



МЕТОДИ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

<https://doi.org/10.15407/economyukr.2020.10.054>

УДК 330.42:336.01

JEL: C02, C15, D81, E47

О.М. ВАСИЛЬЄВ, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
професор кафедри теоретичної фізики,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
вул. Володимирська, 64/13, 01601, Київ, Україна,
e-mail: alex@vasilev.kiev.ua,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7862-7792>

СКОРИНГОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РЕЙТИНГУ ПОЗИЧАЛЬНИКА БАНКУ

Досліджено застосування нейронних мереж у скоринговому моделюванні. Розглянуто загальні підходи, які можуть використовуватися для створення скорингових моделей на основі нейронних мереж. Проаналізовано переваги та недоліки таких підходів, отримані теоретичні результати перевірено на штучно згенерованій базі даних з відомим розподілом характеристик, оцінених з використанням нейронної мережі.

Ключові слова: скоринг; нейронна мережа; рейтингова функція; апроксимація; функція активації.

Важливе наукове і прикладне значення має задача розрахунку рейтингових оцінок клієнтів банків щодо можливості надання кредитів (наприклад [1—3]). Більш конкретно йдеться про те, що за набором параметрів, які характеризують потенційних отримувачів кредиту, необхідно розрахувати числову характеристику — рейтинг, на основі якого робиться висновок про можливість або неможливість надання кредиту [4—6]. Слід відразу зазначити, що створенню та використанню різних математичних моделей (у тому числі й на основі нейронних мереж) присвячено значну кількість досліджень, а самі питання є одним з найактуальніших у вивченні фінансово-економічної діяльності банківських установ (наприклад [7—12] та посилання, що містяться там).

З математичної точки зору, йдеться про визначення функції багатьох змінних (параметрів оцінки отримувача кредиту) на основі статистичних

Ц и т у в а н н я: Васильєв О.М. Скорингове моделювання на основі нейронних мереж для визначення рейтингу позичальника банку. *Економіка України*. 2020. № 10. С. 54—62. <https://doi.org/10.15407/economyukr.2020.10.054>

даних відносно показників кредитування за минулі роки. Головна методологічна проблема пов'язана в першу чергу з тим, що вигляд зазначеної рейтингової функції від багатьох змінних заздалегідь не відомий. Тому на початковому етапі, як правило, пропонується загальний вигляд такої функції (часто це лінійна залежність по всіх параметрах), а феноменологічні параметри, які входять у вираз для рейтингової функції, визначаються на основі статистичних даних. Слабким місцем даного підходу є те, що результат на якісному рівні залежить від того, наскільки вдало підбрано вираз для рейтингової функції. Також важливим є припущення, що залежність рейтингу від параметрів, які характеризують отримувача кредиту, взагалі існує, що насправді не є очевидним.

Метод моделювання на основі використання нейронних мереж (наприклад [13—16]), хоча і є технічно складним, однак має беззаперечну перевагу: він дозволяє виконувати моделювання, не конкретизуючи вигляд для апроксимуючої функції. Натомість постулюється лише структура нейронної мережі, на основі якої виконується моделювання. Даний підхід використовується у статті.

Отже, **мета статті** — показати, як методи нейромережевого моделювання можуть успішно використовуватися для побудови рейтингових залежностей.

Для цього ми задіємо, зокрема, нейронну мережу, аби відновити відому рейтингову функцію на основі певної кількості базових точок. У такому випадку можна буде порівняти результат, отриманий за допомогою нейронної мережі, з «точним» виразом для рейтингової функції, адже в разі практичного використання нейронної мережі на емпіричному масиві даних така можливість відсутня, оскільки апріорі рейтингова функція є невідомою. Як буде показано далі, нейронна мережа, навіть надзвичайно простої структури, дозволяє відновлювати суттєво неаналітичні рейтингові функції.

