

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Західноукраїнський національний університет**  
**Навчально-науковий інститут новітніх освітніх технологій**  
Кафедра комп'ютерної інженерії

**ДЕРЕВЕЦЬКИЙ Віктор Юрійович**  
**«Програмний модуль аналізу показників**  
**фінансової безпеки на основі штучних**  
**нейронних мереж / Software module for analysis**  
**of financial security indicators based on artificial**  
**neural networks»**

спеціальність: 123 - Комп'ютерна інженерія  
освітньо-професійна програма - Комп'ютерна інженерія  
Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи КІз-41  
В.Ю. Деревецький

---

Науковий керівник:  
к.т.н. Н.Я. Савка

---

Кваліфікаційну роботу допущено  
до захисту:

" \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ О.Л. Дубчак

**Тернопіль – 2024**

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота на тему «Програмний модуль аналізу показників фінансової безпеки на основі штучних нейронних мереж» зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» освітнього ступеня «бакалавр» містить 74 сторінки пояснюючої записки, 10 рисунків, 5 додатків. Обсяг графічного матеріалу 2 аркуші формату А3.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка програмного модуля для аналізу показників фінансової безпеки держави РБФ-моделей штучних нейронних мереж.

Методи дослідження включають методи аналізу та синтезу, кластеризації, ідентифікації структури та параметрів, прогнозування, комп'ютерного моделювання.

У розробленому проекті розглянуто задачу аналізу та прогнозування індикаторів фінансової безпеки держави на основі РБФ-моделей ШНМ. Навчання таких архітектур відбувається у два етапи: налаштування параметрів РБФ-моделі та обчислення синаптичних ваг. Для визначення центрів радіально-базисних функцій використано алгоритм субтрактивної кластеризації. Налаштування синаптичних ваг ґрунтується на алгоритмі мінімізації середньоквадратичної похибки. Розроблено алгоритм синтезу РБФ-моделей ШНМ для аналізу показників фінансової безпеки держави.

Практичне значення полягає у розробці програмного модуля навчання ШНМ на основі РБФ-моделей. Побудовано РБФ-модель ШНМ для аналізу та прогнозування показників фінансової безпеки.

Ключові слова: РБФ-МОДЕЛЬ, ШТУЧНА НЕЙРОННА МЕРЕЖА, СИНАПТИЧНІ ВАГИ, ПОКАЗНИКИ ФІНАНСОВОЇ БЕЗПЕКИ.

## ANNOTATION

Qualification thesis “Software module for analysis of financial security indicators based on artificial neural networks” in the specialty 123 "Computer Engineering" of bachelor education degree contains 74 pages of explanatory notes, 10 figures, 5 appendixes. The volume of graphic material is 2 sheets of A3 format.

The aim of the qualification work is to development software module for analysis indicators of the state's financial security based on RBF models of artificial neural networks.

Research methods include methods of analysis and synthesis, clustering, identification of structure and parameters, forecasting, computer modeling.

Developed project considers tasks of analysis and forecasting indicators of financial security of the state based on RBF-models of ANN. The learning of such architectures takes place in two stages: setting the parameters of the RBF model and calculating the synaptic weights. The subtractive clustering algorithm used to determine the centers of radial basis functions. The setting of synaptic weights based on the mean square error minimization algorithm. An algorithm for synthesis of RBF models ANN for analysis indicators financial security of the state was developed.

The practical significance lies in development of software module for learning ANNs based on RBF models. The RBF model of ANN for analysis and forecasting of financial security indicators was built.

Keywords: RBF MODEL, ARTIFICIAL NEURAL NETWORK, SYNAPTIC WEIGHTS, INDICATORS OF FINANCIAL SECURITY.

## ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Показники безпеки фінансів та засоби їх аналізу .....	11
1.1 Аналіз показників безпеки фінансів держави.....	11
1.2 Методи моделювання економічних процесів .....	14
1.3 Аналіз засобів моделювання показників безпеки фінансів.....	20
1.4 Постановка задачі кваліфікаційної роботи .....	22
2 Алгоритм аналізу показників безпеки фінансів на основі РБФ-моделі .....	24
2.1 Аналіз архітектури штучних нейромереж на основі РБФ-моделей .....	24
2.2 Методи ідентифікації структури та параметрів РБФ-моделей.....	28
2.3 Алгоритм аналізу показників безпеки фінансів на основі РБФ-моделей.....	32
3. Програмна реалізація алгоритму аналізу показників безпеки фінансів.....	37
3.1 Структура програмного модуля аналізу показників безпеки фінансів...37	
3.2 Реалізація алгоритму аналізу показників безпеки фінансів на основі РБФ-моделі .....	40
3.3 Моделювання показників безпеки фінансів на основі РБФ-моделі ШНМ.....	46
Висновки.....	50
Список використаних джерел.....	51
Додаток А Світлокопії публікацій .....	55
Додаток Б Експериментальні дані.....	59
Додаток В Лістинг коду програми .....	61
Додаток Г Техніко-економічне обґрунтування розробки....	65
Додаток Д Довідка про використання....	74

					КР.КІ.07171/17.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Деревецький В.Ю.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Савка Н.Я.			8	74	
Консульт.		Савка Н.Я.			ЗУНУ.ФКІТ. КІ-41		
Н. Контр.		Дубчак Л.О.					
Затвердив		Дубчак Л.О.					

## ВСТУП

Моделювання показників безпеки фінансів регіону є актуальною задачею, оскільки від параметрів, що характеризують фінансовий стан держави, суттєво залежить економіка країни загалом. В той же час, взаємозв'язок між показниками безпеки фінансів регіону та чинниками, що на них впливають, є нелінійний, а це вимагає застосування відповідного апарату моделювання для отримання адекватних моделей характеристики процесів та їх прогнозування.

Суттєвий вплив на показники безпеки фінансів держави має податковий борг, як один із основних чинників впливу. Побудова моделі, яка б відображала взаємозв'язок податкового боргу та результативних показників безпеки фінансів регіону є основою задачі моделювання.

