

Марина Олегівна КРАВЧЕНКО

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри менеджменту,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
E-mail: mary_kravchenko@mail.ru

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ
ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА ФІНАНСОВОЇ СТІЙКОСТІ
ПІДПРИЄМСТВ**

Кравченко, М. О. Застосування методів нечіткої логіки для визначення інтегрального показника фінансової стійкості підприємств [Текст] / Марина Олегівна Кравченко // Економічний аналіз: зб. наук. праць / Тернопільський національний економічний університет; редкол.: О. В. Ярошук (голов. ред.) та ін. – Тернопіль: Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету «Економічна думка», 2016. – Том 26. – № 1. – С. 123-129. – ISSN 1993-0259.

Анотація

Вступ. Статтю підготовлено за результатами дослідження механізму формування економічної стійкості підприємств на основі принципово нового підходу до проведення їх структуризації: чотири типи підсистем визначаються залежно від їх просторово-часової локалізації. Теоретичний аналіз дозволив висунути гіпотезу про те, що рівень економічної стійкості підприємства є обумовленим рівнем збалансованості чотирьох типів його підсистем і може бути окресленим на основі її оцінювання. У процесі її емпіричної перевірки виникла необхідність порівняння отриманих оцінок з результатами визначення рівня фінансово-економічної стійкості підприємства на основі коефіцієнтів, що традиційно використовуються як її індикатори. Це обумовило необхідність розробки методики їх згортки.

Роботу підготовлено в межах проекту прикладного дослідження, що виконується за рахунок видатків загального фонду державного бюджету на тему «Розробка он-лайн платформи аналізу і сценарного планування сталого розвитку регіонів України в контексті якості та безпеки життя людей» (ID:65810 29.08.2016 (378-1)).

Мета. Статтю присвячено висвітленню авторського підходу до виведення інтегрального показника фінансової стійкості через застосування методів нечіткої логіки та проведенню кореляційного аналізу його значень з отриманими раніше значеннями індексу системної збалансованості машинобудівних підприємств.

Методи (методологія). Теоретико-методологічний базис дослідження формувався в контексті нової неосистемної економічної парадигми, для чого використовувались загальнонаукові методи, зокрема аналізу і синтезу, індукції та дедукції. Для проведення емпіричного дослідження застосовувались специфічні методи технології дата-майнінгу, в тому числі – факторний аналіз на основі головних компонент та нечітка логіка.

Результати. Застосування нечіткої логіки дозволило провести згортку фінансових коефіцієнтів та визначити на їх основі інтегральний показник фінансової стійкості підприємств. Значення показника, розраховані для низки машинобудівних підприємств за період 2004-2015 рр., продемонстрували тісний лінійний зв'язок зі значеннями індексу системної збалансованості підприємств, що фактично дозволило підтвердити гіпотезу.

Ключові слова: економічна стійкість; структурна збалансованість; фінансова стійкість; неосистемна парадигма; нечітка логіка; підприємство.

APPLICATION OF FUZZY LOGIC METHODS TO DETERMINE THE INTEGRAL INDICATOR OF FINANCIAL STABILITY OF ENTERPRISES

Abstract

Introduction. This article is prepared according to the research of the mechanism of formation of enterprises' economic sustainability on the basis of a fundamentally new approach to their structuring: four types of subsystems are allocated according to their spatiotemporal localization. The theoretical analyses has allowed us to hypothesize that the level of economic sustainability is agreed upon the level of balance of enterprises' four subsystems and may be determined on the basis of its estimation. For empirical verification of the hypothesis it is advisable to compare such evaluations with the estimations of finance and economic stability level of enterprises on the basis of the ratios which are traditionally used as its indicators. This, in its turn, causes the necessity to develop the method of convolution.

The research is conducted within the project "Development of an online platform of analysis and scenario planning of Ukrainian regions' sustainability in the context of the quality and safety of human life" (ID: 65810 29.08.2016 (378-1)), supported by the state budget main fund.

Purpose. This aim of article is ground the author's approach the determination of the integral indicator of financial stability through the application of fuzzy logic methods and its correlation analysis with previously obtained estimates of system balance of machine-building enterprises.

Methods (methodology). The theoretical and methodological foundations of the research are formed in the context of the new neo-system economic paradigm. General scientific methods, such as method of analysis and synthesis, induction and deduction methods, are applied to do this. The specific methods of Data Mining Technology, including Principal Component Analysis and Fuzzy Logic are applied to conduct the empirical research.

