

*І. В. Мірошниченко,
старший викладач кафедри економіко-математичного моделювання,
Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана, м. Київ*

МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ КРАЇНИ

I. Miroshnychenko,
Senior Lecturer of the department of economic and mathematical modeling, Kyiv National Economic University
named after Vadym Hetman, Kyiv

ASSESSMENT MODEL OF COUNTRY'S INVESTMENT POTENTIAL

У статті запропоновано методологічний підхід до оцінювання інвестиційного потенціалу країни. Побудовано комплексну економіко-математичну модель, що складається з трьох рівнів ієрархії та ґрунтується на використанні апарату штучних нейронних мереж, а саме: карт самоорганізації Кохонена та інструментарії, теорії нечіткої логіки. Запропоновано ряд вхідних показників, що найбільше характеризують інвестиційний потенціал країни. Проведено аналіз сучасного стану країн світу за показниками інвестиційного потенціалу. Визначено кластер країн, подібних до України за показниками інвестиційного потенціалу. Запропоновано застосування інструментарію теорії нечіткої логіки на першому рівні ієрархії з метою оцінювання інвестиційного потенціалу країни. Проведене експериментальне дослідження засвідчило адекватність побудованих моделей та ефективність їх застосування з метою підтримки прийняття управлінських рішень.

The article provides the methodological approach to the assessment of investment potential. Constructed the integrated model that consists of three levels of hierarchy and based on using artificial neural networks (Kohonen self-organizing maps) and tools of fuzzy logic theory. Suggested several input indicators, which characterize investment potential of the country. Analyzed the current state of the world's countries in terms of investment potential. Also, the cluster of countries similar to Ukraine in terms of investment potential has been defined. Suggested the usage of the tools of theory of fuzzy logic on the first level of the hierarchy to assess the investment potential. Conducted experimental research confirms the adequacy of constructed models as well as effectiveness of their use to support decision-making.

Ключові слова: інвестиційний потенціал, штучна нейронна мережа, ієрархічна модель, нечітка логіка, карта Кохонена.

Key words: investment potential, artificial neural network, hierarchical model, fuzzy logic, Kohonen's map.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Залучення прямих іноземних інвестицій є однією з основних цілей економічного розвитку більшості країн світу, оскільки надає поштовх до запровадження нових експортно-імпортних проєктів, інституційних перетворень у країні та технологічної модернізації підприємств та організацій. Проте в сучасних реаліях нестабільності державних інститутів в Україні, незгодженості державної політики та суттєвої специфічності ведення бізнесу, досягнення значних, а головне, стабільних обсягів прямих іноземних інвестицій постає складною задачею. Особливо це помітно для країн із середнім та низьким рівнем достатку, для яких залучення іноземних коштів

— запорука економічного зростання та конкурентоспроможності. Всі ці негативні процеси поглиблюються на фоні світової економічної кризи. З одного боку, іноземні компанії та корпорації стали значно обережнішими при інвестуванні капіталу в інші країни, банки неохоче долучаються до фінансових інвестицій, а з іншого — урядам країн-реципієнтів важко забезпечити стабільне та привабливе середовище для інвестування. Тому актуальною є проблема оцінювання та прогнозування інвестиційного потенціалу країни з метою визначення можливостей країни з залучення інвестицій та пошуку шляхів підвищення інвестиційної привабливості економіки.