Існуючі програмні засоби моделювання показників безпеки фінансів в основному ґрунтуються на статистичному аналізі показників та побудові короткострокових пргнозів. Проте індикатори безпеки фінансів – це показники, що характеризують економіку держави, яка є нестабільною, а самі показники часто є неоднорідними. За таких умов задача моделювання показників безпеки фінансів регіону вимагає застосування такого математичного апарату, який би уможлиблював побудову прогнозних моделей, зважаючи на чинники впливу.

Штучні нейромережі (ШНМ) сьогодні мають широке застосування для розв'язування подібних задач, оскільки вони є універсальними апроксиматорами, здатні до навчання та можуть адаптуватися до змін зовнішнього середовища.

Існує чимало архітектур ШНМ, які варіюють від багат шарового перцептрона до складних структур нейромереж, що здатні розв'язувати різноманітні складні задачі. Для моделювання та прогнозування процесів із глибокою нестабільністю застосовують штучні нейромережі на основі радіально-базисних моделей. Серед переваг зазначених ШНМ є проста архітектура (наявність лише одного прихованого шару), можливість навчатися на обмеженій неоднорідній вибірці даних, висока швидкість навчання. Зважаючи на

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виокремлені переваги, для моделювання індикаторів безпеки фінансів держави доцільно застосувати архітектури ШНМ на основі РБФ-моделей.

Отже, метою кваліфікаційної роботи є розробка програмного модуля аналізу показників безпеки фінансів держави на основі апарату РБФ-моделей архітектур ШНМ. Досягнення мети можливе внаслідок виконання нижчеперелічених задач:

- проаналізувати особливості функціонування РБФ-моделей архітектур ШНМ;
- охарактеризувати алгоритми побудови таких моделей;
- проаналізувати існуючі програмні засоби моделювання економічних процесів;
- розробити алгоритм аналізу показників безпеки фінансів на основі РБФ-моделей;
- розробити програмний модуль реалізації алгоритму;
- дослідити ефективність розробленого алгоритму та програмного модуля на основі задачі аналізу показників безпеки фінансів держави;
- обґрунтувати техніко-економічні показники розробленого проєкту.

Об'єктом дослідження є фінансові процеси держави.

Предмет дослідження – методи аналізу фінансових показників держави на основі РБФ-моделей архітектур ШНМ.

Практичне значення роботи полягає у проєктуванні програмного модуля аналізу показників безпеки фінансів країни.

Кваліфікаційну роботу підготовлено, опираючись на вимоги, які викладено у [11-13].

За основними результатами кваліфікаційної роботи опубліковано тези доповіді на XI Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих науковців "Інформаційні технології-2024" [24]. Копії публікації містяться у додатку А.

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ПОКАЗНИКИ БЕЗПЕКИ ФІНАНСІВ ТА ЗАСОБИ ЇХ АНАЛІЗУ

## 1.1 Аналіз показників безпеки фінансів держави

Безпека фінансів – це одна із найважливіших складових економічної безпеки країни, регіону чи підприємства. Суть безпеки фінансів полягає у здатності здійснювати самостійну фінансово-економічну політику відповідно до національних інтересів, забезпечувати стійкість платіжно-розрахункової системи та основних фінансово-економічних параметрів, нейтралізувати вплив світових фінансових криз та навмисних дій (держав, транснаціональних компаній, субдержавних угруповань та ін.), тіньових структур на національну економіку та ін. [3]. Це складна багатоаспектна категорія, яка характеризується тісною взаємозалежністю та взаємодією її складових. Тому недоліки та помилки у підтримці одних параметрів безпеки фінансів відразу відбивається на інших [5].

Безпека фінансів – це стан фінансових відносин, за якого створюються прийнятні умови та необхідні ресурси для розширеного відтворення, економічного зростання, зростання добробуту населення, стабільності, збереження цілісності та єдності фінансової системи держави, для успішного протистояння внутрішнім та зовнішнім факторам дестабілізації фінансового стану в країні [7].

Безпека фінансів країни показує стан фінансових ресурсів, які забезпечують гарантований захист національних економічних інтересів. Це соціально спрямований розвиток національної економіки, фінансової системи та сукупності фінансових відносин і процесів у державі. Концепція безпеки фінансів повинна включати пріоритетні цілі та завдання забезпечення безпеки, шляхи та методи її досягнення, які б адекватно відображали роль фінансів у сучасному соціально-економічному розвитку країни. Її зміст мають координувати загальнодержавні дії в області забезпечення безпеки на рівні окремих громадян, суб'єктів господарювання, галузей, секторів економіки, а також на національному, регіональному та глобальному рівні. Без обґрунтованої концепції безпеки

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фінансів неможливо сподіватися на проведення ефективного соціально-економічного реформування країни [9].

Показники (індикатори) безпеки фінансів – це найбільш важливі параметри, які описують стан фінансів в цілому, їх стійкість до негативних впливів, мобільність до відновлення. Слід зауважити, що безпеку фінансів поділяють на [4, 5, 10, 18]:

- бюджетну;
- банківську;
- боргову;
- податкову;
- грошово-кредитну;
- інвестиційну;
- безпеку фондового ринку.

Зважаючи на вищенаписане, в загальному до показників безпеки фінансів відносять [10, 15-16]:

- ступінь перерозподілу валового внутрішнього продукту (ВВП) через зведений бюджет;
- ступінь монетизації ВВП;
- відсоткове відношення активів банків до ВВП;
- відсоткове відношення загального обсягу державного боргу до ВВП;
- дефіцит бюджету держави;
- ступінь доларизації національної економіки;
- швидкість готівкового обігу;
- ставка рефінансування Національного банку України;
- процентна ставка за кредит банку;
- виконання бюджету держави за надходженнями податків;
- результати діяльності суб'єктів господарювання;
- ступінь бюджетного податкового навантаження;
- тіньова економіка;

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- спроможність у повному обсязі обслуговувати та своєчасно погашати борг;
- чисті залучення позик за вирахуванням витрат на погашення та обслуговування боргу держави;
- частка у загальному об'ємі капіталовкладень;
- частка іноземних інвестицій у загальному об'ємі інвестицій країни;
- величина іноземних інвестицій на душу населення;
- ризикованість інвестиційних проєктів;
- динаміка загального об'єму депозитів;
- динаміка індексу інфляції;
- динаміка об'єму капітальних інвестицій;
- динаміка індексу ПФТС.