Results. The application of fuzzy logic has allowed us to convolute financial ratios and to determine the integral indicator of enterprises' financial stability on their basis. The strong linear relationship between values of the indicator and values of the index of enterprises' system balance for a number of machine-building enterprises for the period of 2004-2015 is demonstrated. The hypothesis of the research is confirmed.

Keywords: economic sustainability; structural balance; financial stability; neo-system paradigm; fuzzy logic; enterprise.

JEL classification: B49, C12, C23, L69, O10

Основним напрямом нашої наукової роботи є вивчення механізму формування економічної стійкості підприємств машинобудівного комплексу України з позицій нової методологічної парадигми. Основу парадигми становить економічна теорія, яку розвиває науковий колектив під керівництвом Г. Клейнера, що була названа ним у різних джерелах «структурною теорією економічних систем» [4], «ресурсною теорією системної організації економіки» [2], «новою теорією економічних систем» [9], неосистемною теорією [3].

Базисом нової теорії є принципово новий підхід до визначення та проведення структуризації економічних систем залежно від наявності у них просторово-часових обмежень. Аналогічний підхід може бути застосованим і до розгляду підприємства як економічної системи мікрорівня. При цьому підсистеми підприємства групуються не на основі традиційного структурно-функціонального розподілу, а з точки зору їх локалізації (визначеності) в просторі та в часі. Відповідно в структурі підприємства виділяють чотири типи підсистем економічних елементів [2-5]:

- об'єктні, що є обмеженими в просторі та необмеженими в часі (до них відносять сукупність працівників, підрозділів, керівників, власників підприємства);
- середовищні, що є необмеженими ані в просторі, ані в часі (до них відносять сукупність елементів соціально-культурної сфери – внутрішні регламенти, стандарти, комунікації, організаційний клімат та культуру);
- процесні, що є необмеженими в просторі та обмеженими в часі (до них відносять сукупність виробничо-господарських процесів – технологічних, інформаційних, управлінських, логістичних, фінансових);

– проектні, що є обмеженими і в просторі, і в часі (до них відносять сукупність інвестиційних та інноваційних проектів, програм, заходів, подій).

Чітка просторово-часова детермінація підсистем надає можливість визначити характер їх взаємодії між собою та «природні» властивості. Попередні теоретичні дослідження дозволяють зробити висновок про те, що кожна з підсистем апріорно не є самодостатньою, не володіє всіма ознаками та властивостями, необхідними для підтримки власного гомеостазу та відповідно не може бути стійкою в довгостроковій перспективі. Проте, взаємодіючи на засадах реципієнтно-донорського зв'язку, всі чотири разом вони підтримують гомеостаз одна одної та стійкість економічної системи підприємства загалом. Економічна стійкість, визначена в такому ракурсі, має чіткий системно-структурний механізм формування, що забезпечується за рахунок підтримання підсистемами оптимального балансу рівня мінливості та стабільності підприємства в просторі та в часі.

Виходячи з передумови, що найменшим стійким утворенням є комплекс з чотирьох підсистем різних типів, була висунута гіпотеза про те, що рівень економічної стійкості підприємства залежить від рівня взаємної збалансованості його підсистем і, отже, може бути визначеним на підставі її вимірювання. Для її перевірки було проведено економетричне дослідження за даними шістнадцяти підприємств машинобудівного комплексу України, зібраними за період 2004-2015 рр. Дослідження виконувалось на основі авторської методики оцінювання підсистем підприємств із застосуванням дата-майнінгової технології інтелектуальної обробки даних (англ. *Data Mining* – видобуток даних, глибинний аналіз даних), зокрема методу факторного аналізу на базі головних компонент *PCA* (англ. *Principal Component Analysis* – аналіз головних компонент) та методу візуалізації оцінок за допомогою квадрантів, побудованих у Декартовій системі координат. Це дозволило побудувати модель для визначення індексу системної збалансованості підприємств. Проте отримані індексні оцінки потребували перевірки та визначення рівня їх достовірності. Для цього було прийнято рішення провести оцінку фінансово-економічної стійкості підприємств на основі традиційних фінансових коефіцієнтів, що найчастіше використовуються як індикатори її рівня, та зіставити отримані значення між собою.