ПОБУДОВА РЕЙТИНГОВОЇ ФУНКЦІЇ

Отже, задача полягає в тому, щоб за певним набором параметрів, які характеризують позичальника (наприклад, вік, стать, освіта, середня зарплата), розрахувати деяку числову характеристику (рейтинг), на основі якої й прийматиметься рішення щодо надання чи ненадання кредиту. Іншими словами, необхідно визначити функцію $f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ від параметрів X_1, X_2, \dots, X_n , які описують позичальника, як таку, що при перевищенні певного значення f_c (тобто за умови $f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) > f_c$) позичальник отримує кредит. При цьому загальний вигляд функції $f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ не відомий. Не обмежуючи загальності, можемо вважати, що рейтингова функція $f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ приймає значення в діапазоні від 0 до 1 (тобто має місце співвідношення $0 \leq f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \leq 1$). Крім того, слід урахувати, що серед параметрів, які описують позичальника, можуть бути як неперервні, так і дискретні. Нехай дискретні параметри приймають значення 0, 1, 2 і т. д. Наприклад, можна вважати, що параметр, який визначає стать позичальника, приймає значення 0 або 1. Тоді при створенні рейтингової функції можна було б визначити таку функцію для кожного набору значень дискретного параметра

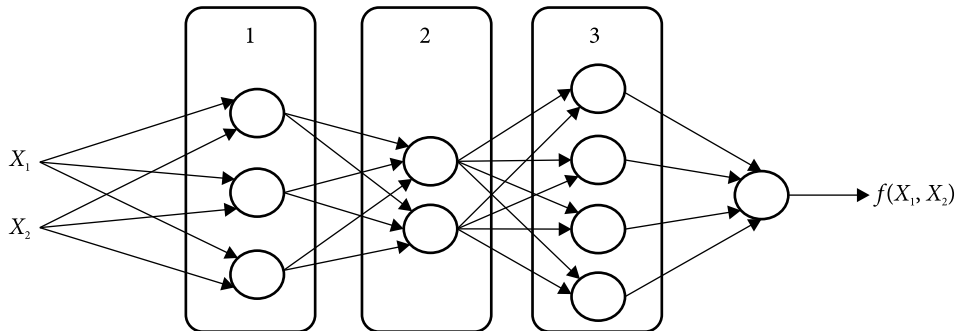


Рис. 1. Нейронна мережа з трьох прошарків для відтворення функції, яка залежить від двох параметрів. Нейрони позначено колами, стрілки вказують напрямки передання «сигналу»
Джерело тут і рис. 2—5: побудовано автором.

окремо. Скажімо, якщо X є неперервним, а A — дискретним параметром (з можливими значеннями 0 та 1), то рейтингову функцію $f(X, A)$, залежну від цих параметрів, шукаємо у вигляді

$$f(X, A) = Af_1(X) + (1-A)f_2(X), \quad (1)$$

де через $f_1(X)$ та $f_2(X)$ позначено інші невідомі функції, але вже від одного параметра X . Ці функції визначаються на основі статистичних даних, відповідно, при $A = 1$ та $A = 0$. Разом з тим принципова проблема при цьому не знімається — у загальному випадку функціональний вигляд для відповідних залежностей не відомий, що створює серйозні перешкоди на шляху вирішення задачі. Вихід, на нашу думку, може бути у використанні нейронних мереж.

МОДЕЛЮВАННЯ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Нейронна мережа, по суті, являє собою послідовність елементів (нейронів), які виконують нелінійні перетворення. Кожен нейрон отримує декілька значень (сигналів) на вході й видає певне значення на виході. Значення на виході розраховується таким чином. Спочатку береться лінійна комбінація всіх значень, отриманих нейроном на вході. Після цього дане значення передається аргументом функції, яка називається функцією активації нейрона. Вона визначає нелінійне перетворення, яке виконує нейрон. Значення функції активації є сигналом, котрий генерує нейрон.

Усі нейрони в нейронній мережі розбито по групах, кожна з яких називається прошарком нейронів. Кожен із сигналів, які генеруються нейронами в певному прошарку, подається на вхід кожного з нейронів наступного прошарку. Кількість прошарків та кількість нейронів у різних прошарках визначають архітектуру нейронної мережі. Схематично описану послідовність перетворень подано у вигляді набору вузлів (нейронів), які передають «сигнал» (виконують нелінійні перетворення) [7; 8]. Як ілюстрація на рис. 1 наведено схему нескладної нейронної мережі, призначеної для відтворення функції, яка залежить від двох параметрів.