В цілому основу безпеки фінансів складає бюджетна безпека – рівень забезпечення платоспроможності держави з урахуванням балансу доходів і видатків державного й місцевих бюджетів та ефективності використання коштів бюджету [10].

У той же час на формування показників безпеки фінансів країни (регіону) впливають певні чинники. Деякі чинники мають суттєвий вплив практично на всі показники безпеки фінансів, інші – торкаються лише певних груп. Основним чинником, що здійснює суттєвий вплив на показники безпеки фінансів є податковий борг – сума узгодженого грошового зобов'язання із врахуванням штрафних санкцій, якщо такі наявні, не сплаченого платником податків у встановлений термін, який зазначений у Податковому кодексі, а також пеня, нарахована на суму такого грошового зобов'язання.

Варто зауважити, що якраз у виявленні взаємозв'язку між податковим боргом та результативними показниками безпеки фінансів полягає задача аналізу показників безпеки фінансів. Розроблена модель повинна адекватно відобразити реальні процеси, що стосуються формування показників безпеки фінансів, показувати ступінь впливу податкового боргу на той чи інший індикатор [4, 14].

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином у наступному підрозділі розглянемо основні програмні засоби, що служать для аналізу та моделювання показників безпеки фінансів.

## 1.2 Методи моделювання економічних процесів

Сьогодні найширший розвиток набуло конструкторське, технологічне, архітектурне, математичне, комп'ютерне моделювання, економічне моделювання. У той же час економіка сама по собі є моделлю, але набагато складнішою. Економічні процеси, механізми управління та планування економіки також можуть бути описані за допомогою моделей. При цьому не слід змішувати економічні моделі та комп'ютерні чи математичні моделі економіки. Вони мають важливі відмінності. Економічні моделі мають набагато загальніший характер, а комп'ютерні та математичні моделі можуть використовуватися в їх межах для вирішення вузких, конкретних, прикладних задач [1].

Головна відмінність економічних моделей від решти полягає в тому, що в них моделюється не об'єкт, а завжди система, яка включає в себе і об'єкт, і суб'єкт, і предмет економічного господарювання. Якщо об'єкт складається із сукупності взаємопов'язаних між собою елементів, сума властивостей яких не дорівнює властивостям об'єкта, то маємо справу із системою. Тим більше йдеться про систему, коли досліджується функціонування трьох різнорідних елементів, але об'єднаних взаємозв'язками, загальною економічною сутністю та змістом господарювання.

Таким чином, при економічному моделюванні завжди складається модель системи. Виходячи з цієї головної відмінності впливає сутність економічної моделі, її характерні особливості. Економічні моделі є об'єктно-суб'єктними моделями, оскільки вони моделюють як економічні об'єкти і його механізми, так і поведінку економічних суб'єктів, процеси управління. Економічні моделі завжди відображають триєдиний вектор розвитку об'єктів, предметів та суб'єктів

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

економічного господарювання. Тому враховується вплив суб'єктивних, мотиваційних, поведінкових чинників прийняття рішень, роль «людського чинника» у розвитку системи [2].

Вони є комплексними моделями, оскільки економічні моделі завжди ґрунтуються на комплексному дослідженні будь-яких економічних процесів, об'єктів, предметів та суб'єктів економічного господарювання, а також усіх факторів, що впливають на їх зміну. У зв'язку з цим дуже важливо відзначити, що будь-яка економічна система є соціально орієнтованою, а отже, і економічна модель має бути орієнтована на найкраще задоволення суспільних потреб. Під цим кутом зору має оцінюватися вплив на неї науково-технічних, фінансово-економічних, соціально-політичних, демографічних, географічних, суб'єктивно-психологічних та всіх інших факторів.

Усі названі показники економічних моделей виражаються у формуванні її теоретичної бази даних. Будь-яка економічна модель починається зі складання цілісної, постійної, особливо систематизованої бази даних. Такі моделі є об'єктно-реляційними, оскільки характеризують взаємозв'язок між елементами всередині системи. Економічні моделі завжди характеризуються мережею прямих та зворотних зв'язків.

Економічні моделі є динамічними, оскільки характеризують процеси, що протікають в економічній системі в часі, а саме це процеси аналізу, оцінки, прогнозування, вироблення стратегій розвитку, планування, а також процеси управління змінними даними, процеси прийняття рішень, визначення стратегічного діапазону вихідних даних, стратегічної програми розвитку та їх ситуаційного коригування для отримання поточних вихідних даних. Важливою особливістю є і те, що в економічній системі всі планово-аналітичні механізми та інструменти теж моделюються у динаміці, тобто у процесі їх реформування, генерації та впливу їх удосконалення на підвищення ефективності економічної системи загалом.

Функціональність моделей підтверджує той факт, що всі явища, процеси та взаємозв'язки між елементами моделюються в економічній системі з точки зору їх

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

функціональності. Моделі є просторовими, оскільки будь-яка економічна система представляється в тривимірній системі координат і характеризує триєдиний вектор розвитку: 1) своєї організації та її планово-аналітичних інструментів, 2) своєї продукції шляхом підвищення її конкурентоспроможності та 3) свого кадрового складу шляхом підвищення кваліфікації робітників, фахівців, управлінців та покращення управлінського процесу в цілому [1].

Крім того, будь-яка економічна система моделюється у просторі своїм становищем на ринках та по відношенню до інших подібних систем і характеризується своїм діловим оточенням та мережею взаємозв'язків – відносин із конкурентами, покупцями, продавцями. У економіці дуже важливе перебування у процесі прийняття рішень синергетичних множин, тобто. значення різних показників повинні узгоджуватись один з одним таким чином, щоб у сукупності забезпечувати оптимальне рішення.

