

МОДЕЛЮВАННЯ ПОДАТКОВО-БОРГОВОЇ СКЛАДОВОЇ ФІНАНСОВОЇ БЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

© Михальчук Н. М., Савка Н. Я., 2015

Запропоновано методику моделювання податково-боргової компоненти фінансової безпеки держави. Теоретично обґрунтовано доцільність поєднання в методиці нормативно-індикативної оцінки з неймережевими технологіями. Проаналізовано вплив податкової заборгованості на фінансову безпеку за двома індикаторами: податковим навантаженням та рівнем тінізації економіки.

Ключові слова: податкова заборгованість, фінансова безпека держави, методика оцінювання податкового боргу, штучні нейронні мережі.

N. Mykhalchuk, N. Savka

Ternopil national economic university

Department of Financial and Economic Security and Intellectual Property

Department of Computer Science

MODELING OF TAX-DEBT COMPONENT OF FINANCIAL SECURITY BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

© N. Mykhalchuk, N. Savka, 2015

Topicality of the problem of restructuring basic approaches to principles, forms, methods and tools for providing financial security of the state is justified in the article. The current concept, which is legally approved, is based on regulatory and indicative analysis and has the nature of ascertaining of current trends; however it doesn't allow analyzing the future transformations. The authors prove complexity of applying classical evaluation methods from both mathematic and logical point of view through the features of political and economic situation in Ukraine and through nonlinearity relation between the events and the processes within security bounds. Accordingly, the authors argue advisability and preferences in the formation of new, more progressive methods for diagnosing the state of financial security at the macro level, especially by the tax-debt component.

In the process of research there was developed methodology for modeling tax-debt component of state financial security, which was developed by using combination of the normative and indicative evaluation with the neural network technologies. Efficiency of methodology was verified by using analysis of impact of the tax arrears on the financial security by using two indicators: tax load and the level of the shadow economy.

As the result of expert evaluations there was defined a range of limit values for selected indicators and it was found that their values show crisis trends. The model, which was developed based on the artificial neural networks with the radial basis functions, demonstrates interconnection between the level of the tax debt and the level of the shadow economy and refutes the dependence between arrears and tax burden. Those results are adequate to the current economic situation.

Conclusions of the authors and recommendations regarding application of artificial neural networks prove that the methodology is optimal for evaluating the mutable economic environment and efficiently describes mediate interconnection between investigated events and allows formulating conclusions concerning current state of financial security.

Key words: tax debt, financial security, method of estimating the tax debt, artificial neural network.

Постановка проблеми

Глобальні геополітичні та вітчизняні макроекономічні реалії гостро ставлять перед безпекознавчою наукою та практикою проблему перебудови базових підходів до принципів, форм, методів та інструментів забезпечення фінансово-економічної безпеки шляхом їх орієнтації на формування системи довгосторокової діагностики кризових перетворень та швидкого реагування на них. Існуюча концепція оцінювання економічної безпеки держави, що є законодавчо закріпленою та ґрунтується на нормативно-індикативному аналізі, має характер констатації існуючих тенденцій на базі фактичних показників. Суттєвого доопрацювання, на наш погляд, потребують офіційні методики оцінювання рівня економічної безпеки, оскільки вони є доволі складними як з математичного, так і з логічного поглядів, що загалом ускладнює механізм їх застосування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженню питання визначення рівня економічної (фінансової) безпеки держави, його моніторингу та методів оцінювання присвячено роботи таких вітчизняних та закордонних дослідників: Л. Абалкіна, І. Білько, Є. Бухвальд, В. Геєця, Н. Гловацької, М. Кизим, Т. Клебанової, С. Лазуренко, В. П. Мартинюка, О. Черняк, В. Шлемко.

Не применшуючи внеску фахівців, що займаються прогнозуванням рівня фінансово-економічної безпеки, зокрема В. Баранніка, Я. Жаліла, О. Іванова, В. Луцкова, Д. Махортих, Д. Покришка, С. Сардак, Т. Тищук, зазначимо, що нині не існує системи, яка здатна була б сигналізувати про появу кризових явищ як щодо фінансової безпеки держави, так і в розрізі її складових.

У працях українських та зарубіжних науковців, таких як А. Горбань, А. Дунин-Барковський, В. Кирдин, І. Яблоков, В. Головка окреслено основні властивості, переваги та недоліки штучних нейронних мереж, однак дослідженню особливостей штучних нейронних мереж із радіально-базисними функціями (ШНМ з РБФ) присвячено невелику кількість праць, зокрема Є. Бодяньського, О. Руденка. ШНМ з РБФ вперше використано для моделювання явищ у контексті забезпечення фінансової безпеки держави у працях В. П. Мартинюка.