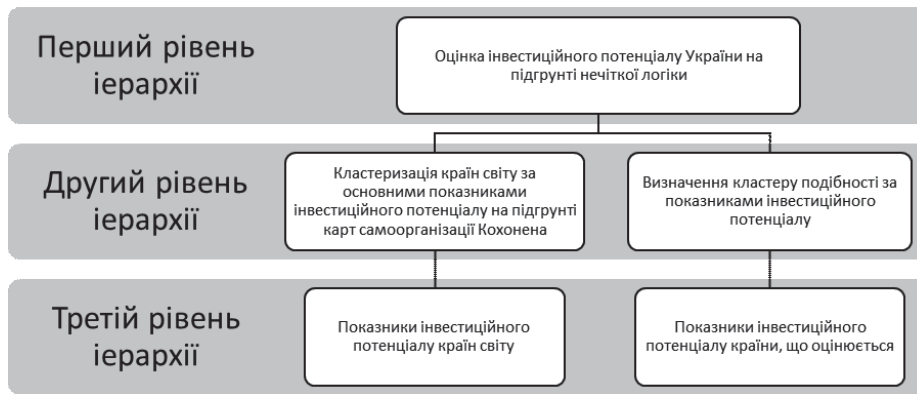


Рис. 1. Ієрархічна модель оцінювання інвестиційного потенціалу України

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ ТА ВИДІЛЕННЯ НЕ ВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Різноманітні теоретичні та практичні аспекти інвестиційного потенціалу було досліджено в роботах науковців та практиків таких, як О.І. Лайко [1], С.В. Леонов [2; 3; 4], І.А. Маринич [4], С.А. Павлова [5], Т.В. Романова [6], О.Г. Ултургашева [7] та інші. У той же час сфера інвестиційного потенціалу цікавить не тільки науковців, але й світових лідерів консалтингового та аудиторського бізнесу, серед яких International Finance Corporation [9], Deloitte [10], Ernst & Young [11], PricewaterhouseCoopers [12] та інші.

Ознайомлення з їх доробками підтверджує актуальність та важливість зазначеної проблематики. Разом з тим, проведений аналіз існуючих методів оцінювання інвестиційного потенціалу країни виявив, що існує необхідність у розробленні комплексу економіко-математичних моделей, які б враховували розпливчастість інформації щодо ключових факторів формування інвестиційного потенціалу, обмеженість статистичної інформації, експертні знання в предметній області тощо. Аналіз сучасного математичного апарату моделювання складних економічних процесів привів автора до висновку щодо доцільності побудови таких моделей на підґрунті інструментарію штучних нейронних мереж та теорії нечіткої логіки.



Рис. 2. Мапа країн світу, дані яких використовувались у дослідженні

МЕТА СТАТТІ

Метою статті є розробка методологічного підходу до оцінки інвестиційного потенціалу країни та побудова відповідного комплексу економіко-математичних моделей.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Ураховуючи результати попередніх досліджень автора, для більш наочного відображення процесу моделювання інвестиційного потенціалу країни пропонуємо ієрархічну модель, що складається з трьох рівнів (рис. 1).

Розглянемо дану модель у висхідному порядку.

Третій рівень ієрархії. Розуміння та опис такого складного об'єкту дослідження, як інвестиційний потенціал країни, вимагає одночасного розгляду та врахування численного набору показників, що характеризують його різноманітні аспекти і співвідношення. При цьому головною задачею у пошуку, зборі та аналізі даних є представлення їх у зрозумілій формі зі збереженням інформативності.

Статистичні показники, що використовуються в аналізі інвестиційного потенціалу країни, були відібрані з різноманітних джерел інформації [13; 14]. Набір даних був зібраний, щоб відобразити якомога більше аспектів інвестиційної привабливості країни як з боку потенційного інвестора, так і зі сторони країни-реципієнта. З метою порівнянності країн між собою всі показники були зведені до відносних величин.

Для оцінювання інвестиційного потенціалу кожної з країн, відібраних для аналізу, пропонується взяти 41 вхідний показник (x), що за принципами вичерпності та інформативності найбільше характеризують інвестиційну привабливість країни. Кожен з показників моделі представлений щорічними часовими рядами довжиною у 10 років (2005—2014 рр.). Обрані показники характеризують розвиток та потенціал фондового ринку, ринку трудових ресурсів, обсяги валового національного продукту, грошей, специфіку ціноутворення, торгівлі, уряду, бізнесу, споживача, податків.

За вихідний показник (y) обрано прями іноземні інвестиції (% ВВП), що найбільш підходить для відображення реалізації інвестиційного потенціалу країни.