Статтю присвячено висвітленню авторського підходу до виведення інтегрального показника фінансової стійкості через застосування методів нечіткої логіки та проведенню кореляційного аналізу його значень з отриманими раніше значеннями індексу системної збалансованості машинобудівних підприємств.

Для виведення індексу системної збалансованості підприємств було розроблено методику, що заснована на визначенні індексів чотирьох підсистем підприємства через проведення факторного аналізу на основі головних компонент (*PCA*) та аналітичному розрахунку індексів інтенсивності їх периметричної взаємодії. Окремі елементи та результати застосування методики є представленими в [5; 10].

Для перевірки висунутої гіпотези про те, що рівень економічної стійкості підприємства дійсно може бути визначений на підставі вимірювання рівня системної збалансованості підприємства та визначення рівня достовірності отриманих результатів, було вирішено провести кореляційний аналіз статистичного взаємозв'язку отриманих результатів з результатами обчислення відомих фінансових коефіцієнтів, що традиційно використовуються як індикатори стійкого нормального функціонування підприємств. Конкретний набір коефіцієнтів визначався з урахуванням методичних принципів, викладених у Положенні про порядок здійснення аналізу фінансового стану підприємств, що підлягають приватизації, затвердженому спільним наказом Міністерства фінансів та Фонду державного майна України від 26.01.2001р. № 49/121 [6], і охоплював чотири коефіцієнти фінансової стійкості (зокрема, фінансування (s_1), забезпеченості власними оборотними засобами(s_2), маневреності(s_3), автономії(s_4)) та три коефіцієнти ліквідності (зокрема, загальної(s_5), поточної (s_6)та абсолютної ліквідності(s_7)).

Для визначення щільності та напрямку статистичного взаємозв'язку індексу системної збалансованості з фінансовими коефіцієнтами з двох можливих підходів – обмежити число коефіцієнтів та проводити кореляційний аналіз з кожним з них або провести згортку набору коефіцієнтів – було обрано другий через його відносно вищу інформаційну цінність. Більшість авторів, що займались опрацюванням проблематики оцінювання економічної стійкості суб'єктів господарювання на підставі фінансових коефіцієнтів, вважають, що при цьому доцільно використовувати процедуру послідовної згортки. Ця процедура передбачає групування коефіцієнтів з подальшим визначенням інтегрального показника, який би відображав рівень фінансової стійкості підприємства загалом.

Складність виведення такого інтегрального показника обумовлена складністю визначення меж прийнятних значень для багатьох коефіцієнтів, які є взаємопов'язаними та взаємообумовленими. Значення діапазону прийнятності та переважної динаміки показників є принципово важливим, оскільки недостатня фінансова стійкість може призвести до неплатоспроможності підприємства, а надлишкова – уповільнити динаміку розвитку, обтяжуючи зайвими запасами та резервами. І в першому, і в другому випадку економічна стійкість підприємства знижується. Відповідно, для проведення згортки, яка б забезпечила врахування латентних особливостей, діапазону прийнятних значень та переважної

динаміки кожного з коефіцієнтів, було обрано метод штучного інтелекту з використанням апарату нечіткої логіки.

Математична теорія нечітких множин (англ. *Fuzzy sets*) та нечітка логіка (англ. *Fuzzy logic*) є узагальненнями класичної теорії множин та класичної формальної логіки. Метод було вперше використано у 1965 році для формалізації нечітких міркувань при описі процесів, систем та об'єктів [7; 8]. Нечітка логіка базується на понятті нечіткої множини як об'єкта з функцією приналежності елемента до множини (англ. *Membershipfunction*), яка може набувати будь-яких значень в інтервалі [0, 1], а не тільки 0 або 1. Існує більше десяти типових форм кривих для завдання функцій приналежності. Найбільшого поширення набули трикутні, трапецеїдальні та гаусові функції. На основі цього поняття проводяться різні логічні операції над нечіткими множинами, формулюється поняття лінгвістичної змінної, як значення якої виступають нечіткі множини та формується нечіткий висновок [7; 8].

У загальному випадку послідовність побудови логічного висновку охоплює чотири етапи: фазифікацію (від англ. *fuzzification* – приведення до нечіткості); формування нечіткого висновку на базі заданих правил, які кожному значенню лінгвістичної змінної ставлять у відповідність нечітку підмножину множини X ; композицію та дефазифікацію (від англ. *defuzzification* – усунення нечіткості, приведення до чіткості), які схематично відображено на рис.1.