Постановка цілей

Незважаючи на значну кількість напрацювань щодо оцінювання рівня економічної безпеки, відсутнє єдине системне уявлення інтегрального показника та обґрунтування критеріїв відбору відповідних індикаторів і встановлення їх нормативних (порогових) значень. Суттєвим недоліком в існуючих методиках є відсутність деяких складових; так, наприклад, при оцінюванні рівня фінансової безпеки держави не враховано таких важливих компонент, як вплив системи оподаткування; показники, які характеризують рівень розвитку страхового, фондового, фінансового ринків тощо. Зважаючи на це, необхідно виробити нові, прогресивніші методи, способи та інструментарій діагностики стану фінансової безпеки на макрорівні, зокрема за податково-борговою складовою, що зумовлено метою нашого дослідження.

Виклад основного матеріалу

Серед основних сучасних методів оцінювання рівня економічної (фінансової) безпеки держави слід назвати:

- моніторинг основних соціально-економічних показників і зіставлення їх з граничними значеннями, які мають бути не меншими/більшими за певний рівень;
- методи експертного оцінювання, які переважно передбачають ранжування об'єктів за визначеним набором показників;

- сценарний підхід, який за допомогою засобів математичного моделювання дає змогу уточнювати і конкретизувати початкові прогнози та створювати нові варіанти сценаріїв у межах передбачуваної моделі;
- методи оптимізації, що передбачають побудову алгоритмів знаходження максимумів (мінімумів) функції і точок, в яких вони досягаються, за наявності обмежень та без них;
- теоретико-ігрові методи, які використовуються для аналізу багатосторонніх конфліктних ситуацій з урахуванням їх взаємовпливу;
- методи багатовимірного статистичного аналізу, що дають змогу обчислювати характеристики динаміки розвитку показників економічної безпеки, виявляти закономірності минулого розвитку та оцінювати їх перенесення на майбутнє;
- квазидинамічний підхід, що визначає цільову функцію забезпечення безпеки, а сам метод полягає в поділі основних складових безпеки на кількісні показники (потенціал визначеної сфери безпеки) та якісні (стан захисту певного національного інтересу) показники (індикатори).

Математичні методи, зокрема метод кореляційно-регресійного аналізу, які використовують як основу прогнозування для встановлення взаємозв'язку між результативним показником і декількома факторними показниками, не є ефективними, оскільки політична та економічна ситуація в Україні є нестабільною, а зв'язок між явищами і процесами у середині безпекового простору часто є нелінійним. На жаль, на відміну від технічних систем, в соціально-економічних системах межі можливого перетину інтересів значно коливаються, а отже, є велика невизначеність (рівень перетину різних сфер) щодо прогнозування.

Для досягнення мети дослідження, а саме формування концепції податкового боргу як чинника фінансової безпеки пропонуємо власну методику його оцінювання. Узагальнений алгоритм дослідницьких дій, що будуть здійснені в процесі її застосування, наведено у такій послідовності (рис.1, 4).

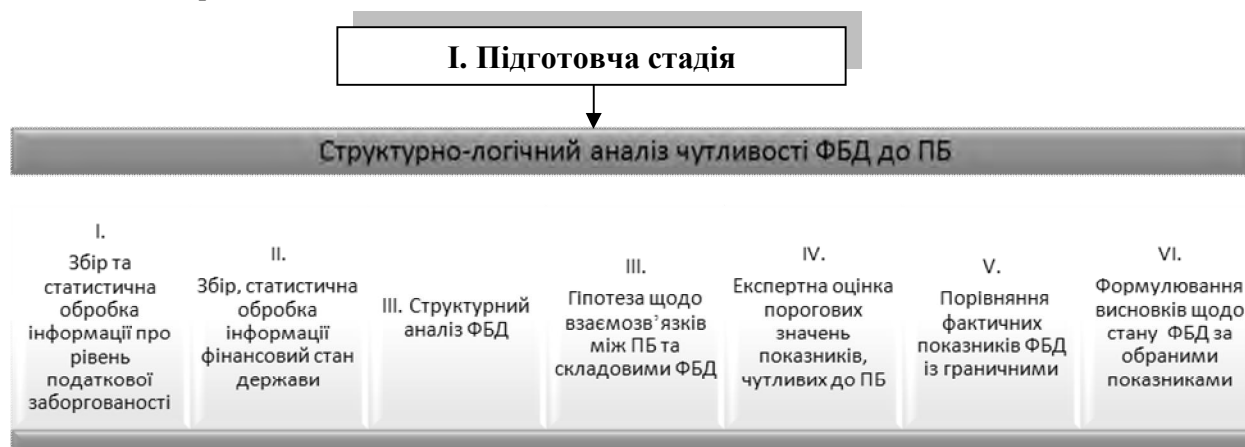


Рис. 1. Перший етап алгоритму методики оцінювання податкового боргу як чинника фінансової безпеки держави

Джерело: авторська розробка

На першому етапі дослідження на основі дедуктивного підходу до сутності поняття “фінансова безпека держави” ми виділяємо її складові, висувуючи гіпотезу щодо їх взаємного впливу та взаємної залежності із податковим боргом.