У даному випадку нейронна мережа має три прошарки з нейронами: перший містить три нейрони, другий — два, третій — чотири нейрони. Ней-

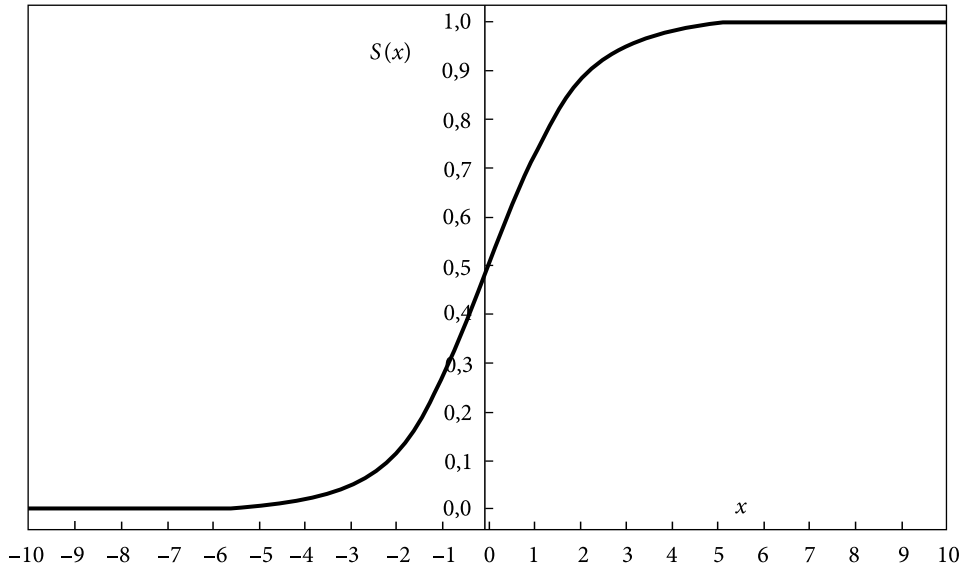


Рис. 2. Функція активації нейрону сигмоїдного типу

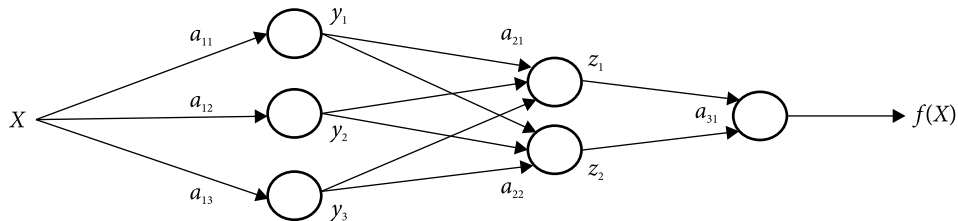


Рис. 3. Мережа для відтворення модельної рейтингової функції, залежної від одного параметра

рони першого прошарку отримують на вході значення параметрів X_1 і X_2 , а сигнал з нейронів останнього прошарку передається на вихідний нейрон. Значення, яке генерує вихідний нейрон, ототожнюємо із значенням функції $f(X_1, X_2)$. Таким чином, для кожного набору значень параметрів X_1 і X_2 нейронна мережа шляхом виконання послідовності нелінійних перетворень розраховує значення $f(X_1, X_2)$. Отже, маємо певну функціональну залежність, яка, на відміну від класичного способу моделювання, виражається не математичною формулою, а задається нейронною мережею певної архітектури.

Крім вибору архітектури нейронної мережі, необхідно визначити параметри, які входять до лінійних комбінацій при розрахунку аргументу для функції активації нейрону. Цей процес називається «навчання нейронної мережі», виконується на основі наявних статистичних даних і зводиться до підбору таких параметрів, за яких функція втрат набуває найменшого значення. Що стосується функції активації нейрону, то тут існують різні варіанти, однак досить поширеним на практиці є використання функції активації сигмоїдного типу:

$$S(x) = 1/(1+\exp(-x)). \quad (2)$$

Дана функція приймає значення в діапазоні від 0 до 1. На рис. 2 наведено графік залежності функції активації нейрона $S(x)$ від аргументу x .

Слід зазначити декілька важливих обставин, які ускладнюють не тільки використання нейронних мереж на практиці, але й створюють серйозні перепони на шляху теоретичного вивчення даного питання. Усі ці обставини тією чи іншою мірою пов'язані з якістю та доступністю фактичних даних, на основі яких мала б створюватися мережа. Справа в тому, що інформація щодо кредитних історій позичальників банків, як правило, є закритою, а створені на відповідних даних моделі становлять комерційну таємницю [11]. Більше того, побудова нейронної мережі на основі певного набору даних передбачає, що відповідна вибірка є репрезентативною. Отже, наукове дослідження фактично має починатися вже на етапі підбору даних, що ще більше ускладнює задачу. Разом з тим вихід із ситуації є, і він може базуватися на використанні модельних даних.