Тому рішення часто знаходяться за допомогою графічних методів у тривимірній системі координат. В економічних моделях можуть використовуватися методи теорії множин, багатовимірного моделювання для вирішення задач багатоцільової оптимізації та підвищення ефективності планово-економічних інструментів, що також потребує просторового підходу.

Моделі є аналого-цифровими, оскільки сама економічна модель складається з цифрових кодів, але кожен цифровий код має словесний опис. Сутність економічного моделювання полягає у такому моделюванні планово-аналітичних, організаційних та управлінських інструментів економічної системи, що призводять до підвищення її ефективності.

Основними етапами економічного моделювання є:

- формування бази даних економічної системи;
- формування СУБД економічної системи;
- формування динамічних рядів опорних даних на основі прогнозування економічного середовища господарювання та тенденцій розвитку економічної системи;

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- формування ситуаційно-стратегічних планів та формування блоків стратегій розвитку економічної системи;
- формування стратегічного діапазону вихідних даних стратегічної програми з урахуванням алгоритмів вибору оптимальних рішень, графічних методів багатовимірного моделювання, комп'ютерних програм;
- ситуаційне коригування вихідних даних стратегічної програми з урахуванням попиту та пропозиції у поточному періоді.

На 5-му та 6-му етапах моделювання з успіхом можуть використовуватися як математичні, так і комп'ютерні моделі для вирішення конкретних оптимізаційних задач, оскільки вибір оптимального варіанту планування з усіх можливих завжди пов'язаний з побудовою алгоритму та багатовимірної матриці багатоцільової оптимізації, що вимагає обробки великого масиву даних за допомогою машинної обробки інформації та спеціальних програм.

Економічне моделювання призначене не тільки для дослідження економічної системи і процесів, що протікають в ній, але і для знаходження способів підвищення її ефективності, вироблення та оцінки варіантів рішень, отримання оптимальних результатів. Такий підхід розширює поняття економічної моделі, як способу генерації планово-аналітичних інструментів, вироблення оптимальних рішень та управління масивом змінних даних.

Математичне моделювання є невід'ємною частиною будь-якого дослідження і різних галузях народного господарства. Бурхливий розвиток математичного аналізу, дослідження операцій, теорії ймовірностей та математичної статистики сприяло формуванню різноманітних моделей та засобів моделювання.

Економічні об'єкти різного рівня, починаючи з рівня простого підприємства і закінчуючи макрорівнем економіки країни або навіть світової економіки можна розглядати з позицій системного підходу. Характеристики поведінки економічних систем: мінливість (динамічність), суперечливість поведінки, схильність до впливу навколишнього середовища визначають вибір методу їхнього дослідження.

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Методи моделювання економічних процесів розроблено для теоретичних цілей економічного аналізу та для практичних цілей планування, управління та прогнозу. У літературі, присвяченій питанням економіко-математичного моделювання, залежно від обліку різних факторів (часу, способів його подання в моделях, випадкових факторів тощо) виділяють, наприклад, такі класи моделей [19]:

- статистичні та динамічні;
- дискретні та безперервні;
- детерміновані та стохастичні.

Якщо ж розглядати характер методу, на основі якого будується математична модель, то можна виділити два основні типи моделей: математичні та імітаційні. Докладніше зупинимося на застосуванні імітаційного моделювання для аналізу економічних систем та процесів. Усі імітаційні моделі побудовані на кшталт "чорного ящика", тобто сама система, її елементи та структура, представлені у вигляді "чорної скриньки"; вхід до нього описується екзогенними змінними (виникають поза системою, під впливом зовнішніх причин), а вихід (описується вихідними змінними) характеризує результат дії системи.

В імітаційному дослідженні велике значення має етап оцінки моделі, що включає наступні кроки:

- верифікація моделі (модель поводить ся так, як це було задумана дослідником);
- оцінка адекватності (перевірка відповідності моделі реальній системі);
- проблемний аналіз (формування статистично значимих висновків з урахуванням даних, отриманих у результаті експериментів з моделлю).

Математична модель – це уявлення математичної реальності, одна з варіацій моделі як системи, вивчення якої дозволяє отримувати інформацію про іншу систему. Сьогодні існує безліч моделей різних типів, які були розроблені в результаті використання методів математичного моделювання в різних видах діяльності. Класифікація математичних моделей здійснюється залежно від [1]:

- складності об'єкта дослідження;

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- операторів моделі;
- вхідних та вихідних параметрів;
- методів модельного дослідження;
- об'єктів дослідження;
- порядку розрахунку.

Залежно від складності об'єкта дослідження моделі поділяються на прості та складні об'єкти системи. Моделі поділяються на лінійні, нелінійні, а також алгоритмічні, прості та складні залежно від оператора. За характером модельованого процесу моделі поділяються на [2]:

- детерміновані, які відповідають детермінованим процесам, що мають строго однозначний зв'язок між фізичними величинами, що характеризують стан системи у будь-який момент часу. Детермінована модель дозволяє однозначно обчислити та передбачити значення вихідних величин за значеннями вхідних параметрів та керуючих впливів;

- невизначені, які виходять з того, що зміна визначальних величин відбувається випадковим чином, і значення вихідних величин знаходяться у імовірнісній відповідності до вхідних величин і не визначаються однозначно.

Моделі з невизначеними параметрами можна розділити на такі групи [19]:

- стохастичні – значення всіх або окремих параметрів моделі визначають випадкові значення, задані густиною ймовірності;

- випадкові – значення всіх чи окремих параметрів моделі визначаються випадковими величинами, які залежать від оцінки ймовірності, встановленої для обробки обмеженої експедиційної вибірки цих параметрів.

- інтервальні – значення всіх або окремих параметрів моделі описуються значеннями інтервалу, мінімальними і максимально можливими значеннями параметрів;

- нечіткі – значення всіх або окремих параметрів моделі описуються функціями відповідної нечіткої множини.

Моделі поділяють на одновимірні, двовимірні та тривимірні з погляду розмірності простору. Цей поділ застосовується до моделей, які мають просторові

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

координати у якості параметрів. З точки зору часу моделі поділяють на динамічні та статичні. Поділ моделей на якісні та кількісні, дискретні та неперервні, а також змішані здійснюється залежно від типу використовуваних параметрів.

