ то } \text{ССП} = "н"; \\
 & \text{якщо } (\text{ФСП} = "н") \text{ і } (\text{ВСП} = "н") \text{ і } (\text{МСП} = "н") \text{ і } (\text{КСП} = "н") \text{ або } \dots \\
 & \text{або } (\text{ФСП} = "н") \text{ і } (\text{ВСП} = "н") \text{ і } (\text{МСП} = "н") \text{ і } (\text{КСП} = "н"), \text{ то } \text{ССП} = "н"; \\
 & \text{якщо } (\text{ФСП} = "с") \text{ і } (\text{ВСП} = "с") \text{ і } (\text{МСП} = "с") \text{ і } (\text{КСП} = "с") \text{ або } \dots \\
 & \text{або } (\text{ФСП} = "с") \text{ і } (\text{ВСП} = "н") \text{ і } (\text{МСП} = "с") \text{ і } (\text{КСП} = "н"), \text{ то } \text{ССП} = "с"; \\
 & \text{якщо } (\text{ФСП} = "д") \text{ і } (\text{ВСП} = "д") \text{ і } (\text{МСП} = "д") \text{ і } (\text{КСП} = "д") \text{ або } \dots \\
 & \text{або } (\text{ФСП} = "д") \text{ і } (\text{ВСП} = "с") \text{ і } (\text{МСП} = "д") \text{ і } (\text{КСП} = "с"), \text{ то } \text{ССП} = "д".
 \end{aligned} \tag{7}$$

У компактному вигляді систему нечітких логічних висловлювань (7) можна подати так:

$$\bigcup_{k=1}^{z_j} (\text{ФСП} = A^{jk}) \cap (\text{ВСП} = B^{jk}) \cap (\text{МСП} = C^{jk}) \cap (\text{КСП} = D^{jk}) \rightarrow \text{ССП} = E_j, \quad j = \overline{1, 5}, \quad k = \overline{1, z_j}, \tag{8}$$

де  $A, B, C, D$  – терм-множини лінгвістичних змінних  $\text{ФСП}, \text{ВСП}, \text{МСП}, \text{КСП}$  відповідно (включають терми "к", "н", "п", "с", "д");  $E$  – терм-множина лінгвістичної змінної  $\text{ССП}$  (включає терми "к", "н", "п", "с", "д");  $z_j$  – кількість комбінацій термів лінгвістичних змінних  $\text{ФСП}, \text{ВСП}, \text{МСП}, \text{КСП}$ , яким відповідає терм  $E_j$  лінгвістичної змінної  $\text{ССП}$ .

Аналогічно системи нечітких логічних висловлювань, які представляють співвідношення (2)–(5), у компактному вигляді можна записати так:

$$\bigcap_{k=1}^{v_j} \bigcap_{i=1}^p (\text{ФСПи} = a_i^{jk}) \rightarrow \text{ФСП} = A_j, \quad i = \overline{1, p}, \quad j = \overline{1, 5}, \quad k = \overline{1, v_j}, \tag{9}$$

$$\bigcap_{k=1}^{w_j} \bigcap_{i=1}^r (\text{ВСПи} = b_i^{jk}) \rightarrow \text{ВСП} = B_j, \quad i = \overline{1, r}, \quad j = \overline{1, 5}, \quad k = \overline{1, w_j}, \tag{10}$$

$$\bigcap_{k=1}^{x_j} \bigcap_{i=1}^s (\text{МСПи} = c_i^{jk}) \rightarrow \text{МСП} = C_j, \quad i = \overline{1, s}, \quad j = \overline{1, 5}, \quad k = \overline{1, x_j}, \tag{11}$$

$$\bigcap_{k=1}^{y_j} \bigcap_{i=1}^t (\text{КСПи} = d_i^{jk}) \rightarrow \text{КСП} = D_j, \quad i = \overline{1, t}, \quad j = \overline{1, 5}, \quad k = \overline{1, y_j}, \tag{12}$$

де  $a_i, b_i, c_i, d_i$  – терм-множини лінгвістичних змінних  $\text{ФСПи}, \text{ВСПи}, \text{МСПи}, \text{КСПи}$  відповідно (включають терми "н", "нс", "с", "вс", "в");  $A, B, C, D$  – терм-множини лінгвістичних змінних  $\text{ФСП}, \text{ВСП}, \text{МСП}, \text{КСП}$  відповідно (включають терми "к", "н", "п", "с", "д");  $v_j, w_j, x_j, y_j$  – кількості комбінацій термів лінгвістичних змінних  $\text{ФСПи}, \text{ВСПи}, \text{МСПи}, \text{КСПи}$ , яким відповідають терми  $A_j, B_j, C_j, D_j$  лінгвістичних змінних  $\text{ФСП}, \text{ВСП}, \text{МСП}, \text{КСП}$  відповідно.

