

УДК 519.876.5: 616.2

## **ШТУЧНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ З РАДІАЛЬНО-БАЗИСНИМИ ФУНКЦІЯМИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ФІНАНСОВОЇ БЕЗПЕКИ**

Н.Я. Савка

*Тернопільський національний економічний університет*

*nadya\_savka@ukr.net*

Розроблено архітектуру штучної нейронної мережі радіально-базисними функціями для моделювання та прогнозування індексів фінансової безпеки. Зазначено, що одним із основних чинників впливу на показники фінансової безпеки є податковий борг. Результатами експериментів підтверджено ефективність розробленої архітектури нейронної мережі радіального типу.

*Ключові слова: штучна нейронна мережа з радіально-базисними функціями, моделювання, фінансова безпека, податковий борг.*

The architecture of artificial neural network with radial basis functions for modeling and forecasting of financial security indices has been developed. It is noted that one of the main factors of financial security affecting is tax debt. The experiment results confirm the effectiveness of the developed radial-type neural network architecture.

*Keywords: artificial neural network with radial basis functions, modeling, financial security, tax debt.*

Разработана архитектура искусственной нейронной сети из радиально-базисными функциями для моделирования и прогнозирования индексов финансовой безопасности. Отмечено, что одним из основных факторов влияния на показатели финансовой безопасности есть налоговый долг. Результатами экспериментов подтверждена эффективность разработанной архитектуры нейронной сети радиального типа.

*Ключевые слова: искусственная нейронная сеть с радиально-базисными функциями, моделирование, финансовая безопасность, налоговый долг.*

**Вступ.** Ідентифікація рівня фінансової безпеки, його моніторинг є ключовими задачами сучасної економіки. Фінансову безпеку характеризують індикатори фінансової безпеки (ІФБ), які описують всі сфери системи фінансів держави. Зазначені показники характеризують економіку держави, яка є нестабільною, а самі показники часто є неоднорідними.

Моніторингом рівня фінансової безпеки займалися вчені Т. С. Клебанова, В.П. Мартинюк [1, 2], дослідження яких ґрунтуються на статистичному аналізі часових рядів показників та побудові короткострокових прогнозних моделей.

Проте економіка держави, яку характеризують ІФБ, є нестабільною та містить нестационарні процеси. В той же час, динаміка показників фінансової безпеки суттєво залежить від чинників, що на них впливають, зв'язок між якими є нелінійним.

За таких умов задача моделювання показників фінансової безпеки вимагає застосування такого математичного апарату, який би уможлилював побудову прогнозних моделей, зважаючи на чинники впливу.

Сьогодні досить часто для розв'язування подібних задач застосовують штучні нейронні мережі (ШНМ), оскільки вони є універсальними апроксиматорами, здатні до навчання та можуть адаптовуватися до змін зовнішнього середовища. Існує чимало архітектур ШНМ, що варіюють від багат шарового персептрона до складних нейромережових структур. Для моделювання та прогнозування процесів із глибокою нестабільністю використовують штучні нейронні мережі (ШНМ) з радіально-базисними функціями (РБФ) [3]. Серед переваг зазначених нейромереж є проста архітектура (наявність лише одного прихованого шару), можливість навчатися на обмеженій неоднорідній вибірці даних, висока швидкість навчання.

Зважаючи на це, метою статті є синтез архітектури штучних нейронних мереж радіального типу для моделювання індикаторів фінансової безпеки.

### Постановка задачі

Фінансовий стан держави загалом можна комплексно охарактеризувати на основі індикаторів фінансової безпеки держави, які описують податкову, інвестиційну, бюджетну, грошово-кредитну, боргову безпеку та безпеку фондового ринку. Основу фінансової безпеки в цілому складає бюджетна безпека. Суттєвий вплив на показники фінансової безпеки держави має податковий борг [4].

Зважаючи на вищезазначене, моделювання ІФБ полягає у виявленні взаємозв'язку між податковим боргом та результативними показниками фінансової безпеки, що уможливить відобразити поточний стан фінансової системи та передбачити окремі показники для реалізації певних управлінських рішень.

Узагальнену архітектуру ШНМ радіального типу представлено на рисунку 1.