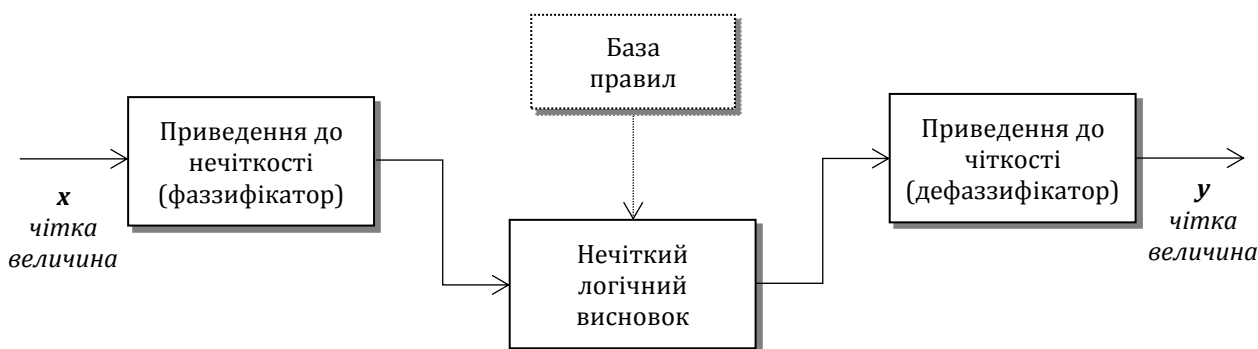


Рис. 1. Загальна схема побудови нечіткого логічного висновку*

*За даними [7; 8].

У нашому дослідженні для отримання інтегрального індексного показника фінансової стійкості аналізованих підприємств на кожному часовому етапі методика була застосована наступним чином. Якщо функцію приналежності чіткої множини фінансових коефіцієнтів $S = \{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7\}$ до нечіткої множини прийнятних або неприйнятних з точки зору стійкості підприємства значень C позначити як $MFC(s)$, то кожне зі значень коефіцієнтів може бути розглянуто як лінгвістична змінна, визначена на всьому можливому діапазоні її значень з двома термами – $mf1$ «Небажане (неприпустиме) значення» (НЗ) і $mf2$ «Бажане (припустиме) значення» (БЗ). При цьому нечітка множина, що відповідає цим термам, визначалась, виходячи з наявних нормативних вимог та, в деяких випадках, експертних рекомендацій. Функції приналежності нечітких множин були отримані за допомогою компонента «Fuzzy Inference System Toolbox» середовища *MatLAB R2012a* [1]. Зовнішній вигляд нечітких множин, що повністю описуються своїми функціями приналежності, наведено у додатках до статті. Для формування нечіткого висновку та визначення показника фінансової стійкості підприємства в діапазоні від 0 до 1, було використане єдине правило, в якому як антецедентна частина виступали значення всіх параметрів, як лінгвістичні змінні використовувалася зв'язка «Логічне І», а як консеквентна частина виступала лінгвістична змінна «Бажаний (стійкий) стан». Правило формулювалось наступним чином:

If s_1 = «БЗ» **and** s_2 = «БЗ» **and** s_3 = «БЗ» **and** s_4 = «БЗ» **and** s_5 = «БЗ» **and** s_6 = «БЗ» **and** s_7 = «БЗ» **then** $SustainFin$ = «стійкий».

Для цього правила був запропонований такий алгоритм дефазифікації:

$$SustainFin = \frac{\sum_{i=1}^7 [\mu^{S_i} | \mu^{S_i} \in M^{nz}]}{\|M^{nz}\|}, \quad (1)$$

де μ^{S_i} – значення функції приналежності для вхідної змінної s_i , $M^{nz} = [\mu^{S_i} | \mu^{S_i} > 0]$ – множина більших за нуль значень функцій приналежності.

Узагальнено процес визначення значень функцій приналежності нечіткій множині «БЗ» для чітких значень аналізованих параметрів s_1-s_7 , а також результат формування нечіткого висновку у вигляді значення показника фінансової стійкості відображено на рис. 2.