Залежно від способу реалізації моделі діляться на аналітичні та алгоритмічні, які використовують лише наближені значення для шуканих параметрів.

Таким чином, вище проведений аналіз показує, що для моделювання економічних процесів існує багато методів, залежно від специфіки прикладної задачі та бажаного кінцевого результату. Проте будь-який метод моделювання повинен враховувати те, що економічним процесам притаманна глибока нестабільність.

### 1.3 Аналіз засобів моделювання показників безпеки фінансів

Методам аналізу показників безпеки фінансів присвячено чимало праць вчених, зокрема, у [6, 7] описано спосіб аналізу показників безпеки фінансів на основі програмного середовища Microsoft Excel. Такий засіб полягає у обробці та аналізі статистичної інформації та побудові на основі результатів дослідження математичних моделей порівняння фактичних та порогових значень показників безпеки фінансів. У результаті такі моделі є фундаментом для прийняття рішень про реальний стан фінансової системи держави в цілому та виявлення проблем, які вимагають застосування методів оперативного вирішення.

Слід зауважити, що такий спосіб уможливорює швидкий пошук та аналіз статистичної інформації, побудову порівняльних моделей, проте не враховує нелінійність між входом та виходом моделі, а також не здатний описати нестационарність, яка притаманна економічним процесам.

У [6] описано метод прогнозування фінансових показників на основі Arima-моделі, що базується на функції автокореляції між входом та виходом. Модель

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



спрямована на аналіз часових рядів та побудову прогнозних значень на основі попередніх. Із множини розроблених моделей алгоритм на основі внутрішніх параметрів обирає найбільш значущу модель. Таким чином, Arima-модель ґрунтується на статистичному методі прогнозування ковзного середнього, що не враховує взаємозв'язки між результативним показником та факторами, що на нього зумовлюють вплив. В той же час, процедура побудови множини моделей й вибору серед них оптимальної вимагає значних затрат ресурсів та часу.

Для моделювання показників безпеки фінансів використовують метод моніторингу соціально-економічних показників та зіставлення їх із деякими граничними значеннями, а також результатами методів оцінки експертів, що полягають у ранжуванні показників за певним набором ознак [1, 7].

Для оцінки безпеки фінансів держави також використовують метод оцінки динаміки основних показників. Такий метод полягає у дослідженні динамічних рядів ключових індикаторів й аналізі на основі зіставлення їх темпів зростання за тривалий проміжок часу. Відмінна риса описаного способу полягає в тому, що визначається лише напрямок зміни економічної захищеності, а безпосередньої оцінки її рівня не можливо отримати. Тому такий метод доцільно застосовувати як доповняльний до інших [8].

Метод порогових значень індикаторів полягає у зіставленні реальних значень показників із нормативними (пороговими) значеннями. Виявлені відмінності дають можливість отримати оцінку ступеня безпеки економіки. Такий метод підходить для оцінки фінансових індикаторів, оскільки більшість фінансових коефіцієнтів мають науково-обґрунтовані кількісні значення (нормативи). Проте зазначений метод не враховує ступінь впливу факторів на формування того чи іншого показника.

Оптимізаційні методи передбачають обчислення мінімумів (максимумів) функцій та контрольних точок, в яких функції досягають граничного рівня. Багатовимірний статистичний аналіз для моделювання фінансових показників дозволяють дослідити динаміку індикаторів, на основі виявлених закономірностей розвитку здійснювати оцінку прогнозних значень.

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, вищепроведений аналіз методів моделювання показників безпеки фінансів показує відсутність комплексної моделі, яка б описувала взаємозв'язок між показниками безпеки фінансів регіону та чинниками впливу. Методи регресійно-кореляційного аналізу уможливають розробку моделей взаємозв'язку між вхідними (чинниками впливу) та вихідними (результативними) показниками, проте за умов, якщо такий зв'язок лінійний.

Для аналізу нестационарних процесів, які притаманні саме економічним задачам, варто застосувати такі архітектури ШНМ, як РБФ-моделі [6, 15, 23]. Зазначені архітектури мають досить просту структуру, оскільки містять тільки один прихований шар (радіально-базисний), здатні швидко опрацьовувати неоднорідні дані й при цьому будувати прогностичні моделі нестабільних процесів. В той же час, продуктивність РБФ-моделей не знижується за умов обмеженої неоднорідної вибірки даних, що є суттєвою перевагою.

Таким чином, враховуючи вищезазначене, детально опишемо особливості архітектури та функціонування РБФ-моделей архітектур ШНМ, як математичного апарату для аналізу показників безпеки фінансів регіону.

#### 1.4 Постановка задачі кваліфікаційної роботи

Показники безпеки фінансів регіону – це загальні показники, які описують фінансовий стан регіону, залежність його від зовнішніх та внутрішніх чинників впливу. Із результатів аналізу випливає, що податковий борг є одним із основних чинників, що здійснює суттєвий вплив на безпеку фінансів регіону.

Існуючі програмні засоби для моделювання та прогнозування показників безпеки фінансів, які в основному ґрунтуються на аналізі статистичних даних та часових рядів, унеможливають побудову математичної моделі, яка б характеризувала взаємозв'язок між показниками безпеки фінансів регіону та податковим боргом.

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також слід зазначити, що економіка держави у загальному є дуже нестабільною, що відбивається на економіці регіону, зокрема, а показники безпеки фінансів часто є неточними. Також взаємозв'язок між процесами фінансово-економічної системи регіону, досить часто є нелінійним.

Задача аналізу показників безпеки фінансів потребує застосування такого механізму, який би враховував вищезазначені умови й уможлиблював будувати прогностні моделі, що описують зв'язок параметрів безпеки фінансів та чинника впливу – податкового боргу.

Для моделювання та прогнозування глибоко нестабільних процесів широко застосовують РБФ-моделі архітектур ШНМ. Такі архітектури мають просту структуру, а особливості формування РБФ забезпечують процедуру навчання на неоднорідній вибірці даних. Зважаючи на це, у кваліфікаційній роботі запропоновано розробити програмний модуль аналізу показників безпеки фінансів на основі РБФ-моделей ШНМ.