Для забезпечення більшої гнучкості моделі нечіткі логічні висловлювання (8)–(12) можна доповнити додатковим параметром – вагою правила, яка може приймати значення від 0 до 1 та виражає суб'єктивну міру впевненості експерта в адекватності відповідного правила.

На основі нечітких множин, які формалізують лінгвістичні оцінки, і нечітких логічних висловлювань можна вивести систему нечітких логічних рівнянь, яка, у свою чергу, забезпечить можливість знаходження значення вихідного параметра для будь-яких комбінацій значень вхідних параметрів. Такі рівняння отримують з нечіткої бази знань шляхом заміни назв термів лінгвістичних змінних відповідними їм функціями належності та заміни операцій "і" ( $\cap$ ) та "або" ( $\cup$ ) нечітких логічних висловлювань операціями знаходження мінімуму ( $\wedge$ ) та максимуму ( $\vee$ ) відповідно.

Так, система нечітких логічних рівнянь, яка відповідає системі нечітких логічних висловлювань (7),

матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 \mu^{''\kappa''}(ССП) &= \left[ \mu^{''\kappa''}(\PhiСП) \wedge \mu^{''\kappa''}(ВСП) \wedge \mu^{''\kappa''}(МСП) \wedge \mu^{''\kappa''}(КСП) \right] \vee \dots \\
 &\quad \vee \left[ \mu^{''\kappa''}(\PhiСП) \wedge \mu^{''\kappa''}(ВСП) \wedge \mu^{''\kappa''}(МСП) \wedge \mu^{''\kappa''}(КСП) \right]; \\
 \mu^{''\eta''}(ССП) &= \left[ \mu^{''\eta''}(\PhiСП) \wedge \mu^{''\eta''}(ВСП) \wedge \mu^{''\eta''}(МСП) \wedge \mu^{''\eta''}(КСП) \right] \vee \dots \\
 &\quad \vee \left[ \mu^{''\eta''}(\PhiСП) \wedge \mu^{''\eta''}(ВСП) \wedge \mu^{''\eta''}(МСП) \wedge \mu^{''\eta''}(КСП) \right]; \\
 \mu^{''\eta''}(ССП) &= \left[ \mu^{''\eta''}(\PhiСП) \wedge \mu^{''\eta''}(ВСП) \wedge \mu^{''\eta''}(МСП) \wedge \mu^{''\eta''}(КСП) \right] \vee \dots \\
 &\quad \vee \left[ \mu^{''\eta''}(\PhiСП) \wedge \mu^{''\eta''}(ВСП) \wedge \mu^{''\eta''}(МСП) \wedge \mu^{''\eta''}(КСП) \right]; \\
 \mu^{''c''}(ССП) &= \left[ \mu^{''c''}(\PhiСП) \wedge \mu^{''c''}(ВСП) \wedge \mu^{''c''}(МСП) \wedge \mu^{''c''}(КСП) \right] \vee \dots \\
 &\quad \vee \left[ \mu^{''c''}(\PhiСП) \wedge \mu^{''c''}(ВСП) \wedge \mu^{''c''}(МСП) \wedge \mu^{''c''}(КСП) \right]; \\
 \mu^{''\theta''}(ССП) &= \left[ \mu^{''\theta''}(\PhiСП) \wedge \mu^{''\theta''}(ВСП) \wedge \mu^{''\theta''}(МСП) \wedge \mu^{''\theta''}(КСП) \right] \vee \dots \\
 &\quad \vee \left[ \mu^{''\theta''}(\PhiСП) \wedge \mu^{''\theta''}(ВСП) \wedge \mu^{''\theta''}(МСП) \wedge \mu^{''\theta''}(КСП) \right].
 \end{aligned} \tag{13}$$

У компактному вигляді це можна подати так:

$$\mu^{E_j}(ССП) = \bigvee_{k=1}^{z_j} \mu^{A^{jk}}(\PhiСП) \wedge \mu^{B^{jk}}(ВСП) \wedge \mu^{C^{jk}}(МСП) \wedge \mu^{D^{jk}}(КСП), \quad j = \overline{1, 5}, \quad k = \overline{1, z_j}. \tag{14}$$