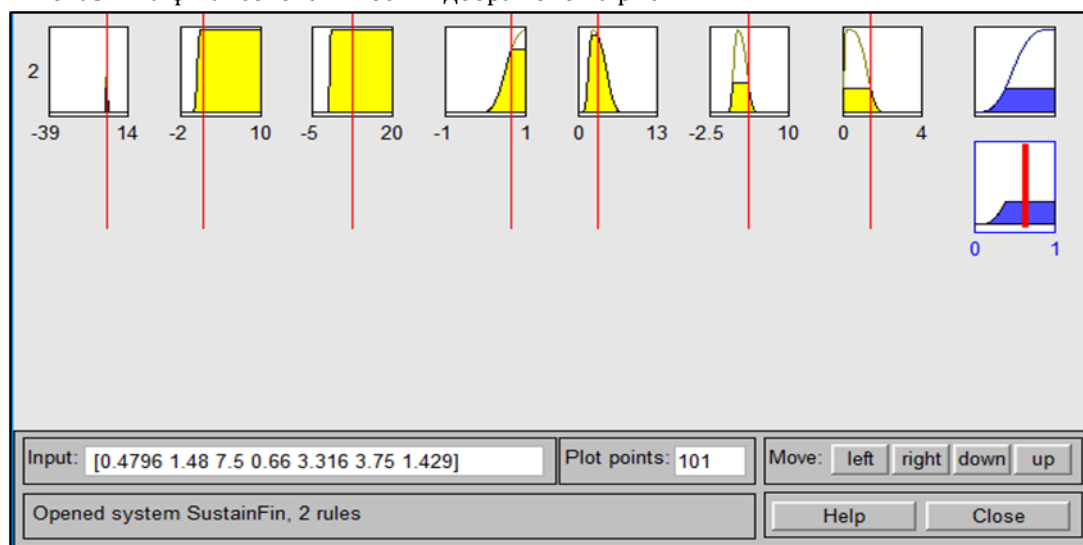


Рис. 2. Загальний вигляд діалогового вікна редактора правил для правила визначення показника фінансової стійкості*

*Складено автором в середовищі MatLAB R 2012a за допомогою компонента «Fuzzy Inference System Toolbox»

Використання окресленої методики згортки дозволило визначити значення показника фінансової стійкості для кожного аналізованого випадку (загальна кількість випадків – 192). Потім було проведено їх узагальнення по групі обстежуваних підприємств. Результати обчислення значень узагальненого інтегрального показника фінансової стійкості підприємств (F), а також визначених раніше значень узагальненого по групі підприємств індекса системної збалансованості (E) наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Результати обчислення індексів системної збалансованості та інтегральних показників фінансової стійкості, узагальнених по групі обстежуваних підприємств за період 2004-2015 рр.

Показник	Узагальнене по групі підприємств річне значення показника											
	2004 р.	2005 р.	2006 р.	2007 р.	2008 р.	2009 р.	2010 р.	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.
Індекс системної збалансованості (E)	0,84	0,85	0,84	0,83	0,84	0,82	0,83	0,80	0,76	0,76	0,73	0,73
Інтегральний показник фінансової стійкості (F)	0,40	0,39	0,39	0,41	0,42	0,37	0,35	0,33	0,32	0,34	0,31	0,29

*Розраховано автором

З таблиці видно, що протягом усього аналізованого періоду значення узагальненого індексу системної збалансованості E коливались у діапазоні 0,73-0,85 (середнє – 0,80). Невеликий розмах варіації значень узагальненого індексу (коефіцієнт варіації склав 5,4 %) та його доволі високе значення пояснюються, напевно, обмеженістю вибірки та специфікою проведення процедури нормування індексних оцінок підсистем підприємства, передбаченої методикою вимірювання. Однак протягом усього аналізованого періоду чітко відслідковується спадна динаміка узагальненого індексу системної збалансованості – за цей час його значення зменшилось загалом на 13,1 %, середній темп приросту склав – 1,3 %.

Значення узагальненого інтегрального показника фінансової стійкості F коливались у діапазоні 0,29-0,42 (середнє – 0,36). Коефіцієнт варіації значень інтегрального показника склав 11,2 %. Майже протягом усього аналізованого періоду відслідковується спадна динаміка показника – за цей час його значення зменшилось загалом на 26,9 %, середній темп приросту склав 2,8 %.