При цьому, на рисунку використано такі позначення:

$x_1, \dots, x_n$  – входи нейронної мережі радіального типу;

$c_1, \dots, c_h$  – центри, які визначають позицію радіально-базисної функції;

$dist$  – блок, у якому на основі метрики Евкліда обчислюють відстань між вектором входів  $\vec{x}$  і відповідним центром  $\vec{c}_i$ ;

$\sigma_1, \dots, \sigma_h$  – стандартні відхилення (радіуси базисних функцій), які визначають ширину рецепторного поля радіально-базисних функцій;

$f_1(x), \dots, f_h(x)$  – радіально-базисні функції;

$w_1, \dots, w_h$  – синаптичні ваги вихідного шару, що визначають “висоту” радіально-базисної функції та значення зміщення;

$y$  – вихідний нейромережовий сигнал;

$h$  – кількість нейронів у прихованому шарі.

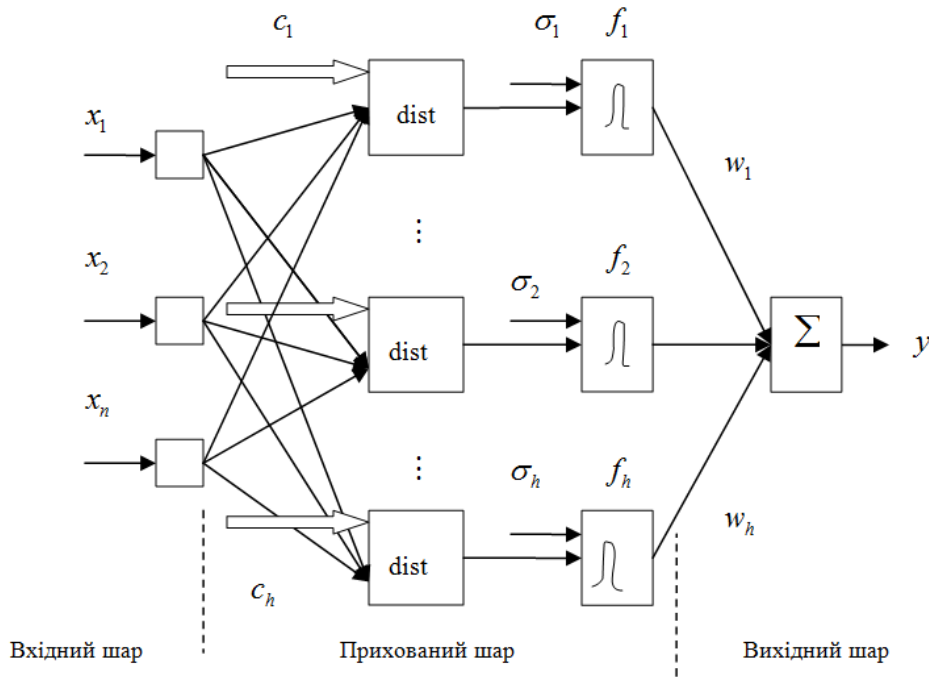


Рис. 1. Узагальнена архітектура ШНМ радіального типу.

Як радіально-базисну часто застосовують функцію Гауса. Зважаючи на це, записуємо структуру ШНМ із РБФ у вигляді:

$$\hat{y} = \sum_{i=0}^h \vec{w}_i^T f_i \left( \|\vec{x} - \vec{c}_i\| \sigma^{-2} \right). \quad (1)$$

### Синтез архітектури ШНМ із РБФ для моделювання показників фінансової безпеки

Враховуючи експериментальні дані, наведені у статистичних довідниках [5], позначимо  $\vec{x}$  – чинник, що впливає на ІФБ, як “вхід” ШНМ із РБФ, а  $y_j(k)$  – показники фінансової безпеки, як вихідні нейромережеві сигнали,  $j = 1, \dots, 11$  – кількість показників фінансової безпеки,  $k=1 \dots 120$  – часова дискрета (кількість місяців). Аналізуючи вхідні та вихідні експериментальні дані видно, що деякі показники вимірюються у гривнях, а інші у відсотках. Зважаючи на це, для ефективного моделювання доцільно провести нормування показників фінансової безпеки.

Як свідчать експериментальні дані, досліджувана ШНМ із РБФ включає 1 нейрон вхідного рівня та 11 нейронів вихідного рівня. Оскільки зазначені мережі мають лише один прихований шар, то побудова архітектури ШНМ із РБФ зводиться до знаходження кількості нейронів прихованого рівня, тобто до обчислення центрів радіально-базисних функцій.