МОДЕЛЬНА СИСТЕМА

Як приклад застосування нейронних мереж для відтворення рейтингових функцій розглянемо ситуацію, коли рейтингова функція залежить лише від одного параметра X . Архітектуру мережі, яка використовується для відтворення рейтингової функції, подано на рис. 3.

Крім вихідного нейрона, мережа має два прошарки: у першому містяться три нейрони, у другому — два нейрони. За заданого значення параметра X , на нейрони першого прошарку подаються значення

$$a_{1k} = U_k X + b_1, \quad (3)$$

де індекс $k = 1, 2, 3$. На виході нейрони першого прошарку продукують значення

$$y_k = S(a_{1k}). \quad (4)$$

На вхід нейронів другого прошарку (індекс $m = 1, 2$) подаються значення

$$a_{2m} = V_{m1}y_1 + V_{m2}y_2 + V_{m3}y_3 + b_2, \quad (5)$$

а на виході ці нейрони видають значення

$$z_m = S(a_{2m}). \quad (6)$$

На вхід вихідного нейрона подається значення

$$a_{31} = W_{1z1} + W_{2z2} + b_3, \quad (7)$$

а значення на виході розраховується відповідно до співвідношення

$$f(X) = S(a_{31}). \quad (8)$$

Усі параметри, які входять у вирази (3)—(8), розраховуються на основі набору емпіричних даних шляхом мінімізації функції втрат

$$L = -\sum_n (f_n \ln(f(X_n)) + (1 - f_n) \ln(1 - f(X_n))), \quad (9)$$

де сума береться по набору статистичних значень, параметр f_n є значенням рейтингу при значенні параметра X_n , а $f(X_n)$ є значенням, яке розраховується на основі нейронної мережі. Для визначення параметрів мережі потрібен

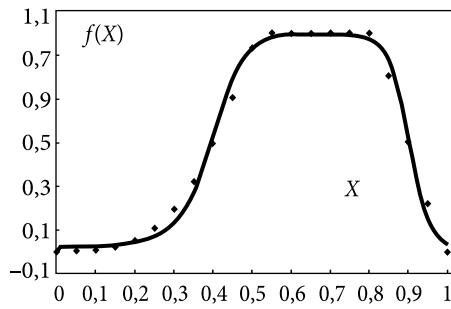


Рис. 4. Результат відтворення рейтингової функції, визначеної відповідно до співвідношення (10)

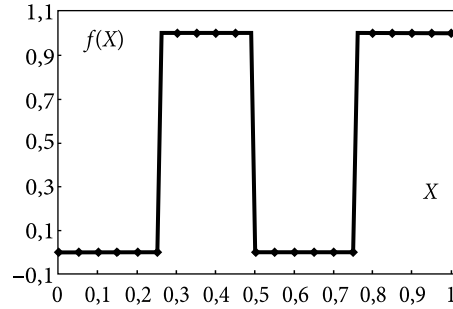


Рис. 5. Результат відтворення рейтингової функції, визначеної відповідно до співвідношення (11)

набір статистичних даних. При цьому бажано мати можливість перевірити, наскільки вдало нейронна мережа моделює вихідну залежність. Для цього виберемо апріорі відому рейтингову функцію, згенеруємо за її допомогою набір рівновіддалених точок, а потім на основі цих значень визначимо параметри нейронної мережі.

Вважатимемо, що параметр X приймає значення в діапазоні від 0 до 1. Як модельну рейтингову функцію розглянемо таку:

$$F(X) = \min(7X(1 - X) \exp(-10(X - 0,75)^2), 1). \quad (10)$$

На рис. 4 зображено множину рівновіддалених (крок дискретності 0,05) точок і криву, побудовану на основі роботи нейронної мережі.

У табл. 1 наведено значення для параметрів нейронної мережі, одержані шляхом мінімізації функціоналу (9) для даних, отриманих на основі модельної рейтингової функції (10).

Ще одна версія модельної рейтингової функції — це «функція-стовпчик», яка приймає тільки два значення (0 або 1) для різних значень аргументу. Зокрема, для створення набору значень для «навчання нейронної мережі» використаємо функцію

$$F(X) = 1, \quad (11)$$

якщо $0,25 < X < 0,5$ або $X > 0,75$ та $F(X) = 0$ у всіх інших випадках. Як і в попередньому випадку, для рейтингової модельної функції (11) створюємо на-

Таблиця 1. Параметри нейронної мережі для відновлення функції (10)

Параметр	Значення	Параметр	Значення
U_1	0,936	W_2	2810,450
U_2	1563,536	V_{11}	-143,896
U_3	3,188	V_{12}	-186,384
b_1	-1,452	V_{13}	-26,649
b_2	-1,769	V_{21}	-76,295
b_3	-6,657	V_{22}	5,341
W_1	56,231	V_{33}	21,435

Джерело тут і табл. 2: складено автором.

