**УДК 330.101.5**

**Н. М. Михальчук**

**Н. Я. Савка**

Тернопільський національний економічний університет

кафедра фінансово-економічної безпеки та інтелектуальної власності

кафедра компʼютерних наук

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

*© Михальчук Н. М.,  Савка Н. Я., 2015*

***У статті запропоновано методику моделювання податково-боргової компоненти фінансової безпеки держави. Теоретично обґрунтована доцільність поєднання в методиці нормативно-індикативної оцінки з нейромережевими технологіями. Здійснено аналіз впливу податкової заборгованості на фінансову безпеку за двома індикаторами: податковим навантаженням та рівнем тінізації економіки.***

***Ключові слова: податкова заборгованість, фінансова безпека держави, методика оцінки 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*

***In the article it was proposed the method of modeling the tax-debt component of state financial security. The expediency of combination in methodology normative and indicative assessment and artificial neural network was theoretically grounded. It was analysed the impact of tax debt on financial security by two indicators: the tax load and the level of the shadow economy.***

***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 оцінки економічної безпеки держави, що є законодавчо закріпленою та грунтується на нормативно-індикативному аналізі, носить характер констатації існуючих тенденцій на базі фактичних показників. Суттєвого доопрацювання, на наш погляд, потребують офіційні методики оцінювання рівня економічної безпеки, оскільки вони є досить складними як з математичної, так і з логічної точок зору, що в цілому ускладнює механізм їх застосування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Дослідженню питання визначення рівня економічної (фінансової) безпеки держави, його моніторингу та методів оцінки присвячені роботи цілого ряду вітчизняних та закордонних дослідників, а саме Абалкіна Л., Бінько І., Бухвальд Є., Геєця В., Гловацької Н., Кизим М., Клебанової Т., Лазуренко С., Мартинюка В. П., Черняк О., Шлемко В.

Не применшуючи внеску фахівців, що займаються прогнозуванням рівня фінансово-економічної безпеки, зокрема Баранніка В., Жаліла Я., Іванова О., Луцкова В., Махортих Д.,

Покришка Д.,Сардак С., Тищук Т., зазначимо, що нині не існує системи, яка здатна була б сигналізувати про прихід кризових явищ як щодо фінансової безпеки держави, так і в розрізі її складових.

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

**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 такі важливі компоненти як вплив системи оподаткування; показники, які характеризують рівень розвитку страхового, фондового, фінансового ринків тощо. Зважаючи на це, висловлюємо необхідність вироблення нових, більш прогресивних методів, способів та інструментарію діагностики стану фінансової безпеки на макрорівні, зокрема за податково-борговою складовою, що зумовлено метою нашого дослідження.

**Виклад основного матеріалу**

Серед основних сучасних методів оцінки рівня економічної (фінансової) безпеки держави виділяють:

* моніторинг основних соціально-економічних показників і зіставлення їх з граничними значеннями, які мають бути не менші/більші ніж встановлений рівень;
* методи експертної оцінки, що в основному передбачають ранжування обʼєктів за визначеним набором показників;
* сценарний підхід, який за допомогою засобів математичного моделювання дозволяє уточнювати і конкретизувати початкові прогнози та створювати нові варіанти сценаріїв у рамках передбачуваної моделі;
* методи оптимізації, що передбачають побудову алгоритмів знаходження максимумів (мінімумів) функції і точок, в яких вони досягаються, при наявності обмежень та без них;
* теоретико-ігрові методи, які використовуються для аналізу багатосторонніх конфліктних ситуацій з урахуванням їх взаємовпливу;
* методи багатовимірного статистичного аналізу, що дозволяють обчислювати характеристики динаміки розвитку показників економічної безпеки, виявляти закономірності минулого розвитку та оцінювати їх перенесення на майбутнє;
* квазідинамічний підхід, що визначає цільову функцію забезпечення безпеки, а сам метод полягає в розділі 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, що класично використовується в основі прогнозування для встановлення взаємозв’язку між результативним показником і декількома факторними показниками не є ефективним, оскільки політична та економічна ситуація в Україні є нестабільною, а звʼязок 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 мають значні коливання, а значить 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 оцінки. Узагальнений алгоритм дослідницьких дій, що будуть здійснені в процесі її застосування, представлений у такій послідовності (рис.1, рис. 4).