Як зазначено у праці [6], для обчислення центрів радіально-базисних функцій доцільно застосувати алгоритм субтрактивної кластеризації, де кількість кластерів регулюється єдиним параметром – радіусом кластера.

Стандартні відхилення задамо експериментальним чином [7, 8]. Вагові коефіцієнти синаптичних зв'язків налаштовуємо на основі методу зворотного поширення помилки .

Насамперед задаємо кластер такого розміру, щоб отримати якнайпростішу архітектуру нейронної мережі. Після перевірки архітектури на адекватність для розв'язку задачі моделювання показників фінансової безпеки приймаємо рішення чи знайдена архітектура є оптимально, чи шляхом зменшення радіуса кластера здійснюємо налаштування наступної архітектури ШНМ із РБФ.

Розробка програмного модуля, який уможливорює автоматизацію налаштування архітектури ШНМ із РБФ здійснено на основі пакету прикладних програм Matlab, зокрема із використанням функції newrbf.

Шляхом проведення експериментальних досліджень, одержуємо такі архітектури штучних нейронних мереж радіального типу - 1:2:11, 1:3:11, 1:6:11 для моделювання та прогнозування ІФБ. Структури 1:2:11 та 1:3:11 хоч простіші за своєю будовою, оскільки включають лише 2 і 3 нейрони прихованого рівня, відповідно, проте, як свідчать результати експериментів, не володію прогностичними властивостями.

Зважаючи на це, оптимальну для проведення моделювання показників фінансової безпеки та одержання прогнозних результатів обрано структуру штучної нейронної мережі з радіально-базисними функціями 1:6:11. Архітектуру ШНМ із РБФ, оптимальну для моделювання та прогнозування показників фінансової безпеки представлено на рисунку 2.

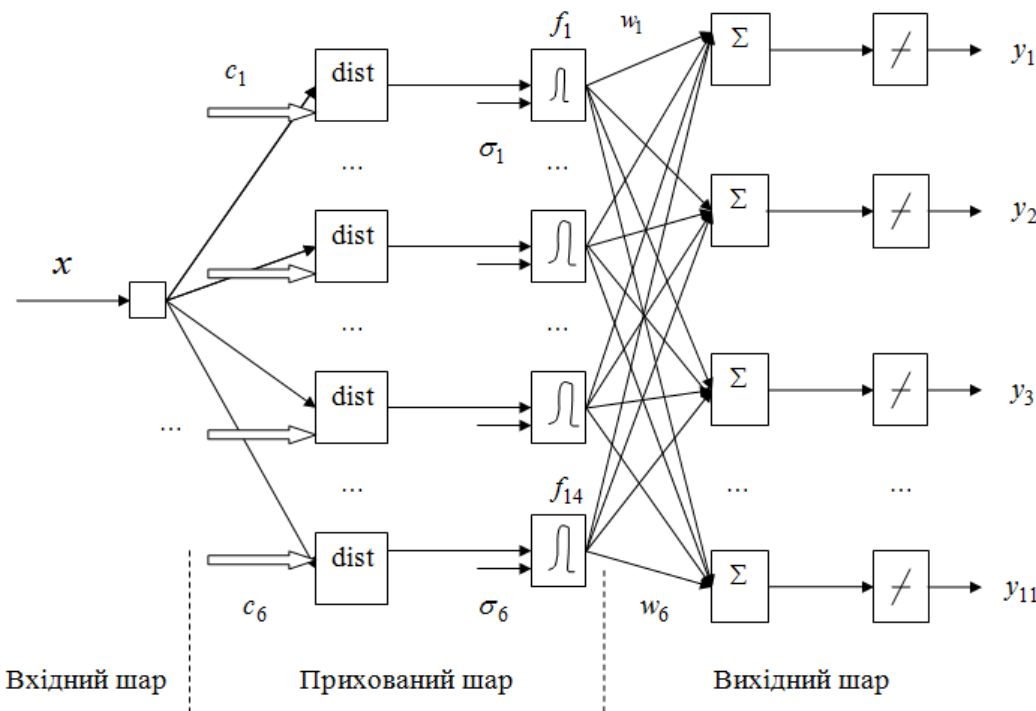


Рис. 2. Оптимальна архітектура штучної нейронної мережі радіального типу для моделювання ІФБ.