Наступним завданням стало визначення статистично взаємозв'язку між узагальненими значеннями індексу системної збалансованості та інтегрального показника фінансової стійкості підприємств. З огляду на те, що значення обох показників належать до інтервального типу, їх статистичний взаємозв'язок оцінювався за допомогою коефіцієнту Пірсона, який відображає наявність або відсутність лінійної залежності. Розраховане за період 2004-2015 рр. значення коефіцієнту кореляції Пірсона склало 0,901. Помилка коефіцієнта кореляції $\pm 0,137$. Значення критерію t для кількості періодів спостереження $n = 12$ ($n - 2 = 10$) складає 6,562, що відповідає імовірності безпомилкового прогнозу $p > 99,9$ %. Це свідчить, що значення коефіцієнта кореляції є статистично значущим. Можна зробити висновок, що статистичний взаємозв'язок між показниками є лінійним, щільним та достовірним. На наявність лінійного зв'язку між параметрами вказує також графік співвідношення їх значень, наведений на рис. 3.

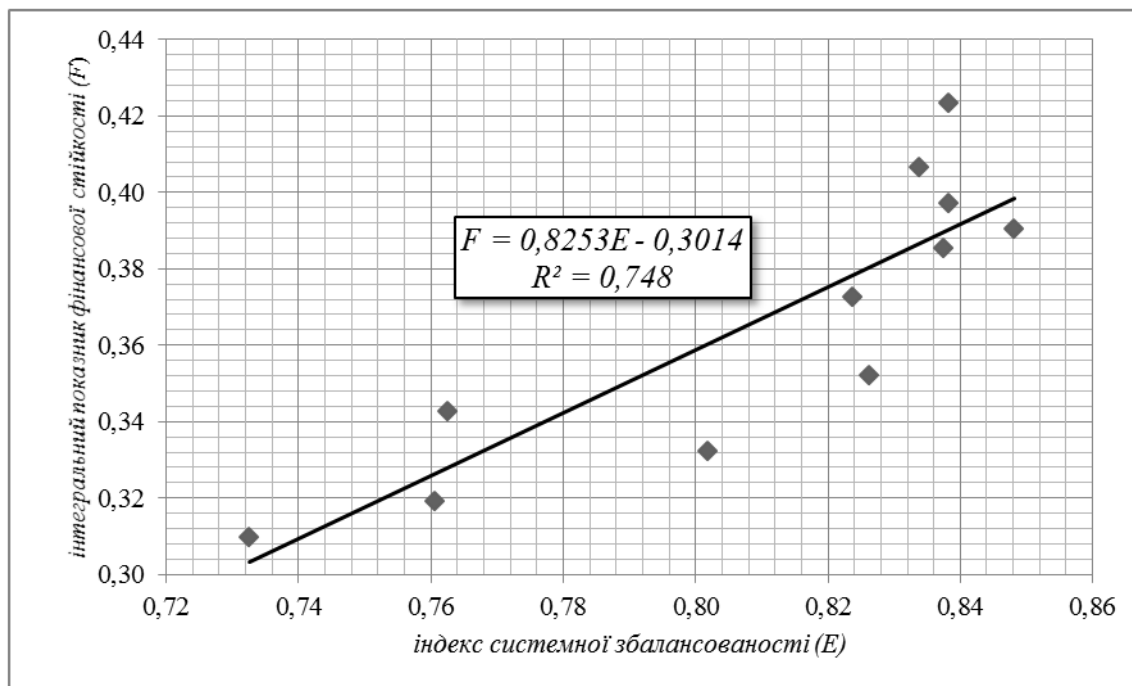


Рис. 3. Співвідношення між узагальненими по групі підприємств значеннями індексу системної збалансованості та інтегрального показника фінансової стійкості в період 2004-2015 рр.

**Розраховано автором*

Висновки та перспективи подальших розвідок

Наявність тісного лінійного взаємозв'язку між розрахованими значеннями індексу системної збалансованості та інтегрального показника фінансової стійкості фактично підтверджує висунуту гіпотезу про те, що рівень економічної стійкості обумовлюється рівнем взаємної збалансованості підсистем підприємства, що мають різні просторово-часові обмеження, та доводить правильність наших міркувань. Крім того, отримані в процесі дослідження позитивні результати можуть бути використані як перші емпіричні підтвердження достовірності базових положень неосистемної методологічної парадигми та аргументів для обґрунтування доцільності її подальшого розвитку. Наша безпосередня увага буде зосереджена на конкретизації та економічній інтерпретації отриманих результатів, а також розробці методів і інструментарію управління підприємством, спрямованого на підтримку просторово-часової збалансованості його підсистем.