**І. Підготовча стадія**

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

Джерело: складено автором

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

Фінансова безпека держави є багатокомпонентним та динамічним феноменом, багаторівневою системою, яку утворюють ряд підсистем, кожна з яких має власну структуру і логіку розвитку. Відповідно до безпекової парадигми, фінансова безпека держави включає: бюджетну, податкову, боргову безпеку, фінансову безпеку банківської системи, валютну, грошово-кредитну, інвестиційну безпеку, фінансову безпеку страхового та фондового ринку. Основною метою на даному етапі є декомпозиція внутрішнього безпекового середовища з метою виявлення найбільш чутливих до податкового боргу сфер. Із скукупності стистичних показників автором було вибрано 2-4 індикатори у розрізі кожної зі складових.

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

Зогляду 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. Прийнятний рівень безпеки досягається при умові, що всі індикатори знаходяться в межах своїх порогових значень. Якщо хоч по одному із індикаторів система перейшла поріг передкризового (кризового) стану, то вона розглядається як така, що знаходиться в передкризовому (кризовому) стані. Якщо хоча б за двома із індикаторів система перейшла передкризовий поріг, то вона розглядається як така, що знаходиться в кризовому стані.

Визначення порогових значень напряму залежить від специфіки сфери, до якої належить досліджуване явище. Оскільки спроба побудувати систему оцінки податково-боргової безпеки здійснюється нами вперше, то ми вважаємо за потрібне залучити досвід фахівців, що тривалий час працюють над вивченням процесів оподаткування, податкового боргу та безпекознавства, які на основі власного досвіду та інтуїції визначать рівень ризикованості відхилень.

Податкова безпека – це спроможність податкової системи до «… своєчасного виявлення та запобігання потенційних загроз у сфері оподаткування та здатність системи оподаткування в повній мірі реалізовувати усі функції податків як фіскальної так і регулюючої 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, згортання 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 субʼєктів господарювання.

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

Джерело: складено автором за [2]

Із рисунку бачимо, 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 даного показника, проте варто зазначити, що граничні значення наведені відповідно до нормативів, прийнятних у розвинутих державах світу, де значний рівень податкового навантаження компенсується високим ступенем еквівалентності повернутих державою благ платникам податків. В нашій державі, на жаль, таке явище не спостерігається, тому про позитивний тренд говорити не доводиться.

Підтіньовою економікою слід розуміти 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 як наслідок, не сплачує податки, тим самим 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 перевищую 30% ВВП (у деяких науковців зазначено 40%), настає критична точка, перевищення якої говорить про те, що в країні створилась 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 наступний тренд:

Рис. 3.Обсяги тіньової економіки та діапазон її граничних значень, % до ВВП

Джерело: складено автором за [3]

Як видно із рисунку, починаючи від 2004 до 2013 рр. в Україні обсяг тіньової економіки багатократно перевищує верхнє порогове значення, що свідчить про переростання даного негативного явища у пряму 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. Отож, 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 вказана задача відноситься до економічних задач, де мають місце процеси із глибокою нестабільністю, прості лінійно-регресійні моделі для відображення таких процесів є непридатними. В той же час, 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 персептронного типу відіграють велику роль при ідентифікації нелінійних систем, апроксимації функцій, розпізнаванні образів, прогнозуванні, кластеризації, проте вони відзначаються суттєвими недоліками, зокрема [4]:

* громіздкість структури мережі;
* складність ідентифікації структури мережі;
* низька швидкість навчання мережі;
* низькі прогностичні властивості;
* неможливість навчання на неоднорідній вибірці даних.

**ІІ. Оціночна стадія**

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

Джерело: складено автором

Сьогодні широкого застосування набувають штучні нейронні мережі з радіально-базисними функціями (ШНМ з РБФ). ШНМ з РБФ на противагу штучним нейронним мережам персептронного типу відзначаються суттєвими перевагами [4]:

* мають лише один прихований шар, що спрощує структурну ідентифікацію мережі;
* володіють високими прогностичними властивостями;
* можливістю моделювати нестаціонарні процеси
* високою швидкістю навчання;
* можливістю навчатися на неоднорідній вибірці даних .