При цьому структура побудованої штучної нейронної мережі радіального типу для задачі моделювання показників фінансової безпеки має вигляд:

$$y(k) = w_1 f_1(\|x(k) - c_1\| \sigma^{-2}) + w_2 f_2(\|x(k) - c_2\| \sigma^{-2}) + \dots + w_6 f_6(\|x(k) - c_6\| \sigma^{-2}) \quad (2)$$

Застосовуючи отриману структуру оптимальної архітектури ШНМ із РБФ, отримуємо результати моделювання та прогнозування ІФБ, які продемонстровано на рисунках нижче.

Усю вибірку експериментальних даних поділяємо на навчальну і тестову (контрольну), що на рисунках розділено вертикальною лінією. Пунктирна лінія позначає експериментальні дані, а суцільна – модельовані, тобто взаємозв'язок показників фінансової безпеки та податкового боргу.

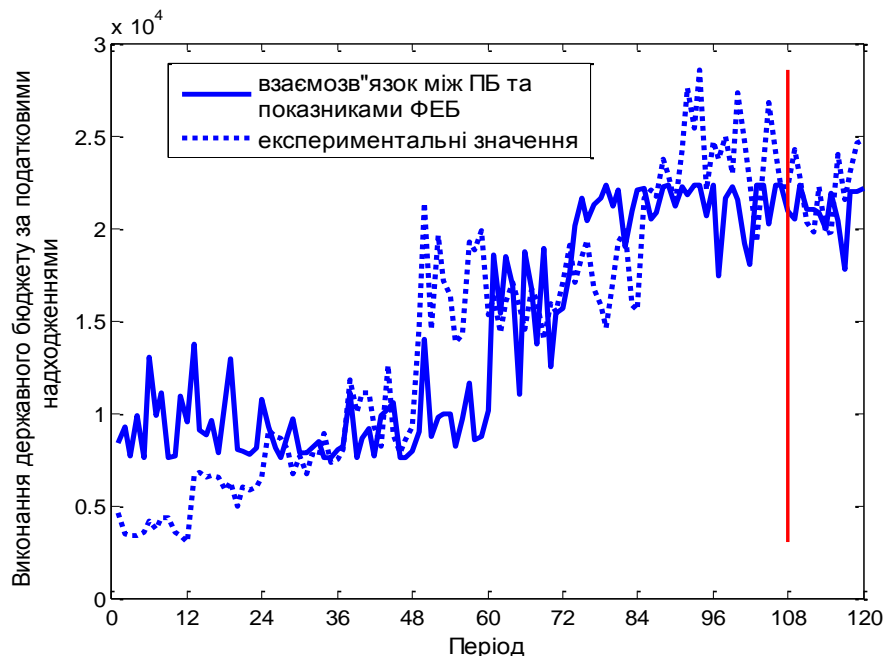


Рис. 3. Моделювання показника виконання державного бюджету за податковими надходженнями на основі ШНМ із РБФ.

Як бачимо на рисунках 3, 4, розроблена архітектура штучної нейронної мережі на основі радіально-базисних функцій відтворює взаємозв'язок між результативними ІФБ та податковим боргом та уможливорює отримати прогнозні значення. В той же час оптимальна архітектура ШНМ радіального типу здатна відобразити випадок, коли на результуючий ІФБ не впливає такий чинник, як податковий борг, що продемонстровано на рисунку 5.

Зазначені результати моделювання адекватно відображають реальну ситуацію, що притаманна економіці держави. Звідси впливає висновок, що апарат штучних нейронних мереж із радіально-базисними функціями достатньо

вдало підібраний для розв'язування задачі моделювання та прогнозування показників фінансової безпеки, зважаючи на чинники, що на них впливають.