Зауважимо, що показники не всіх країн були доступні в повному обсязі. Дану проблему було вирішено трьома шляхами: 1) доповнення пропущених даних додатковими базами даних, зокрема [15]; 2) виключення показників, дані по яким неможливо "відновити", якщо вони пропущені для значної кількості країн; 3) виключення країн, більшість даних яких відсутні. У результаті такого формування масиву даних для дослідження було відібрано 123 країни. На рисунку 2 світлим кольором виділені країни, які не було враховано в дослідженні через відсутність достатнього обсягу інформації, темним кольором — країни, що відібрані для аналізу інвестиційного потенціалу. Країна для якої оцінюється інвестиційний потенціал обрана Україна.

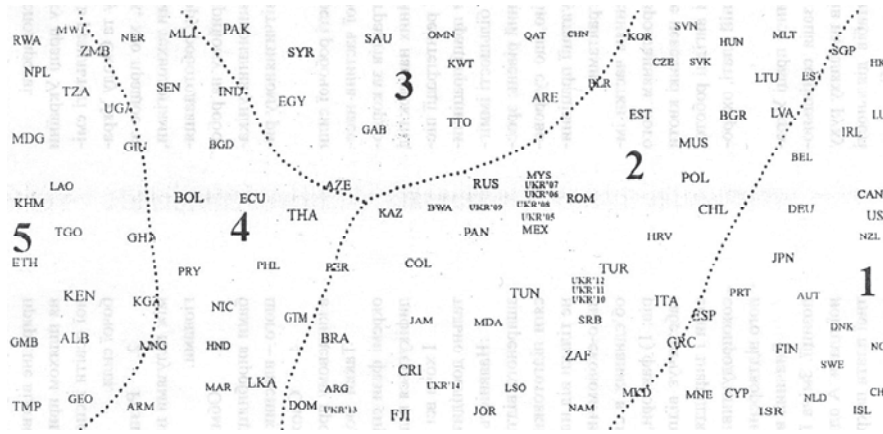


Рис. 3. Кластеризація країн світу за показниками інвестиційного потенціалу

Другий рівень ієрархії. Математичною основою розрахунків на даному рівні ієрархії є штучна нейронна мережа на основі карт самоорганізації Т. Кохонена. Цей тип нейронних мереж дає можливість отримати кластери однорідних об'єктів дослідження (в нашій задачі — найбільш подібні країни за показниками інвестиційного потенціалу) [16].

Опишемо процедуру побудови даної нейронної мережі. Вхідний простір показників $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \in X \subset \mathcal{R}^n$, відображається на двовимірну гексагональну решітку нейронів (вузлів карти Кохонена), де X — множина всіх можливих показників; \mathcal{R}^n — множина дійсних чисел. Кожному вузлу карти $i, i = \overline{1, k}$ ставиться у відповідність параметричний вектор моделі $\mathbf{m}_i = \{\mu_{i1}, \mu_{i2}, \dots, \mu_{in}\} \in \mathcal{R}^n$, де k — кількість нейронів карти.

Перед початком проведення навчання нейронної мережі всі ваги $\mu_{ij}, i = \overline{1, k}, j = \overline{1, n}$, ініціалізуються за допомогою генератора випадкових величин. Після ініціалізації мережі запускається так званий процес конкуренції, який полягає у визначенні найбільш подібних нейронів до векторів вхідних даних. Найбільш поширеним підходом до визначення подібності векторів є обчислення Евклідової відстані між ними:

$$\|\mathbf{x} - \mathbf{m}_i\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j - \mu_{ij})^2}, \quad i = \overline{1, k} \quad (1)$$

Після подання вхідних векторів на входи нейронів, відбувається змагання нейронів шару Т. Кохонена за правилом "переможець отримує все", згідно з якими обирається нейрон-переможець, що є найближчим до вхідного вектора:

$$c = \arg \min_i \|\mathbf{x} - \mathbf{m}_i\| \quad (2)$$

Після визначення нейрона-переможця здійснюється визначення міри його впливу на сусідні нейрони. Нейрон-переможець знаходиться в центрі топологічного околу. При збудженні він впливає на просторово близькі до нього нейрони, проте даний вплив зменшується із збільшенням відстані до нейронів. Даний процес визначає топологічне сусідство нейронів, коли близько розташовані вузли карти отримують схожі характеристики.