Фінансова безпека держави є багатокomпонентним та динамічним феноменом, багаторівневою системою, яку утворюють підсистеми, кожна з яких має власну структуру і логіку розвитку. Відповідно до безпекової парадигми фінансова безпека держави містить: бюджетну, податкову, боргову безпеку, фінансову безпеку банківської системи, валютну, грошово-кредитну, інвестиційну безпеку, фінансову безпеку страхового та фондового ринків. Основною метою на цьому етапі є декомпозиція внутрішнього безпекового середовища для виявлення найчутливіших до податкового боргу сфер. Із скукупності стистичних показників автор вибрав 2–4 індикатори за кожною складовою.

Продемонструємо методику дослідження на двох індикаторах податкової безпеки, а саме рівні податкового навантаження та рівні тіньової економіки.

З огляду на те, що рівень економічної безпеки не є статичним, всі його показники динамічно змінюються, важливо визначити діапазон їх коливань, позначений граничними (максимальними та мінімальними) значеннями. Прийнятної рівня безпеки досягають за умови, що всі індикатори знаходяться в межах своїх порогових значень. Якщо хоч за одним із індикаторів система перейшла поріг передкризового (кризового) стану, то її розглядають як таку, що знаходиться в передкризовому (кризовому) стані. Якщо хоча б за двома із індикаторів система перейшла передкризовий поріг, то її розглядають як таку, що знаходиться в кризовому стані.

Визначення порогових значень безпосередньо залежить від специфіки сфери, до якої належить досліджуване явище. Оскільки спробу побудувати систему оцінювання податково-боргової безпеки ми здійснюємо вперше, то вважаємо за потрібне залучити досвід фахівців, що тривалий час вивчають процеси оподаткування, податкового боргу та безпекознавства, які на основі власного досвіду та інтуїції визначають рівень ризикованості відхилень.

Податкова безпека – це спроможність податкової системи до “... своєчасного виявлення та запобігання потенційним загрозам у сфері оподаткування та здатність системи оподаткування повною мірою реалізовувати усі функції податків як фіскальної, так і регулювальної та соціальної з метою максимального узгодження інтересів держави та платників податків. Створення дієвої системи податкової безпеки передбачає чітке визначення джерел потенційної загрози у тій чи іншій сфері, а також наявних і необхідних ресурсів для їх нейтралізації” [1, с. 133–135].

З позицій фіскальної достатності проблема податкової безпеки зводиться до забезпечення держави таким обсягом податкових надходжень, який є оптимально необхідним, та до оптимізації рівня оподаткування, адже його надмірне підвищення призводить до збільшення тіньової економіки, згорання легального бізнесу, масового ухилення від сплати податків, а відтак – до скорочення податкової бази. Надмірне податкове навантаження є негативним фактором податкової політики, яка перешкоджає нормальному функціонуванню підприємств, стримує ділову активність суб’єктів господарювання.

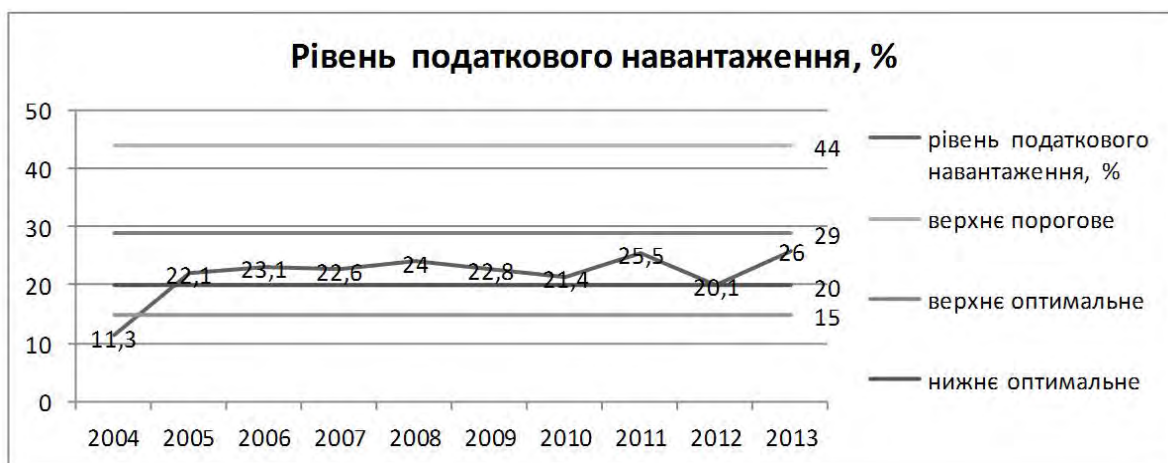


Рис. 2. Динаміка податкового навантаження в 2004 – 2013 рр.
у діапазоні граничних значень