Для цього у роботі потрібно виконати такі завдання:

- охарактеризувати алгоритми навчання ШНМ на основі РБФ-моделей;
- розробити алгоритм аналізу показників безпеки фінансів на основі РБФ-моделі;
- розробити програмний модуль для реалізації алгоритму аналізу;
- реалізувати алгоритм аналізу показників безпеки фінансів;
- дослідити ефективність розробленого алгоритму на основі розв'язування задачі прогнозування показників безпеки фінансів регіону;
- обґрунтувати техніко-економічні показники розробленого програмного модуля.

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 АЛГОРИТМ АНАЛІЗУ ПОКАЗНИКІВ БЕЗПЕКИ ФІНАНСІВ НА ОСНОВІ РБФ-МОДЕЛІ

### 2.1 Аналіз архітектури штучних нейромереж на основі РБФ-моделей

В основі архітектур ШНМ на основі РБФ-моделей як базис лежить радіальний симетричний механізм у прихованому шарі. Узагальнену архітектуру РБФ-моделей ШНМ продемонстровано на рисунку 2.1 [23, 27]. Така архітектура ШНМ включає вхідний, прихований та вихідний шари, для означення яких на рисунку використано відповідні позначення:

$\vec{u} = (u_1, u_2, \dots, u_p)$  – вектор вхідних дани – параметри вхідного шару;

$\vec{c} = (c_1, c_2, \dots, c_M)$  – вектор центрів РБФ – параметри прихованого шару;

$\sum_1, \sum_2, \dots, \sum_M$  – матриця коваріації, яка визначає ширину та орієнтацію поля рецепторів РБФ – параметр прихованого шару;

$\vec{w} = (w_1, w_2, \dots, w_M)$  – вектор синаптичних ваг – параметри вихідного шару;

$\hat{y}$  – вихідний сигнал нейромережі – параметр вихідного шару;

$i=1, \dots, M$  – загальна кількість нейронів у прихованому шарі, що відповідає кількості РБФ.

На вхідний шар подають сигнали – вектор входів  $u$ , який поступає у прихований шар, де відбувається розрахунок функції-відстані між вектором входів та заданим вектором центрів РБФ [25, 27]:

$$f_i(u) = f(\|u - c_M\|). \quad (1.1)$$

Вектор центрів отримують на основі вхідної вибірки із застосуванням методів кластеризації.

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

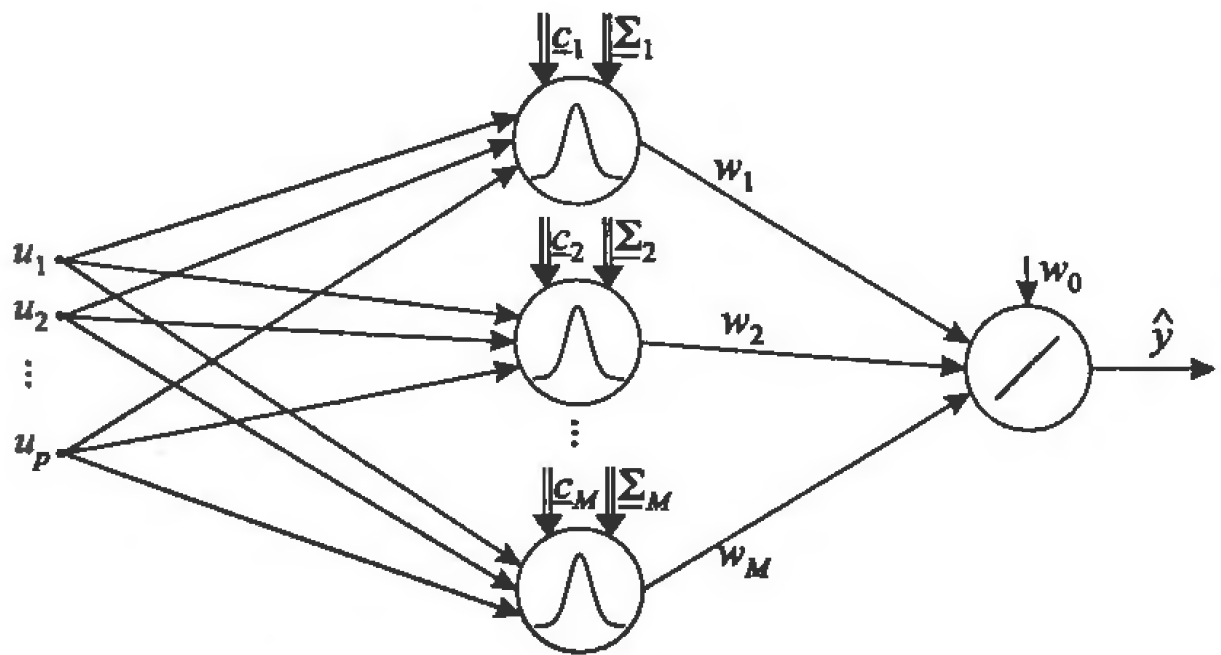


Рисунок 2.1 – Узагальнена архітектура ШНМ на основі РБФ-моделей

Для обчислення функції-відстані між векторами, зазвичай, використовують метрику Евкліда. Беручи до уваги вищезазначені позначення, формально метрику можна записати у такому вигляді:

$$\|\vec{u} - \vec{c}_i\| = \left( \sum_{j=1}^N (u_j - c_{ij})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.2)$$

Також для обчислення міри близькості векторів можна застосувати й будь-яку іншу метрику, зокрема, поліноміальну, манхетенську.