На заключному етапі побудови карти самоорганізації відбувається процес синаптичної адаптації, який полягає у корегуванні вектора синаптичних ваг нейрона-переможця та його сусідів відповідно до вектора вхідних даних:

$$\mathbf{m}_i(t+1) = \mathbf{m}_i(t) + v(t) \cdot h_{ci}(t) \cdot [\mathbf{x}(t) - \mathbf{m}_i(t)] \quad (3)$$

$$h_{ci}(t) = h(\|r_c - r_i\|; t) \quad (4)$$

де $v(t)$ — параметр швидкості навчання, що з кожною епохою навчання t зменшується; $h_{ci}(t)$ — функція топологічного сусідства з центром у нейроні-переможці; r_c та r_i —

координати геометричного розташування вузлів нейрона-переможця та інших вузлів на карті.

Алгоритм самоорганізації карт Кохонена являє собою унікальний метод, оскільки поєднує в собі алгоритми зменшення розмірності багатовимірних векторів даних та кластеризації. Він може бути застосований одночасно для візуалізації кластерів і збереження нелінійних закономірностей у структурах вхідних даних. Головною особливістю такого типу нейронних мереж є навчання "без вчителя", коли для коректного налаштування синаптичних ваг не потрібна інформація щодо бажаного відгуку мережі.

У межах даного дослідження на другому рівні ієрархії карти самоорганізації використовуються для узагальнення складного набору даних та кластеризації країн за показниками, що найбільше впливають на інвестиційний потенціал країни.

На даний час існує низка сучасних програмних пакетів, котрі реалізують інструментарій побудови карт самоорганізації Кохонена. Серед них виділимо: MATLAB, Deductor Studio Academic, SOMine, STATISTICA та багато інших. Для вирішення поставлених у нашому дослідженні задач побудову економіко-математичної моделі здійснено із застосуванням програмного продукту Deductor Studio Academic.

Для побудови карти самоорганізації слід визначити оптимальну кількість нейронів, що здійснюється експериментально відповідно до поставленої задачі та з урахуванням особливостей досліджуваних показників. Розмірність карти самоорганізації (кількість нейронів) у нашому дослідженні була обрана з низки варіантів за критерієм середньо-озваженої помилки квантування. Матриця помилок квантування відображає середню відстань між прикладом та центрами клітинок (які відповідають вузлам решітки карти Кохонена). Кожен приклад відображається у багатовимірному просторі, де кількість вимірів відповідає кількості вхідних показників (елементів вектора вхідних даних). Центр клітинки — точка у цьому просторі з координатами, що дорівнюють вагам нейрона. Чим менша відстань від вектора вхідних даних до центра клітинки, тим ближче до неї розташований приклад, що описується цим вектором.

У результаті проведених численних експериментів було визначено найраціональнішу структуру карти самоорганізації країн світу за показниками інвестиційного потенціалу, що являє собою решітку розмірністю 70 на 30 нейронів, як видно з рисунку 3. Така структура карти забезпечила відображення географічної організації країн світу, хоча жодної географічної інформації для моделі не було надано. Так, наприклад, у правій частині карти самоорганізації згруповані країни-учасники ОЕСР — організації економічного співробітництва та розвитку (кластер 1 на рис. 2); значна кількість країн згрупована у другому кластері — країни Центральної та Південної Америки, Східної Європи (2); пере-