Джерело: складено автором за [2]

Із рисунка видно, що у період з 2004 до 2013 рр. в Україні рівень податкового навантаження не перевищує верхнього порогового значення, більше того – прямує до верхнього оптимального. На перший погляд, це свідчить про позитивну динаміку цього показника, проте варто зазначити, що граничні значення наведено відповідно до нормативів, прийнятих у розвинених державах світу, де значний рівень податкового навантаження компенсується високим ступенем еквівалентності повернутих державою благ платникам податків. У нашій державі, на жаль, такого явища не спостерігається, тому про позитивний тренд говорити не доводиться.

Під тіньовою економікою розуміють господарську діяльність, доходи від якої повністю або частково знаходяться за межами офіційного обліку та контролю, тобто суб'єкт господарювання здійснює свою діяльність, отримує прибутки, які не контролюються, і в результаті не сплачує податків, порушуючи податкове законодавство і підриваючи економічну основу функціонування держави. На думку незалежних експертів, найпоширенішими видами тіньової економіки, крім доходів від злочинної діяльності, є: оптимізація податків, незаконне повернення податку на додану вартість, зарплати "в конвертах". Відповідно до світової практики, у випадку, коли обсяг тіньової діяльності перевищує 30 % ВВП (у деяких науковців зазначено 40 %), настає критична точка, з перевищенням якої в країні створюється відтворювальна система тіньових відносин. Внаслідок значних масштабів тіньової економічної діяльності істотно змінюються обсяги і структура ВВП, спотворюються офіційні дані про його величину, однак, за різними методиками, динаміка розгортання тіньового сектору в Україні має такий тренд:

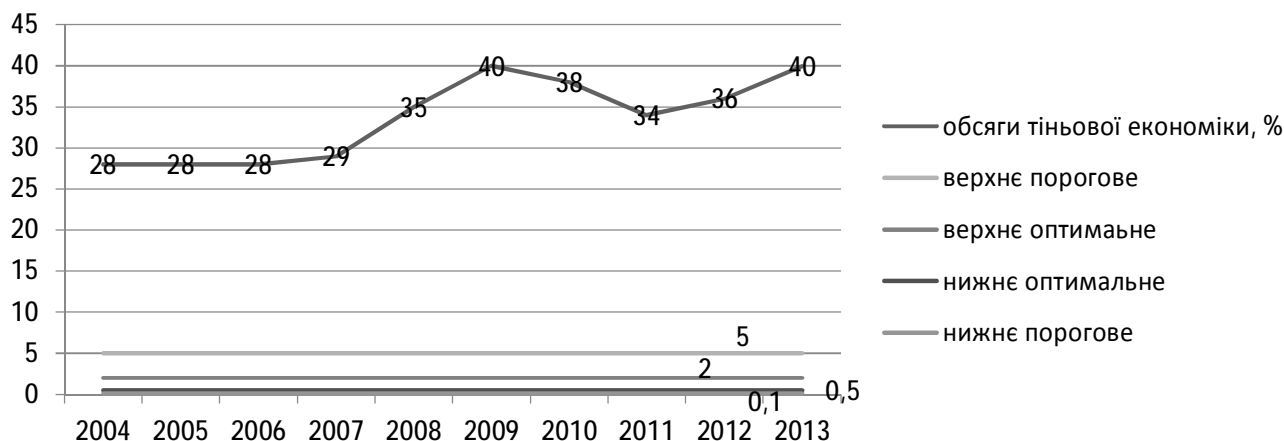


Рис. 3. Обсяги тіньової економіки та діапазон її граничних значень, % до ВВП
Джерело: складено автором за [3]

Як видно із рисунка, починаючи від 2004 до 2013 рр. в Україні обсяг тіньової економіки багатократно перевищує верхнє порогове значення, що свідчить про переростання цього негативного явища у безпосередню загрозу фінансовій та навіть національній безпеці.

Метою моделювання податково-боргової компоненти фінансової безпеки держави є перевірка гіпотези щодо впливу податкового боргу на фінансову безпеку держави через окремі, чутливі до нього, її складові, а також сформулювати висновки щодо можливості відстеження реакцій індикаторів на кризові перетворення. Отже, другим етапом розробленої методики буде власне процес моделювання (рис. 4).

Слід зазначити, що у задачі моделювання показників фінансово-економічної безпеки немає лінійного зв'язку між індикаторами фінансової безпеки та чинником, що на них впливає, – податковим боргом. Оскільки ця задача належить до економічних задач, де існують процеси із глибокою нестабільністю, прості лінійно-регресійні моделі для зображення таких процесів є непридатними. Водночас, в результаті аналізу вибірки даних для моделювання показників фінансової безпеки видно, що вона є неоднорідною. За таких умов для розв'язування вищезазначеної задачі доцільно застосувати складніший математичний апарат, зокрема, як показують дослідження – штучні нейронні мережі.