Аналогічно виводимо систему нечітких логічних рівнянь на основі нечітких баз знань (9)–(12):

$$\mu^{A_j}(\PhiСП) = \bigvee_{k=1}^{v_j} \bigwedge_{i=1}^p \mu^{a_i^{jk}}(\PhiСПi), \quad i = \overline{1, p}, \quad j = \overline{1, 5}, \quad k = \overline{1, v_j}, \tag{15}$$

$$\mu^{B_j}(ВСП) = \bigvee_{k=1}^{w_j} \bigwedge_{i=1}^r \mu^{b_i^{jk}}(ВСПi), \quad i = \overline{1, r}, \quad j = \overline{1, 5}, \quad k = \overline{1, w_j}, \tag{16}$$

$$\mu^{C_j}(МСП) = \bigvee_{k=1}^{x_j} \bigwedge_{i=1}^s \mu^{c_i^{jk}}(МСПi), \quad i = \overline{1, s}, \quad j = \overline{1, 5}, \quad k = \overline{1, x_j}, \tag{17}$$

$$\mu^{D_j}(КСП) = \bigvee_{k=1}^{y_j} \bigwedge_{i=1}^t \mu^{d_i^{jk}}(КСПi), \quad i = \overline{1, t}, \quad j = \overline{1, 5}, \quad k = \overline{1, y_j}. \tag{18}$$

Функції належності (6) разом з нечіткими логічними рівняннями (15)–(18) і (14) дають можливість оцінювати рівень стратегічної стійкості підприємств за допомогою такого алгоритму:

1) на основі наданої підприємством інформації обчислюємо значення показників фінансової  $\PhiСП$ , ...,  $\PhiСПi$ , ...,  $\PhiСПr$ , виробничої  $ВСП$ , ...,  $ВСПi$ , ...,  $ВСПr$ , маркетингової  $МСП$ , ...,  $МСПi$ , ...,  $МСПs$  і кадрової  $КСП$ , ...,  $КСПi$ , ...,  $КСПt$  стійкості;

2) за допомогою функцій належності (8) обчислюємо значення ступенів належності  $\mu^{a_i^j}(\PhiСПi)$ ,  $\mu^{b_i^j}(ВСПi)$ ,  $\mu^{c_i^j}(МСПi)$ ,  $\mu^{d_i^j}(КСПi)$ ;

3) використовуючи нечіткі логічні рівняння (15)–(18), обчислюємо значення ступенів належності  $\mu^{A_j}(\PhiСП)$ ,  $\mu^{B_j}(ВСП)$ ,  $\mu^{C_j}(МСП)$ ,  $\mu^{D_j}(КСП)$ ;

4) використовуючи нечіткі логічні рівняння (14), обчислюємо значення ступенів належності  $\mu^{E_j}(ССП)$ ;

5) в якості оцінки рівня стратегічної стійкості підприємства обираємо такий терм  $E_j$ , значення ступеня належності  $\mu^{E_j}(ССП)$  якого максимальне.

На завершення зазначимо, що розроблена математична модель оцінювання стратегічної стійкості підприємств на основі нечітких множин і нечіткої логіки має високу адаптивну здатність – за необхідності її параметри можна налаштувати так, щоб досягалася якомога вища адекватність оцінювання. В літературі з нечіткого моделювання процес налаштування параметрів нечіткої моделі відомий під назвою навчання нечіткої моделі [16]. Обов'язковою умовою навчання є наявність навчальної вибірки даних, яка представляє собою сукупність пар значень вхідних і вихідного параметрів. Таку вибірку можна отримати від експертів-практиків, які займаються оцінкою стратегічної стійкості підприємств. У формалізованому вигляді задача навчання нечіткої моделі формулюється як задача нелінійної оптимізації, в якій керованими змінними є

параметри функцій належності термів лінгвістичних змінних і ваги правил нечіткої бази знань, а критерієм оптимізації – мінімум розбіжностей між модельними та експертними результатами оцінювання.

**Висновки.** В результаті проведеного дослідження розроблено математичну модель оцінювання стратегічної стійкості підприємств, в основу якої покладено математичний апарат теорії нечітких множин і нечіткої логіки. Вона описує зв'язок різних оціночних показників з рівнем стратегічної стійкості за допомогою лінгвістичних висловлювань, якими оперують експерти, а тому забезпечує вищу адекватність формалізації експертних знань порівняно з відомими моделями. Розроблена математична модель є гнучкою в тому розумінні, що за необхідності в неї можна вводити чи виводити параметри, а також змінювати взаємозв'язки між ними, не змінюючи кардинально структуру моделі. Також вона має високу адаптивну здатність, яка реалізується шляхом оптимізації параметрів моделі на основі навчальної вибірки даних. Зазначені особливості розробленої моделі в підсумку забезпечують високу адекватність оцінювання стратегічної стійкості підприємств.