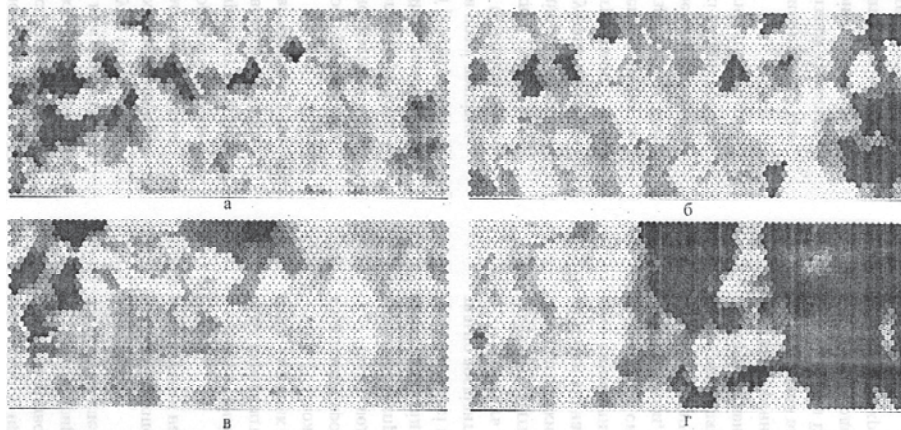


Рис. 4. Візуалізація значень деяких показників за допомогою карти самоорганізації: а) індекс сприйняття корупції; б) індекс легкості ведення бізнесу; в) найманих працівників (% від загальної кількості працівників); г) сільське господарство, додана вартість (% від ВВП)

важна більшість арабських країни займають центральну верхню частину карти Кохонена (3 кластер); країни Азії та Африки — ліву частину карти (4 та 5 кластери, відповідно).

Зміна значень більшості показників відбувається здебільшого у горизонтальному напрямку, як можна бачити з рисунку 4. З аналізу наведених карт самоорганізації можна дійти висновку, що інвестиційний потенціал збільшується від африканських країн зліва до країн-учасників ОЕСР, що розташовані у правих частинах карт.

На заключному етапі розрахунків на другому рівні ієрархії визначається розташування основної країни дослідження інвестиційного потенціалу (України) та кластер, до якого вона належить. На вхід побудованої карти самоорганізації Кохонена вводяться показники цієї країни, на основі яких модель визначає її місце на гексагональній решітці нейромережі і повертає координати нейрону та номер кластеру, до якого віднесено дану країну. Так можна отримати коло країн світу, що схожі/подібні за показниками інвестиційного потенціалу на країну, що оцінюється. За результатами експериментального дослідження Україна протягом останніх 10 років потрапляла до другого кластеру на рисунку 3. Відповідно, можна зробити висновок, що Україна найбільш подібна до країн цього кластеру за показниками інвестиційного потенціалу.

Зважаючи на те, що економіка та умови ведення інвестиційної діяльності країн з інших кластерів суттєво відрізняються від України, доречно здійснювати побудову моделі виявлення залежності впливу різноманітних факторів на інвестиційний потенціал без урахування невластивих Україні характеристик. Тобто є сенс проводити оцінювання інвестиційного потенціалу України у порівнянні з країнами другого кластеру.

Перший рівень ієрархії. Враховуючи результати розрахунку на другому рівні ієрархії, на заключному етапі побудови комплексу економіко-математичних моделей оцінювання інвестиційного потенціалу країни в рамках розробле-

ного концептуального підходу пропонується застосування інструментарію теорії нечіткої логіки [17].

Центральне місце у теорії нечіткої логіки займає поняття лінгвістичної змінної. Лінгвістична змінна характеризується набором $\langle \beta, T, X, U \rangle$, де: β — назва лінгвістичної змінної; T — терм-множина значень, тобто множина лінгвістичних значень змінної X , причому кожне з таких значень характеризується нечіткою множиною, визначеною на універсальній множині U .

Структуру процесу нечіткого виводу представлено на рисунку 5, де використано наступні позначення: $\mu^{i_i}(x_i)$ — функція належності i -го показника i -ому терму терм-множини значень відповідної лінгвістичної змінної, $i = \overline{1, I}$, $l = \overline{1, S}$; t_{il} — l -ий терм терм-множини лінгвістичної змінної, яка описує i -ий вхідний показник; $\mu^{p_j}(y)$ — функція належності вихідного показника y i -ому терму терм-множини значень відповідної лінгвістичної змінної, яка залежить від вхідних показників (x_1, x_2, \dots, x_I) ; p_j — j -ий терм терм-множини значень лінгвістичної змінної, що характеризує вихідний показник y .

ВИСНОВКИ

У статті запропонований методологічний підхід до побудови комплексу економіко-математичних моделей оцінювання інвестиційного потенціалу країни, в основу якого покладено такі основні методи дослідження: штучні нейронні мережі та інструментарій теорії нечіткої логіки.

Для аналізу та оцінювання інвестиційного потенціалу відібрано 41 вхідний показник, що за принципами вичерпності та інформативності найбільше характеризують інвестиційну привабливість країни.