Як свідчать проаналізовані праці, штучні нейронні мережі перцептронного типу відіграють важливу роль при ідентифікації нелінійних систем, апроксимації функцій, розпізнаванні образів, прогнозуванні, кластеризації, проте вони відзначаються суттєвими недоліками, зокрема [4]:

- громіздкістю структури мережі;
- складністю ідентифікації структури мережі;
- низькою швидкістю навчання мережі;
- низькими прогностичними властивостями;
- неможливістю навчання на неоднорідній вибірці даних.

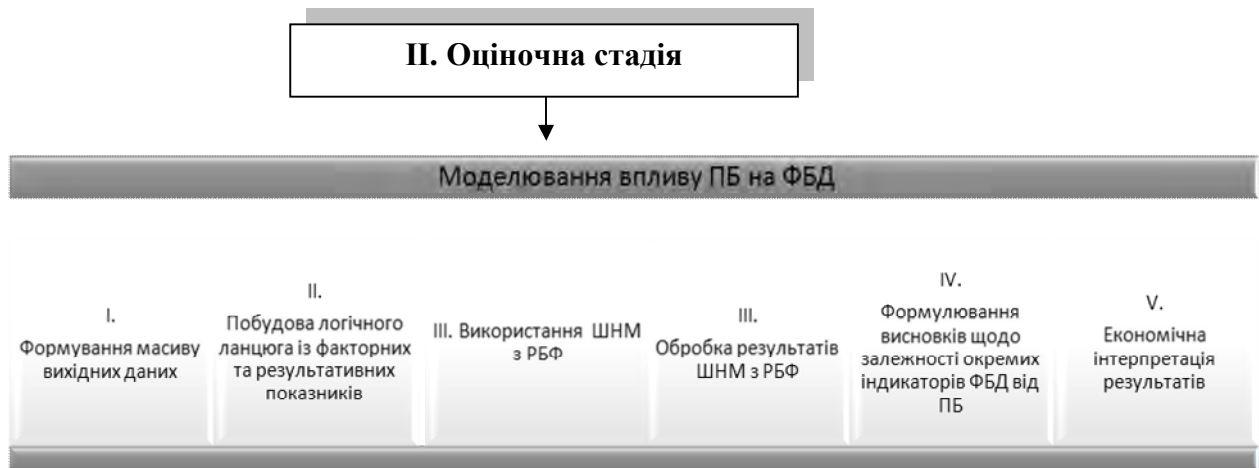


Рис. 4. Другий етап алгоритму методики оцінювання податкового боргу як чинника фінансової безпеки держави

Джерело: авторська розробка

Сьогодні поширені штучні нейронні мережі з радіально-базисними функціями (ШНМ з РБФ). ШНМ з РБФ, на противагу штучним нейронним мережам перцептронного типу, мають такі переваги [4]:

- мають лише один прихований шар, що спрощує структурну ідентифікацію мережі;
- володіють високими прогностичними властивостями;
- мають можливість моделювати нестационарні процеси;
- характеризуються високою швидкістю навчання;
- мають можливість навчатися на неоднорідній вибірці даних.

Загальна структура ШНМ з РБФ має такий вигляд [5]:

$$y_j = F_j(\mathbf{x}) = w_{j0} + \sum_{i=1}^h w_{ij} f_i(\mathbf{x}) = \mathbf{w}_j^T \mathbf{f}(\mathbf{x}), \quad (1)$$

де y_j – j -й нейромережевий вихідний сигнал; $F_j(x)$ – нелінійне перетворення вхідного вектора $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ на j -й вихідний; $\mathbf{w}_j = (w_{j0}, w_{j1}, \dots, w_{jh})^T$ – вектор, що представляє регульовані синаптичні ваги; $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = (1, f_1(x), f_2(x), \dots, f_h(x))^T$ – вектор, що позначає радіально-базисну функцію; $i = 1, \dots, h$, де h – кількість нейронів прихованого рівня мережі.

Як радіально-базисну переважно застосовують функцію Гаусса:

$$f_i(\mathbf{x}) = f_i\left(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\|^2 R_i^{-1}\right) = \exp\left(-\frac{1}{2}\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\|^2 \mathbf{S}^{-2}\right). \quad (2)$$

Враховуючи (2), структура ШНМ з РБФ набуде вигляду:

$$y_j = F_j(\mathbf{x}) = w_{j0} + \sum_{i=1}^h w_{ij} f_i(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\| \mathbf{S}^{-2}) = \mathbf{w}_j^T \mathbf{f}(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\| \mathbf{S}^{-2}). \quad (3)$$

Зважаючи на вищезазначене, для моделювання показників фінансово-економічної безпеки найдоцільніше застосувати апарат штучних нейронних мереж з радіально-базисними функціями.