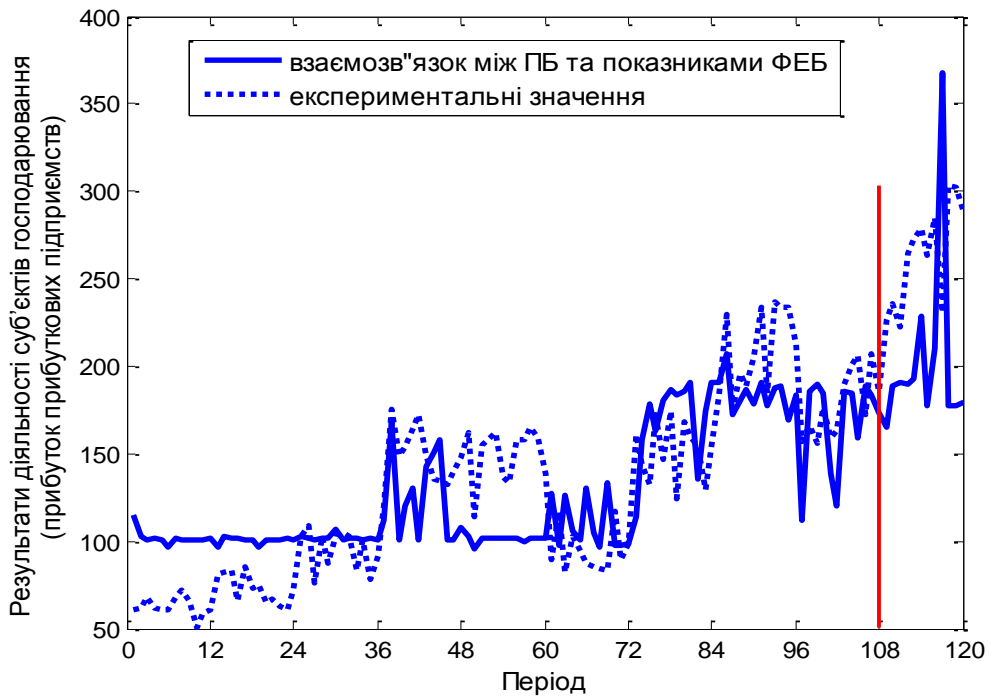


Рис. 4. Моделювання результату діяльності суб'єктів господарювання на основі ШНМ із РБФ.

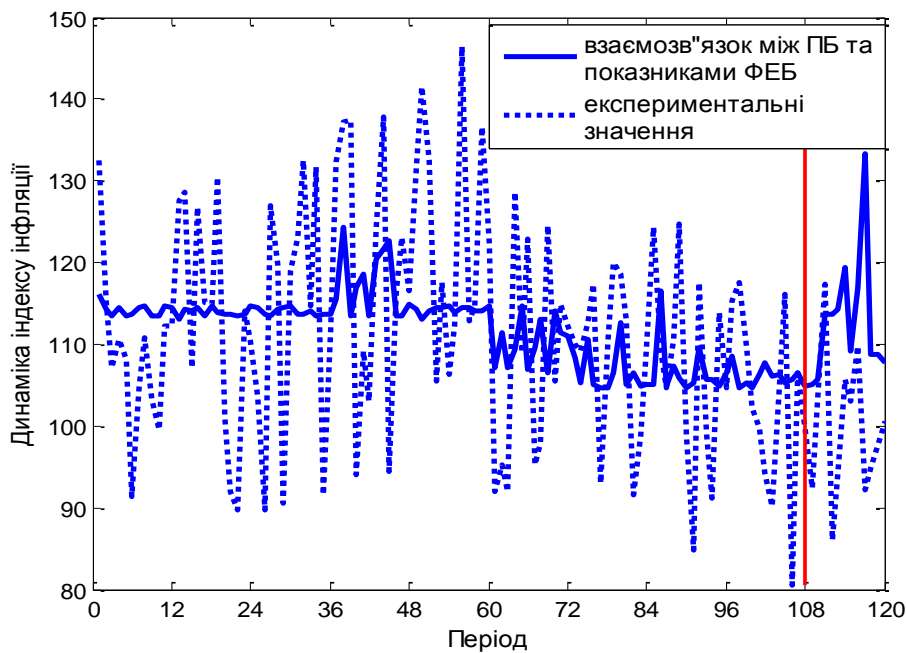


Рис. 5. Моделювання динаміки індексу інфляції на основі ШНМ із РБФ.