На основі даних показників побудовано штучну нейронну мережу на підґрунті карт самоорганізації Кохонена. Даний тип нейронної мережі дозволив сформулювати 5 кластерів,

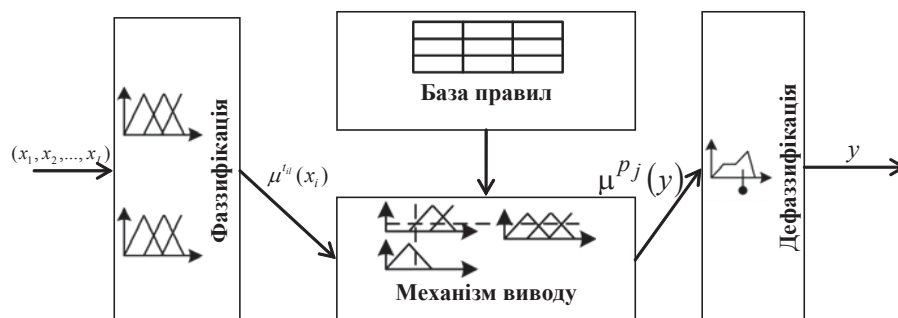


Рис. 5. Структура процесу нечіткого виводу

кожен з яких містить найбільш подібні між собою країни за показниками інвестиційного потенціалу.

Зважаючи на те, що за результатами експериментального дослідження Україна протягом останніх 10 років потрапляла до другого кластеру (до якого переважно входять країни Центральної та Південної Америки, Східної Європи), запропоновано проводити оцінювання інвестиційного потенціалу України у порівнянні саме з країнами із даного кластеру.

Подальшим етапом дослідження є оцінювання інвестиційного потенціалу України на підґрунті інструментарію нечіткої логіки, де налаштування параметрів відповідної економіко-математичної моделі здійснюватиметься на основі показників країн, які разом з Україною представляють другий кластер на карті Кохонена.

Література:

1. Лайко О. І. Шляхи відтворення інвестиційного потенціалу країни та регіонів [Текст] / О. І. Лайко // Економічні інновації. Випуск 42: Інноваційний інструментарій розвитку господарської діяльності. Збірник наукових праць. — 2011. — С. 129—139.
2. Леонов С. В. Використання інвестиційного потенціалу банків у фінансовому забезпеченні інноваційного розвитку в Україні / С. В. Леонов // Проблеми фінансового забезпечення інноваційного розвитку: монографія / За заг. ред. Т. А. Васильєвої, В. Г. Боронос. — Суми: Вид-во СумДУ, 2009. — С. 178—199.
3. Леонов С. В. Інвестиційний потенціал банківської системи України: монографія / С. В. Леонов. — Суми: ДВНЗ "УАБС НБУ", 2009. — 375 с.
4. Леонов С. В. Проблеми та перспективи використання інвестиційного потенціалу банківської системи в забезпеченні соціально-економічного розвитку міста / С. В. Леонов // Інвестиційне забезпечення соціально-економічного розвитку міста [Текст]: монографія: у 2 т. — Т. 2. Інструменти інвестиційного забезпечення соціально-економічного розвитку міста / [за заг. редакцією д-ра екон. наук А. О. Єпіфанова і д-ра екон. наук Т. А. Васильєвої]. — Суми: ДВНЗ "УАБС НБУ", 2009. — С. 180—187.
5. Маринич І. А. Наукові підходи до формування потенціалу підприємства / І. А. Маринич, Н. Р. Кадилович // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України: зб. наук.-техн. пр. — Львів, 2010. — Вип. 20. 15. — С. 220—223.
6. Романова Т. В. Теоретико-методологічні засади оцінки інвестиційного потенціалу регіонів / Т. В. Романова // Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету. — 2009. — № 24. — С. 209—212.
7. Павлова С. А. Инвестиционно-строительная компания: оценка структуры инвестиционного потенциала [Текст] / С. А. Павлова // Креативная экономика. — 2007. — № 4. — С. 151—154.
8. Ультургашева О. Г. Экономическая сущность и структура инвестиционного потенциала региона [Текст] / О. Г. Ультургашева, А. В. Лавренко, Д. А. Профатилев // Проблемы современной экономики: Евразийский международный научно-аналитический журнал. — 2011. — № 1 (37). — С. 227—229.
9. Investment Potential in EMENA [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.ifc.org>
10. The investment potential of sub-Saharan Africa [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.deloitte.com>
11. Renewable energy country attractiveness index [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.ey.com>
12. South East Asia Investment Opportunities — Tax & Other Incentives [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.pwc.com>
13. Статистична інформація за даними Світового банку [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.data.worldbank.org>