Враховуючи експериментальні дані, наведені у табл. 3.1, позначимо як \mathbf{x} чинник, що впливає на ІЕБ, як “вхід” ШНМ із РБФ, а $y_j(k)$ – показники фінансово-економічної безпеки, як вихідний нейромережевий сигнал, $j = 1 \dots 11$ – кількість показників фінансово-економічної безпеки, $k = 1 \dots 120$ – часова дискрета (кількість місяців від 2004 до 2013 роки). Аналізуючи вхідні та вихідні експериментальні дані, бачимо, що деякі показники вимірюються у гривнях, а інші – у відсотках. Для ефективного моделювання на основі експериментальних даних доцільно пронормувати показники ФЕБ.

Архітектуру зазначеної структури ШНМ з РБФ зображено на рисунку 5:

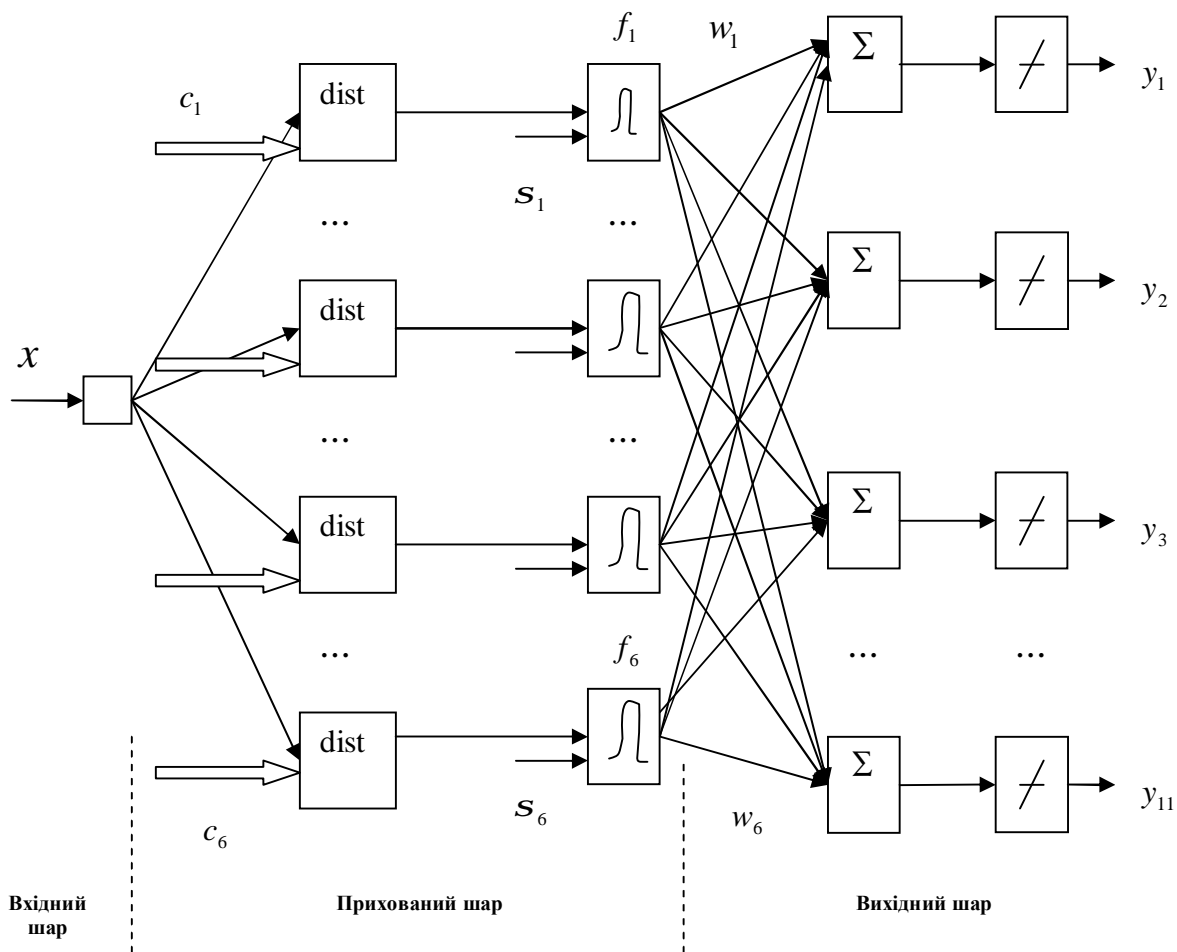


Рис. 5. Оптимальна архітектура штучної нейронної мережі з радіально-базисними функціями для моделювання індиксів фінансово-економічної безпеки

Побудована структура ШНМ з РБФ для розв'язання задачі має вигляд:

$$y(k) = w_1 f_1(\|x(k) - c_1\| S^{-2}) + w_2 f_2(\|x(k) - c_2\| S^{-2}) + \dots + w_6 f_6(\|x(k) - c_6\| S^{-2}) \quad (4)$$

На основі побудованої структури ШНМ з РБФ (4) одержуємо результати моделювання індикторів фінансової безпеки, вважаючи податковий борг чинником, що на них впливає.