### Література

1. Ареф'єва О.В. Економічна стійкість підприємства: сутність, складові та заходи з її забезпечення / О.В. Ареф'єва, Д.М. Городинська // Актуальні проблеми економіки. – 2008. – № 8(86). – С. 83–90.
2. Ареф'єва О.В. Методичний підхід до оцінки та механізм моніторингу економічної стійкості підприємства / О.В. Ареф'єва, Д.М. Городинська // Формування ринкових відносин в Україні. – 2006. – № 6(61). – С. 57–61.
3. Ареф'єва О.В. Оцінка рівня економічної стійкості підприємств сфери послуг / О.В. Ареф'єва, Д.М. Городинська // Актуальні проблеми економіки. – 2006. – № 6(60). – С. 106–111.
4. Галушко В.Б. Організаційно-інформаційна підтримка процесів впровадження та функціонування механізму забезпечення стратегічної стійкості підприємства / В.Б. Галушко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 1. Т. 1. – С. 7–10.
5. Дуброва О.С. Стратегічна стійкість підприємства: складові та напрями їх забезпечення / О.С. Дуброва // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 1. Т. 1. – С. 15–19.
6. Крисько Ж. Стратегічна стійкість підприємства: підходи до визначення та оцінки / Ж. Крисько // Українська наука: минуле, сучасне, майбутнє. – 2010. – Випуск 14-15. – С. 111–119.
7. Маслак О.І. Економічна сутність категорії "стратегічна стійкість підприємства" [Електронний ресурс] / О.І. Маслак, І.В. Мовчан // Ефективна економіка. – 2013. – № 5. – Режим доступу : <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2002>.
8. Мохонько Г.А. Вплив нестабільного ринкового середовища на стратегічну стійкість підприємств видавничо-поліграфічної галузі / Г.А. Мохонько // Інвестиції: практика та досвід. – 2009. – № 20. – С. 49–53.
9. Мохонько Г.А. Оцінювання стратегічної стійкості підприємств видавничо-поліграфічної галузі в умовах нестабільного ринкового середовища [Електронний ресурс] / Г.А. Мохонько // Ефективна економіка. – 2009. – № 2. – Режим доступу : <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=24>.
10. Мохонько Г.А. Стратегічні напрями забезпечення стратегічної стійкості підприємства в умовах нестабільного середовища / Г.А. Мохонько // Інвестиції: практика та досвід. – 2010. – № 12. – С. 32–36.
11. Шандова Н.В. Оцінка загальної стійкості розвитку промислового підприємства / Н.В. Шандова // Актуальні проблеми економіки. – 2006. – № 9(63). – С. 169–173.
12. Шпак М.М. Застосування методів оцінки ймовірності банкрутства в системі управління стратегічною стійкістю аграрних підприємств / М.М. Шпак // Актуальні проблеми економіки. – 2008. – № 11(89). – С. 155–161.
13. Паночишин Ю.М. Оцінка кредитоспроможності підприємств-позичальників на основі нечіткої логіки / Ю.М. Паночишин, О.М. Лисюк, І.Є. Паночишина // Економіка: проблеми теорії та практики. – 2009. – Випуск 256, Т. X. – С. 2412–2422.
14. Паночишин Ю.М. Нечітка модель оцінки кредитоспроможності фізичних осіб-позичальників комерційних банків / Ю.М. Паночишин, О.М. Козачко, І.Є. Паночишина // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – №1, Т. 2. – С. 161–168.
15. Паночишин Ю.М. Використання математичного апарату теорії нечітких множин і нечіткої логіки в задачі оцінки фінансової стійкості комерційних банків / Ю.М. Паночишин, К.Є. Рум'янцева // Вісник Запорізького національного університету. – 2011. – № 2. – С. 80–86.
16. Ротштейн О.П. Інтелектуальні технології ідентифікації: нечіткі множини, генетичні алгоритми, нейронні мережі / О.П. Ротштейн. – Вінниця : Універсум-Вінниця, 1999. – 320 с.
17. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М. : Мир, 1976. – 167 с.