## **Висновки**

Проаналізовано існуючі засоби моделювання показників фінансової безпеки й відзначено, що вони ґрунтуються, здебільшо, на аналізі часових статистичних рядів. Охарактеризовано доцільність застосування апарату штучних нейронних мереж радіального типу для моделювання ІФБ. Розроблено архітектуру ШНМ з РБФ для моделювання взаємозв'язку показників фінансової безпеки та чинника, що на них впливає – податкового боргу. Результатами експериментів підтверджено ефективність розробленої архітектури ШНМ для моделювання процесів із глибокою нестабільністю.

## **Література**

1. Геєць В.М., Кизим М.О., Клебанова Т.С., Черняк О.І. Моделювання економічної безпеки: держава, регіон, підприємство: монографія. Х.: ВД «ІНЖЕК», 2006. 240 с.
2. Мартинюк В. П. Фінансові аспекти розбудови митної системи в інтересах економічної безпеки України : монографія. К.: Кондор, 2011. 326 с.
3. Бодянский Е. В., О. Г. Руденко Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения: Монография. Харьков: ТЕЛІТЕХ, 2004. 372 с.
4. Михальчук Н. М., Лекарь С. І. Податковий борг як форма економічної злочинності та загроза економічній безпеці держави. Науковий вісник Львівського державного університету внутрішніх справ. Сер. Економіка. 2013. № 2. С. 66-77.
5. Інформація Міністерства фінансів України щодо виконання Державного бюджету України за 2009-2018 рр.: веб-сайт. URL: <https://mof.gov.ua/uk/budget-policy>.
6. Савка Н.Я. Класифікатор на базі штучних нейронних мереж радіального типу. Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Серія : Комп'ютерні системи та компоненти. Чернівці, 2013. Том 4. Вип. 4. С. 22-27.
7. Савка Н.Я. Етапи ідентифікації штучних нейронних мереж з радіально-базисними функціями: зб. матеріалів Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів "Сучасні комп'ютерні інформаційні технології". Тернопіль: ТНЕУ, 2011. С. 87.
8. Savka N., Nemish V., Kushnir O. The Method of Identifying Weights of Artificial Neural Networks with Radial Basis Functions Based on Multiple-Set Approach. Proceedings of the XI th International Conference "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications" (TCSET'2012). Lviv – Slavske: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2012. P.392.

УДК 519.876.5: 616.2

## ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS WITH RADIAL-BASIC FUNCTIONS FOR MODELING FINANCIAL SECURITY INDICATORS

Nadiia Savka

Ternopil National Economic University,  
8, Chekhov Street, Ternopil, Ukraine, 46003  
nadya\_savka@ukr.net

**Introduction.** The level of financial security of the state significantly affects the state of the economy as a whole. Financial security indicators depend on the factors that influence them. The main factor influencing is tax debt. Economic processes are often volatile and financial security indicators are heterogeneous. Monitoring of the financial security level of the state requires the modeling of financial security indicators, taking into account the factors that influence them. The relationship between factors and indicators is non-linear. Modeling and forecasting financial security based on statistical methods in such circumstances is inappropriate.

Today, artificial neural networks with radial basis functions are often used for modeling and predict processes with deep instability. Setting up the architecture of such neural networks is to calculate the number of neurons at a single hidden level. The hidden level is characterized by the parameters of the receptor field of radial basis functions. Output layer parameters - the weights are adjusted based on the error back propagation algorithm.

The actual task is to develop the artificial neural network architecture with radial-basis functions in order to use it for modeling and forecasting financial security indicators.

**The purpose of the article.** The analysis of the generalized structure and methods of tuning artificial radial-type neural networks to synthesize the optimal prediction architecture for financial security indicators has to be done.

**Methods.** The tuning of the centers of radial-basis functions is carried out on the basis of the "mountain" clustering method, the weighting coefficients - using the method of back error propagation. Basic approaches are based on the review and analysis of thematic publications, and the results of their own research.

**Result.** The architecture of artificial neural networks with radial basis functions is analyzed. The parameters that define a neural network of this type are described. Based on the algorithm of clustering and back propagation, the optimal artificial neural network architecture was developed for modeling financial security indicators.

The simulation is based on experimental data. The simulation results reflect the relationship between financial security indicators and tax debt.

**Conclusion.** The developed architecture of artificial neural network with radial basis functions allows prediction of the financial security state level. The simulation results confirm the feasibility of using artificial neural networks of this type to predict non-stationary processes.

**Key words:** *artificial neural network with radial basis functions, modeling, financial security, tax debt.*