Усю вибірку даних поділяємо на навчальну і тестову (контрольну, перевірку). На навчальній вибірці ШНМ з РБФ вчиться, а на контрольній вибірці перевіряємо адекватність побудованої структури ШНМ з РБФ для моделювання показників фінансової безпеки. На рисунку вертикальною лінією поділено навчальну та контрольну вибірки. Пунктирна лінія позначає експериментальні дані, а суцільна – модельовані, тобто взаємозв'язок показників фінансової безпеки та податкового боргу як чинника, що впливає на ці показники.

Отже, результат моделювання індиктором – рівень тінізації економіки.

Як свідчать проведені експерименти, отримані результати прогнозування та фактичні значення показника достатньо точно повторюють динаміку один одного. В обох випадках нейронна мережа під час “навчання” точно відтворює тренд досліджуваного показника, що ми трактуємо як підтвердження сформульованої гіпотези – взаємозв'язку податкового боргу та фінансової безпеки за обраним показником.

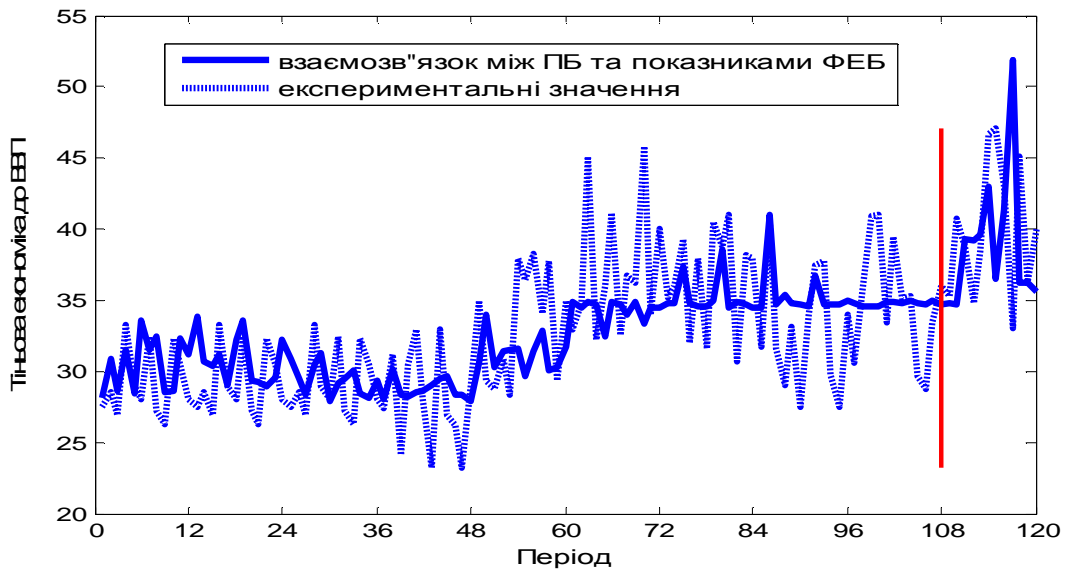


Рис. 6. *Взаємозв'язок між податковим боргом та індикатором фінансової безпеки – податкове навантаження*

Розглянемо результати моделювання за іншим оцінним показником – податковим навантаженням (рис. 7).

Як видно з рисунка, під час “навчання” нейронна мережа не відтворює тенденцій, продемонстрованих фактичною динамікою досліджуваного індикатора, крім того, цікавим є факт, що у прогнозованому періоді моделлю відтворюється абсолютно зворотна зміна – “викид” прогнозних значень. На наш погляд, це означає відсутність взаємозв'язку між явищами.