За базисну функцію досить часто застосовують функцію Гауса, із піком у центрі  $c$  і монотонним спаданням поступово віддаляючись від центру. Спираючись на узагальнений вигляд Гаусової функції, а також параметри прихованого шару РБФ-моделей архітектур ШНМ отримуємо формальне представлення базисної функції:

$$f_i(\vec{x}) = f_i\left(\|\vec{u} - \vec{c}_i\|^2 \Sigma_i^{-1}\right) = \exp\left(-\frac{1}{2}\|\vec{u} - \vec{c}_i\|^2 \sigma^{-2}\right), \quad (1.3)$$

де  $\sigma$  – параметр впливу, масштабованості, який зазначає форму і орієнтацію поля рецепторів РБФ. Також, як радіально-базисні застосовують й інші функції, зокрема, це можуть бути [27]:

- мультикватрична  $f_i(\vec{u}) = \left[ \frac{(\vec{u} - \vec{c}_i)^2}{\sigma^2} + a^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ ;
- Коші  $f_i(\vec{u}) = (1 + |u|)^{-1}$ ;
- сплайн  $f_i(\vec{u}) = \bar{x}^2 \log(u)$ ;
- зворотна мультикватрична  $f_i(\vec{u}) = \left[ \frac{(\vec{u} - \vec{c}_i)^2}{\sigma^2} + a^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ ;

Зворотна матриця коваріації  $\sum_i$  визначає орієнтацію, розмір та форму поля рецепторів РБФ [30, 31] й має такий загальний вигляд:

$$\sum_i = \begin{bmatrix} r_{11}, r_{12}, \dots, r_{1p} \\ r_{21}, r_{22}, \dots, r_{2p} \\ \dots\dots\dots \\ r_{p1}, r_{p2}, \dots, r_{pp} \end{bmatrix}. \quad (1.4)$$

Слід зауважити, що бувають випадки, коли матрицю коваріації  $\sum_i$  доцільно обрати діагональною  $\sum_i = \text{diag}(\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_n^2)$ , й при цьому  $r_{ij} = 0$  для  $i \neq j$ :

$$\sum_i = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_{i1}^2}, 0, 0, 0 \\ 0, \frac{1}{\sigma_{i2}^2}, 0, 0 \\ \vdots \\ 0, 0, 0, \frac{1}{\sigma_{ip}^2} \end{bmatrix}. \quad (1.5)$$

Також бувають задачі, які вимагають, щоб матриця коваріації  $\sum_i$  була додатно визначеною, недіагональною:

$$\sum_i = Q^T \Lambda Q, \quad (1.6)$$

де  $\Lambda$  – матриця власних значень, яка зазначає форму та розмір поля рецепторів,  
 $Q$  – матриця, що відповідає за визначення орієнтації поля рецепторів.

За умов, що базисна функція є функцією Гауса матрицю коваріації задають у вигляді:

$$\sum_i = \sigma^{-2} I, \quad (1.7)$$

де  $I$  – одинична матриця.

В такому випадку поле рецепторів РБФ задано у вигляді гіперсфери з центром в точці  $c_i$  та радіусом  $\sigma_i$ , а  $r_{ij} = \sigma_{ij}^{-2} = \sigma^{-2} = const$  ( $r_{ij}$  – елемент матриці коваріації  $\sum_i$ ),  $i, j = \overline{1, M}$ .

Кількість базисних функцій РБФ-моделі архітектури ШНМ залежить від гнучкості самої мережі та складності поставленої задачі, а кількість синаптичних ваг при цьому становить  $M+1$ , кількість центрів –  $M_p$ . Тоді кількість параметрів в матриці коваріації  $\sum_i$  дорівнює [27]:

- $M$  – для кожного вектора входів стандартні відхилення є однаковими, тобто  $\sum_i$  є діагональною із значеннями однаковими;
- $M_p$  – для кожного вектора входів стандартні відхилення є різними, тобто  $\sum_i$  є діагональною;
- $M(p+1)p/2$  – для інших загальних випадків із поворотами, матриця  $\sum_i$  – симетрична.

Таким чином, загальну структуру РБФ-моделі архітектури ШНМ можна записати у вигляді:

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\hat{y} = \sum_{i=0}^M \vec{w}_i^T \vec{f}_i(\|\vec{u} - \vec{c}_i\|_{\Sigma_i}). \quad (1.8)$$

Функціонування РБФ-моделі архітектури ШНМ забезпечують такі параметри:

- параметри поля рецепторів РБФ – центри  $\vec{c}$  та зворотна матриця коваріації  $\Sigma_i$  (якщо радіально-базисна функція є функцією Гауса, то  $\Sigma_i = \sigma_i$ )

Такі параметри забезпечують побудову оптимальної структури моделі на основі вхідних даних. Стандартне відхилення задають експериментальним чином у такий спосіб, щоб розроблена архітектура адекватно описувала реальний об'єкт із мінімальною похибкою;

- синаптичні ваги  $\vec{w}_i$  – лінійні параметри вихідного шару мережі – коефіцієнти, які коригують структуру РБФ-моделі й визначають вагу кожного зв'язку

Метод побудови РБФ-моделі архітектури ШНМ поєднує процедуру розробки структури та визначення параметрів, що вирізняє таку модель архітектури ШНМ серед інших. Для визначення структури моделі, як було зазначено вище, здебільшого застосовують методи кластеризації. В основі процедури ідентифікації параметрів лежить метод зворотного поширення похибки й базується на мінімізації деякої функції помилки.

## 2.2 Методи ідентифікації структури та параметрів РБФ-моделей

У РБФ-моделях архітектур ШНМ роль прихованого нейрона полягає у відображенні радіального простору навколо одиночної заданої точки або навколо групи точок, що утворюють кластер. Суперпозиція сигналів, що надходять від

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



усіх прихованих нейронів, що виконується вихідним нейроном, дозволяє отримати відображення всього багатовимірного простору [33].

РБФ-модель архітектури ШНМ має фіксовану структуру з одним прихованим шаром та лінійними вихідними нейронами, тоді як сигмоїдальна мережа може містити різну кількість шарів, а вихідні нейрони бувають як лінійними, так і нелінійними. Одним із найпростіших, хоч і не найефективнішим, способом визначення параметрів базисних функцій вважається випадковий вибір. У цьому випадку центри базисних функцій вибираються випадковим чином на основі рівномірного розподілу. Такий підхід припустимо стосовно класичних моделей ШНМ за умови, що рівномірний розподіл навчальних даних добре відповідає специфіці задачі.