14. Статистична інформація за даними ОЕСР [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://data.oecd.org>

15. Trading Economics database [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.tradingeconomics.com>

16. Kohonen T. Self-organizing maps. 3d ed. — New-York: Springer, 2001. — 501 p.

17. Матвійчук А. В. Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка: монографія / А. В. Матвійчук. — К.: КНЕУ, 2011. — 439 с.

References:

1. Layko, A. (2011), "Ways of the country and regions investment potential renewal", *Economic Innovation*, vol. 42, pp. 129—139.
2. Lieonov, S. V. (2009), *Vykorystannia investytsijnoho potentsialu bankiv u finansovomu zabezpechenni innovatsijnoho rozvytku v Ukraini* [Usage of investment potential of banks in the financial providing of innovative development in Ukraine], SumDU, Sumy, Ukraine.
3. Lieonov, S. V. (2009), *Investytsijnyj potentsial bankiv's'koi systemy Ukrainy: monohrafiia* [Investment potential of the banking system of Ukraine], UABS NBU, Sumy, Ukraine.
4. Lieonov, S. V. (2009), *Problemy ta perspektyvy vykorystannia investytsijnoho potentsialu bankiv's'koi systemy v zabezpechenni sotsial'no-ekonomichnoho rozvytku mista* [Problems and prospects of the investment potential of the banking system to ensure the socio-economic development], UABS NBU, Sumy, Ukraine.
5. Marynych, I. A. (2010), "Scientific approaches to capacity building enterprise", *Naukovyj visnyk Natsional'noho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy*, vol. 20. 15, pp. 220—223.
6. Romanova, T. V. (2009), "Theoretical and methodological principles of assessment of investment potential of regions", *Zbirnyk naukovykh prats' Cherkas'koho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu*, vol. 24, pp. 209—212.
7. Pavlova, S. A. (2007), "Investment and Construction Company: Assessment of the investment potential of the structure", *Kreativnaja jekonomika*, vol. 4, pp. 151—154.
8. Ulturgasheva, O. Lavrenko, A. and Profatilov, D. (2011), "Economic essence and the structure of the region's investment potential", *Problems of Modern Economics*, vol. 1 (37), pp. 227—229.
9. International Finance Corporation (2013), "Investment Potential in EMENA", available at: <http://www.ifc.org> (Accessed 10 March 2016).
10. Deloitte US (2014), "The investment potential of sub-Saharan Africa", available at: <http://www.deloitte.com> (Accessed 10 March 2016).
11. Ernst & Young (2015), "Renewable energy country attractiveness index", available at: <http://www.ey.com> (Accessed 10 March 2016).
12. PricewaterhouseCoopers (2012), "South East Asia Investment Opportunities — Tax & Other Incentives", available at: <http://www.pwc.com> (Accessed 10 March 2016).
13. World Bank (2015), "World Development Indicators", available at: <http://www.data.worldbank.org> (Accessed 10 March 2016).
14. OECD Data (2015), "OECD Statistics", available at: <https://data.oecd.org> (Accessed 10 March 2016).
15. Trading Economics (2015), "Trading Economics database", available at: <http://www.tradingeconomics.com> (Accessed 10 March 2016).
16. Kohonen, T. (2001), *Self-organizing maps*, 3rd ed, Springer, New-York, USA.
17. Matviychuk, A. V. (2011), *Shtuchnyj intelekt v ekonomitsi: nejronni merezhi, nechitka lohika* [Artificial intelligence in the economy: neural networks, fuzzy logic], KNEU, Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 22.03.2016 р.