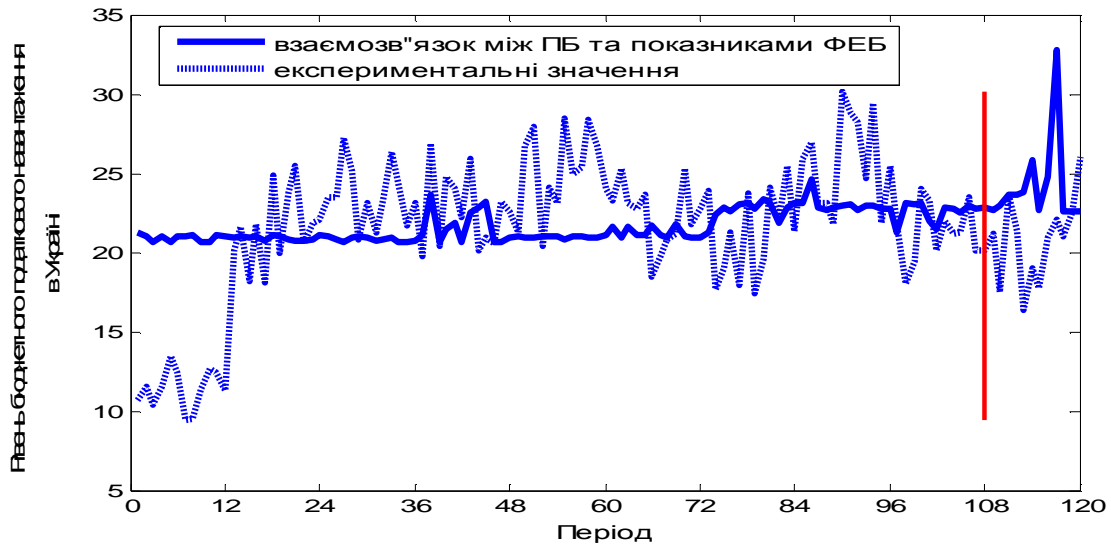


Рис. 7. *Взаємозв'язок між податковим боргом та індикатором фінансової безпеки – податкове навантаження*

Висновки

Існуючі “класичні” методи оцінювання економічної (фінансової) безпеки мають недоліки та в умовах невизначеності та швидкої мінливості зовнішнього середовища не можуть ефективно зображати вплив на її рівень різних факторів.

1. Нормативно-індикативний аналіз фінансової безпеки пропонується використовувати в методиці оцінювання податкової складової фінансової безпеки на першому етапі проведення.

2. Після декомпозиції внутрішнього середовища фінансової безпеки із податкової складової було виокремлено два оціночні індикатори, зокрема рівень податкового навантаження та тіньової економіки та на основі експертних оцінок визначено їх рівень. Встановлено, що значення цих показників свідчать про кризові тенденції у фінансовій безпеці.

3. Наступним етапом методики є моделювання взаємозв'язку цих кризових індикаторів із податковим боргом з метою підтвердження чи спростування гіпотези, що податковий борг є фактором цих зрушень.

4. Автори теоретично обґрунтували доцільність використання для моделювання описаного явища штучних нейронних мереж із радіально-базисними функціями.

5. Практичне втілення нейромережових технологій дає змогу стверджувати, що цю методика якнайкраще підходить до оцінювання змінного економічного середовища, ефективно описує навіть опосередкований взаємозв'язок досліджуваних явищ та дає змогу формулювати висновки щодо стану фінансової безпеки.

Перспективи подальших досліджень

Обґрунтовані теоретичні аспекти щодо використання ШНМ з РБФ для моделювання податково-боргової складової фінансової безпеки держави на прикладі двох індикаторів довели свою ефективність та будуть використані у подальших дослідженнях за іншими показниками фінансової безпеки, а також для розроблення теорії кризових явищ у фінансовій безпеці держави.

1. Цимбалюк І. О. Податкова безпека держави / І. О. Цимбалюк, Н. В. Вишневська // *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “Теорія та практика управління економічним розвитком”* (м. Київ, 22-24 листопада 2012 року). – В 3 т. – Т.2. – Донецьк: ООО Друк-Инфо, 2012. – 305 с. – С. 133-135. 2. Інформація Міністерства фінансів України щодо виконання Державного бюджету України за 2004-2013 рр.. – Офіційний сайт Міністерства фінансів України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.minfin.gov.ua/control/publish/article/main?art_id=368091&cat_id=368090 3. Інфографіка: тіньова економіка в Європі й Україні. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://forbes.ua/ua/nation/1381353-infografika-tinova-ekonomika-v-evropi-j-ukrayini> 4. Савка Н. Я. Проблеми ідентифікації штучних нейронних мереж з радіально-базисними функціями та можливі напрямки їх розв'язання / Н. Я. Савка, В. М. Спільчук, І. Я. Співак // *Індуктивне моделювання складних систем*. – 2010. – Вип. 2. – С. 181-193. 5. Бодянский Е. В., Руденко О. Г. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения // Харьков: ТЕЛТЕХ, 2004. – 372 с. 6. Руденко О. Г., Бодянский С. В. Штучні нейронні мережі: Навчальний посібник. – Харків: ТОВ “Компанія СМІТ”, 2006. – 404 с. 7. Дивак М. П. Метод ідентифікації вагових коефіцієнтів синаптичних зв'язків штучних нейронних мереж із радіально-базисними функціями на основі аналізу інтервальних даних / М. П. Дивак, Н. Я. Савка // *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка”*. – 2012 – Вип. 15 (203). – С. 132–139.