Список літератури

1. Дьяконов, В. Математические пакеты расширения MatLab: специальный справочник [Текст] / В. Дьяконов, В. Круглов. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.
2. Клейнер, Г. Б. Ресурсная теория системной организации экономики [Текст] / Г. Б. Клейнер // Российский журнал менеджмента. – 2011. – №3. – Том 9. – С. 3-28.
3. Клейнер, Г. Б. Системная экономика как платформа развития современной экономической теории [Текст] / Г. Б. Клейнер // Вопросы экономики. – 2013. – №6. – С. 4-28.
4. Клейнер, Г. Б. Системная парадигма в экономических исследованиях: новый подход [Электронный ресурс] / Г. Б. Клейнер // Личный сайт Г. Б. Клейнера. – Режим доступа: <http://kleiner.ru>.

-
5. Кравченко, М. О. Формалізація концепції економічної стійкості підприємства з позицій системно-структурної економічної теорії [Текст] / М. О. Кравченко // Економіка та держава. – №12. – 2015.– С. 31-34.
 6. Положення про порядок здійснення аналізу фінансового стану підприємств, що підлягають приватизації: Затверджено спільним наказом Міністерства фінансів та Фонду державного майна України від 26.01.2001р., №49/121 [Електронний ресурс] / Верховна Рада України: офіційний веб-портал. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0121-01>.
 7. Субботін, С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень [Текст] / С. О. Субботін. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 341 с.
 8. Штовба, С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Текст] / С. Д. Штовба. – М.: Телеком, 2007. – 288 с.
 9. Kleiner, G. A new theory of economic systems and its application to economic policy studies [Text] / G. B. Kleiner // RRC Working Paper Series. – 2009. – №13. – Pp. 1-31.
 10. Kravchenko, M. Structural balance as a basis of the economic stability of an enterprise [Text] / M. Kravchenko // World Scientific News (WSN). – 2016. – Vol. 57. – Pp. 300-308.

References

1. Dyakonov, V., Kruglov, V. (2010). *Matematicheskie paketyi rasshireniya MatLab*. Sankt-Peterburg: Piter.
2. Kleyner, G. B. (2011). Resursnaya teoriya sistemnoy organizatsii ekonomiki. *Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta*, 3, 9, 3-28.
3. Kleyner, G. B. (2013). Sistemnaya ekonomika kak platforma razvitiya sovremennoy ekonomicheskoy teorii. *Voprosy ekonomiki*, 6, 4-28.
4. Kleyner, G. B. (2007). *Sistemnaya paradigma v ekonomicheskikh issledovaniyah: novyyi podhod*. Lichniy sayt G. B. Kleynera. Retrieved from: <http://kleiner.ru>.
5. Kravchenko, M. O. (2015). Formalizatsiya kontseptsii ekonomichnoy stiykosti pidpriemstva z pozitsiy sistemno-strukturnoy ekonomichnoy teorii. *Ekonomika ta derzhava*, 12, 31-34.
6. *Polozhennia pro poriadok zdiisnennia analizu finansovoho stanu pidpriemstv, shcho pidliahaiut pryvatyzatsii* (2001). Zatverdzheno spilnym nakazom Ministerstva finansiv ta Fondu derzhavnogo maina Ukrainy vid 26.01, №49/121. Ofitsiinyiveb-portal Verkhovnoy Rady Ukrainy. Retrieved from: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0121-01>.
7. Subbotin, S. O. (2008). *Podannya i obrobkaznan u sistemah shtuchnogo intelektu ta pidtrimki priynyattya rishen*. Zaporizhzhya: ZNTU.
8. Shtovba, S. D. (2007). *Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv i nechetkuyu logiku*. Moscow: Telekom.
9. Kleiner, G. (2009). A new theory of economic systems and its application to economic policy studies. *RRC Working Paper Series*, 13, 1-31.
10. Kravchenko M. (2016). Structural balance as a basis of the economic stability of an enterprise. *World Scientific News*, 57, 300-308.

Стаття надійшла до редакції 16.12.2016 р.