Таблиця 2. Параметри нейронної мережі для відновлення функції (11)

Параметр	Значення	Параметр	Значення
U_1	24,207	W_2	1707,754
U_2	-43,824	V_{11}	716,676
U_3	13,725	V_{12}	232,184
b_1	-12,938	V_{13}	46,703
b_2	0,166	V_{21}	-4,767
b_3	-2276,887	V_{22}	5,322
W_1	1843,675	V_{33}	49,510

бір рівновіддалених (з інтервалом 0,05) точок і на їх основі визначаємо параметри нейронної мережі. Табл. 2 містить значення для параметрів нейронної мережі (з архітектурою, представленою на рис. 3), отримані шляхом мінімізації функціоналу (9) на базі даних, одержаних для модельної функції (11).

На рис. 5 графічно зображено результат відтворення цієї рейтингової функції за допомогою нейронної мережі.

Таким чином, в обох випадках на основі нейронної мережі навіть з простою архітектурою вдалося відновити загальний вигляд для модельних рейтингових функцій. На особливу увагу заслуговує той факт, що обидві функції не є аналітичними, що у загальному випадку значно ускладнює аналіз відповідної залежності. Це дає підстави сподіватися, що застосування нейронних мереж дозволить значно розширити можливості щодо визначення рейтингових функцій.

ВИСНОВКИ

Застосування нейронних мереж для відтворення рейтингових функцій, на нашу думку, є перспективним з огляду на декілька обставин. Головна з них пов'язана з тим, що моделювання на основі нейронної мережі дозволяє відновити апіорі невідому функціональну залежність, не конкретизуючи її загальний вигляд. Оскільки при розрахунку рейтингових функцій на основі статистичних даних інформація про тип розподілу, як правило, відсутня, то зазначений фактор може стати вирішальним при виборі методу моделювання. Наведені розрахунки показують, що застосування навіть простих нейронних мереж дає можливість відновлювати різні функціональні залежності, у тому числі й неаналітичні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Altman E.I. Financial Ratios, Discriminant Analysis and the Prediction of Corporate Bankruptcy // Journal of Finance. — 1968. — № 9. — P. 589—609.
2. Камінський А. Експертна модель кредитного скорингу позичальника банку // Банківська справа. — 2006. — № 1. — С. 75—81.
3. Дмитров С., Черняк В., Кузьменко О. Система скорингу на основі індикаторів ризику як ефективна складова фінансового моніторингу в банку // Вісник НБУ. — 2011. — № 1. — С. 26—32.
4. Васильєв О.М. Принципи скорингового моделювання // Вісник НБУ. — 2014. — № 5. — С. 40—44.
5. Васильєв А.Н. Особенности скорингового моделирования на основе линейных рейтинговых функций // Банковское дело. — 2013. — № 6. — С. 75—78.

6. Васильєв О.М. Теоретичні аспекти створення скорингових моделей // Банківська справа. — 2013. — № 2. — С. 73—81.
7. Шульга Н.П. Банківський контролінг : підруч. — К. : КНТЕУ, 2011. — 438 с.
8. Вітлінський В.В. Моделювання економіки. — К. : КНЕУ, 2007. — 408 с.
9. Матвійчук А.В. Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка. — К. : КНЕУ, 2011. — 439 с.
10. McNeilis P.D. Neural networks in finance: gaining predictive edge in the market. — Oxford : Elsevier, Academic Press, 2005. — 243 p.
11. Черкашенко В.Н. Этот «загадочный» скоринг // Банковское дело. — 2006. — № 3. — С. 42—48.
12. Шульга Н.П., Мельничук М.В. Організаційне забезпечення ризик-менеджменту в банках України // Вісник КНТЕУ. — 2012. — № 1 (81) — С. 44—56.
13. Бэстенс Д.Э., Берг В.М., Вуд Л. Нейронные сети и финансовые рынки. — М. : Научное изд-во «ТВП», 1997. — 236 с.
14. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. — М. : Вильямс, 2008. — 1104 с.
15. Васильєв О.М. Особливості застосування штучних нейронних мереж в економіко-математичному моделюванні // Банківська справа. — 2013. — № 8. — С. 50—57.
16. Васильєв А.Н. Перспективы и принципы применения нейронных сетей в скоринговом моделировании // Банковское дело. — 2013. — № 9. — С. 75—78.