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

, (1)

де  - *j*-ий нейромережевий вихідний сигнал;

- нелінійне перетворення вхідного вектора  в *j*-ий вихідний;

 - вектор, що представляє регульовані синаптичні ваги;

 - вектор, що позначає радіально-базисну функцію;

, де *h –* кількість нейронів прихованого рівня мережі*.*

Як радіально-базисну вбільшості застосовують функцію Гауса:

. (2)

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

 (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 таблиці 3.1, позначимо за ** -** чинник, що впливає на ІЕБ, як “вхід” ШНМ із РБФ, а *(k)* – показники фінансово-економічної безпеки, як вихідний нейромережевий сигнал, *j* = 1…11 – кількість показників фінансово-економічної безпеки, *k*=1…120 – часова дискрета (кількість місяців з 2004 по 2013 роки). Аналізуючи вхідні та вихідні експериментальні дані видно, що деякі показники вимірюються у гривнях, а інші у відсотках. Для ефективного моделювання на основі експериментальних даних, доцільно провести нормування показників ФЕБ.

Архітерктуру зазначеної структури ШНМ з РБФ зображено на рисунку 5:

dist

dist

dist

dist

















…

…

…

…









…

…

…









**Вхідний**

**шар**

**Прихований шар**

**Вихідний шар**









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

Побудована структура ШНМ з РБФ для розв’язку задачі має вигляд:

**** (4)

На основі побудованої структури ШНМ з РБФ (4) одержуємо результати моделювання індикаторів фінансової безпеки, враховуючи податковий борг, як чинник, що на них впливає.

Всю вибірку даних поділяємо на навчальну і тестову (контрольну, перевірочну). 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 розділено навчальну та контрольну вибірку. Пунктирна лінія позначає експериментальні дані, а суцільна – модельовані, тобто взаємозв’язок показників фінансової безпеки та податкового боргу як чинника, що впливає на вказані показники.

Отже, результати моделювання індикатором – рівень тінізації економіки:



Рис. 6. Взаємозвʼязок між податковим боргом та індикатором фінансової безпеки – податкове навантаження

Як свідчать проведені експерименти, отримані результати прогнозування та фактичні значення показника досить точно повторюють динаміку один одного. В обох випадках нейронна мережа при «навчанні» точно відтворює тренд досліджуваного показника, що ми трактуємо як підтвердження сформульованої гіпотези - взаємозвʼязку податкового боргу та фінансової безпеки за обраним показником.

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

Як видно на рисунку, 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 зворотня зміна – «викид» прогнозних значень. На наш погляд, це означає відсутність взаємозвʼязку між явищами.



Рис. 7. Взаємозвʼязок між податковим боргом та індикатором фінансової безпеки – податкове навантаження

**Висновки**

1. Існуючі «класичні» методи оцінки економічної (фінансової) безпеки мають ряд недоліків та в умовах невизначеності та швидкої мінливості зовнішнього середовища не можуть ефективно відображати вплив на її рівень різних факторів.
2. Нормативно-індикативний аналіз фінансової безпеки пропонується використовувати в методиці оцінки податкової складової фінансової безпеки на першому етапі проведення.
3. Після декомпозиції внутрішнього середовища фінансової безпеки, із податкової складової було виокремлено два оціночних індикатори, зокрема рівень податкового навантаження та тіньової економіки, та на основі експертних оцінок визначено їх рівень. Встановлено, що значення даних показників свідчать про кризові тенденції у фінансовій безпеці.
4. Наступним етапом методики є моделювання взаємозвʼязку даних кризових індикаторів із податковим боргом з метою підтвердження чи спростування гіпотези, що податковий борг є фактором даних зрушень.
5. Авторами теоретично обгрунтовано доцільність використання для моделювання описаного явища штучних нейронних мереж із радіально-базисними функціями.
6. Практичне втілення нейромережевих технологій дозволяє стверджувати, що дана методика якнайкраще підходить до оцінки змінного економічного середовища, ефективно описує навіть опосередкований взаємозвʼязок досліджуваних явищ та дозволяє 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 розробки 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 бюджетуУкраїни 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: ТЕЛЕТЕХ, 2004. – 372 с.*
6. *Руденко О.Г., Бодянський Є.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 / Дивак М. П., Савка Н. Я. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». -2012 – Вип. 15 (203). – С. 132-139.*