### References

1. O.V. Arefyeva and D.M. Horodynska, "Ekonomichna stiykist pidpryyemstva: sutnist, skladovi ta zakhody z yiyi zabezpechennya", Aktualni problemy ekonomiky, Issue 8(86), 2008 pp. 83-90.
2. O.V. Arefyeva and D.M. Horodynska, "Metodychnyy pidkhid do otsinky ta mekhanizm monitorynhu ekonomichnoyi stiykosti

pidpryyemstva", Formuvannya rynkovykh vidnosyn v Ukraini, Issue 6(61), 2006 pp. 57 61.

3. O.V. Arefyeva and D.M. Horodynska, "Otsinka rivnya ekonomichnoyi stiykosti pidpryyemstv sfery posluh", Aktualni problemy ekonomiky, Issue 6(60), 2006 pp. 106 111.

4. V.B. Halushko, "Orhanizatsiyno-informatsiyna pidtrymka protsesiv vprovadzheniya ta funktsionuvannya mekhanizmu zabezpechennya stratehichnoyi stiykosti pidpryyemstva", Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, Issue 1, Volume 1, 2010 pp. 7 10.

5. O.S. Dubrova, "Stratehichna stiykist pidpryyemstva: skladovi ta napryamy yikh zabezpechennya", Herald of Khmelnytskyi National University, Issue 1, Volume 1, 2010 pp. 15 19.

6. Zh. Krysko, "Stratehichna stiykist pidpryyemstva: pidkhody do vyznachennya ta otsinky", Ukrayinska nauka: mynule, suchasne, maybutnye, Issue 14-15, 2010 pp. 111 119.

7. O.I. Maslak and I.V. Movchan, "Ekonomichna sutnist katehoriyi "stratehichna stiykist pidpryyemstva"", Efektyvna ekonomika, Issue 5, 2013. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2002>.

8. H.A. Mokhonko, "Vplyv nestabilnoho rynkovoho seredovyshcha na stratehichnu stiykist pidpryyemstv vydavnycho-polihrafichnoyi haluzi", Investytsiyi: praktyka ta dosvid, Issue 20, 2009 pp. 49 53.

9. H.A. Mokhonko, "Otsinyuvannya stratehichnoyi stiykosti pidpryyemstv vydavnycho-polihrafichnoyi haluzi v umovakh nestabilnoho rynkovoho seredovyshcha", Efektyvna ekonomika, Issue 2, 2009. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=24>.

10. H.A. Mokhonko, "Stratehichni napryamy zabezpechennya stratehichnoyi stiykosti pidpryyemstva v umovakh nestabilnoho seredovyshcha", Investytsiyi: praktyka ta dosvid, Issue 12, 2010 pp. 32 36.

11. N.V. Shandova, "Otsinka zahalnoyi stiykosti rozvytku promyslovoho pidpryyemstva", Aktualni problemy ekonomiky, Issue 9(63). 2006 pp. 169 173.

12. M.M. Shpak, "Zastosuvannya metodiv otsinky ymovirnosti bankrutstva v systemi upravlinnya stratehichnoyi stiykisty ahrarnykh pidpryyemstv", Aktualni problemy ekonomiky, Issue 11(89), 2008 pp. 155 161.

13. Y.M. Panochyshyn, O.M. Lysyuk, and I.Y. Panochyshyna, "Otsinka kredytopromozhnosti pidpryyemstv-pozychalnykiv na osnovi nechitkoyi lohiky", Ekonomika: problemy teorii ta praktyky, Issue 256, Volume X, 2009 pp. 2412 2422.

14. Y.M. Panochyshyn, O.M. Kozachko, and I.Y. Panochyshyna, "Nechitka model otsinky kredytopromozhnosti fizychnykh osib-pozychalnykiv komertsyinykh bankiv", Herald of Khmelnytskyi National University, Issue 1, Volume 2, 2010 pp. 161 168.

15. Y.M. Panochyshyn and K.Y. Rummyantseva, "Vykorystannya matematychnoho aparatu teoriiy nechitkykh mnozhyn i nechitkoyi lohiky v zadachi otsinky finansovoyi stiykosti komertsyinykh bankiv", Visnyk Zaporizkoho natsionalnoho universytetu, Issue 2, 2011 pp. 80 86.

16. O.P. Rotshteyn, Intelktualni tekhnolohiyi identyfikatsiyi: nechitki mnozhyny, henetychni alhorytmy, neyronni merezhi, Vinnytsya: Universum-Vinnytsya, 1999.

17. L. Zade, Ponyatyie linyvystycheskoy peremennoy y ee pryomenenye k prynatyuu pryblzhennykh reshenyy, Moskva: Myr, 1976.

Надійшла 06.08.2015; рецензент: д. е. н. Погрішук Б. В.