Стаття надійшла 27.07.2020

REFERENCES

1. Altman E.I. Financial Ratios, Discriminant Analysis and the Prediction of Corporate Bankruptcy. *Journal of Finance*, No. 9, 1968, pp. 589-609.
2. Kaminskyi A. Expert model of credit scoring of the bank borrower. *Banking Journal*, No. 1, 2006, pp. 75-81 [in Ukrainian].
3. Dmytrov S., Cherniak V., Kuzmenko O. The scoring system based on risk indicators as an efficient component of financial monitoring in a bank. *Visnyk of the National Bank of Ukraine*, No. 1, 2011, pp. 26-32 [in Ukrainian].
4. Vasyliov O. Scoring modeling principles. *Visnyk of the National Bank of Ukraine*, No. 5, 2014, pp. 40-44 [in Ukrainian].
5. Vasyliov O. Features of scoring modeling based on linear rating functions. *Banking*, No. 6, 2013, pp. 75-78 [in Russian].
6. Vasyliov O. Theoretical aspects of creating scoring models. *Banking Journal*, No. 2, 2013, pp. 73-81 [in Ukrainian].
7. Shulga N. Bank Controlling. Kyiv, KNUTE, 2011 [in Ukrainian].
8. Vitlinsky V. Modeling of Economy. Kyiv, KNUTE, 2007 [in Ukrainian].
9. Matviychuk A. Artificial Intelligence in Economics: Neural Networks, Fuzzy Logic. Kyiv, KNEU, 2011 [in Ukrainian].
10. McNeilis P.D. Neural Networks in Finance: Gaining Predictive Edge in the Market. Oxford, Elsevier, Academic Press, 2005.
11. Cherkashenko V. The «mysterious» scoring. *Banking*, No. 3, 2006, pp. 42-48 [in Russian].
12. Shulga N., Melnychuk M. Organization support for risk management in ukrainian banks. *Herald of Kyiv National University of Trade and Economics*, No. 1 (81), 2012, pp. 44-56 [in Ukrainian].
13. Baestaens D.E., Bergh W.M., Wood L. Neural Network Solutions for Trading in Financial Markets. Moscow, TVP Science Publishers, 1997 [in Russian].
14. Haykin S. Neural Networks. A Comprehensive Foundation. Moscow, Williams, 2008 [in Russian].
15. Vasyliov O. Features of application of artificial neural networks in economic and mathematical modeling. *Banking Journal*, No. 8, 2013, pp. 50-57 [in Ukrainian].
16. Vasyliov O. Prospects and principles of using neural networks in scoring modeling. *Banking*, No. 9, 2013, pp. 75-78 [in Russian].

Received on July 27, 2020

Oleksii Vasyliiev, Dr. Sci. (Phys. & Math.), Professor,
Professor of the Department of Theoretical Physics,
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
64/13, Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine

SCORING MODELING BASED ON NEURAL NETWORKS
FOR DETERMINING A BANK BORROWER'S RATING

The problem of applying neural networks to calculate ratings used in banking in the decision-making process on granting or not granting loans to borrowers is considered. The task is to determine the rating function of the borrower based on a set of statistical data on the effectiveness of loans provided by the bank. When constructing a regression model to calculate the rating function, it is necessary to know its general form. If so, the task is to calculate the parameters that are included in the expression for the rating function. In contrast to this approach, in the case of using neural networks, there is no need to specify the general form for the rating function. Instead, certain neural network architecture is chosen and parameters are calculated for it on the basis of statistical data. Importantly, the same neural network architecture can be used to process different sets of statistical data. The disadvantages of using neural networks include the need to calculate a large number of parameters. There is also no universal algorithm that would determine the optimal neural network architecture.

As an example of the use of neural networks to determine the borrower's rating, a model system is considered, in which the borrower's rating is determined by a known non-analytical rating function. A neural network with two inner layers, which contain, respectively, three and two neurons and have a sigmoid activation function, is used for modeling. It is shown that the use of the neural network allows restoring the borrower's rating function with quite acceptable accuracy.

Keywords: *scoring; neural network; rating function; approximation; activation function.*