Величина параметра впливу (spread) РБФ визначає ширину «ковпаків» гаусових функцій з центром у кожному навчальному спостереженні. Надто мале значення параметра призводить до функції з різкими піками та невеликою помилкою апроксимації, але така мережа не здатна до узагальнення і може неякісно апроксимувати спостереження контрольної множини даних [20].

Процес навчання РБФ-моделей ШНМ включає дві стадії: процес налаштування центрів базисних функцій та навчання нейронів у вихідному шарі, тому такі архітектури навчаються досить швидко. На першій стадії обчислюють кількість нейронів у прихованого шару, що ґрунтується на визначенні кількості РБФ  $\vec{f}$ . В той же час, обчислення РБФ полягає у налаштуванні вектора центрів  $\vec{c}$ , оскільки параметр ширини вікна  $\sigma$  РБФ підбирають експериментальним чином.

Визначення центрів ґрунтується на методах кластеризації, що досить ефективно при неоднорідній вибірці даних, яку по деяких ознаках об'єднують у кластери. Вважають при цьому, що кластер має форму сфери, оскільки формально їх математичною моделлю є РБФ. Параметр ширини вікна у такому випадку виступає радіусом кластера й його розмір залежить від щільності сформованих кластерів у деякому відповідному просторі даних [22].

На другій стадії налаштування РБФ-моделі архітектури ШНМ відбувається обчислення синаптичних ваг  $w_1, \dots, w_p$  на основі алгоритму зворотного поширення

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

похибки. Такі методи варіюють від найпростішого методу градієнтів до найменших квадратів у різних його модифікаціях [2].

Алгоритми налаштування синаптичних ваг РБФ-моделей ШНИ, в основі яких середньоквадратичне відхилення деякої функції похибки, бувають одно та багатокрокові [20]. У однокрокових при кожному перерахунку параметрів до уваги беруть єдине останнє значення похибки  $e_j(k)$ , що суттєво здійснює вплив на точність синаптичних ваг. До такого класу алгоритмів належить, наприклад, метод градієнтного спуску. За умов застосуванні багатокрокових процедур для уточнення параметрів беруть до уваги попередню інформацію, що впливає на точність визначених параметрів, суттєво зменшує обчислювальні процедури й забезпечує стійкість до шумів та нестационарності зовнішніх впливів.

Налаштування синаптичних ваг часто здійснюють із застосуванням методу найменших квадратів, в основі якого мінімум деякої функції помилки, яку повинні забезпечувати одержані значення синаптичних ваг  $w_1, \dots, w_p$ . Формально функцію помилки можна записати у вигляді [27]:

$$S = \sum_{i=1}^N [y_i - f(\vec{x}_i, \vec{w})]^2, \quad (2.1)$$

де  $S = \sum_{i=1}^N e_i^2$  – сума похибок у квадраті.

Метод найменших квадратів вимагає великих вибірок даних експериментів, що ускладнює структуру РБФ-моделі ШНМ й потребує суттєвих часових затрат для реалізації обчислювальних процедур.

Якщо синтез РБФ-моделі ШНМ реалізувати на основі гібридного алгоритму, то процес навчання у такому випадку включає два етапи, які доповнюють один одного:

- підбір лінійних параметрів моделі – синаптичних ваг на основі методу псевдоінверсії.
- адаптація нелінійних параметрів РБФ-моделі;

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Процедура синтезу РБФ-моделі ШНМ полягає знаходженні такої функції, яка задовольняє умову:

$$F(c(p)) = d(p), p=1,2,\dots,N. \quad (2.2)$$

На основі формального запису РБФ формула (2.2) набуває вигляду:

$$F(x) = \sum_{p=1}^N w_p f_p(\|x - c_p\|, \sigma_p) = \sum_{p=1}^N w_p f_p(\|x - c(p)\|, \sigma_p). \quad (2.3)$$

На основі (2.2) та (2.3) для обчислення синаптичних ваг  $w_p$  формуємо систему лінійних алгебричних рівнянь:

$$\begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} \cdots f_{1N} \\ f_{21} & f_{22} \cdots f_{2N} \\ \vdots & \\ f_{N1} & f_{N2} \cdots f_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d(1) \\ d(2) \\ \vdots \\ d(N) \end{bmatrix}, \quad (2.4)$$

де  $f_{hi} = f(\|x(i) - c(p)\|, \sigma_p)$ ,  $p=1,\dots,N$ ,  $i=1,\dots,N$ .

Ввівши позначення  $d = (d(1), d(2), \dots, d(N))^T$ ,  $w = (w_1, w_2, \dots, w_N)^T$ ,  $f = \{f_{pi}\}$ , (2.5) записуємо у такому вигляді:

$$fw = d, w = f^+ d, \quad (2.5)$$

де  $f^+$  – обернена матриця до матриці  $f$ .

Другий етап зазначеного алгоритму включає таку послідовність кроків:

Крок 1. За умов зафіксованих значень синаптичних ваг вхідні сигнали проходять по мережі до вихідного рівня, що забезпечує обчислення похибки для множини векторів  $\vec{x}_i$ ;

Крок 2. Зворотне поширення сигналів до прихованого шару й на основі похибки визначають градієнт цільової функції щодо заданих значень центрів та параметра ширини вікна РБФ.

Якщо  $i=1, \dots, N$ , то цільова функція формально набуває вигляду:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N [y_i - d_i]^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \left[ \sum_{h=0}^H w_h f(x_i) - d_i \right]^2. \quad (2.6)$$

Градiєнтний метод найшвидшого спуску уможлиблює обчислення параметрів РБФ за формулами [29]:

$$c_{ih}(n+1) = c_{ih}(n) - \eta \frac{\partial E}{\partial c_{ih}}, \quad (2.7)$$

$$\sigma_{ih}(n+1) = \sigma_{ih}(n) - \eta \frac{\partial E}{\partial \sigma_{ih}}. \quad (2.8)$$

Процедура уточнення нелінійних параметрів РБФ-моделі ШНМ є завершальною при наступному циклі навчання. Зважаючи на вищевикладене, у наступному підрозділі розглянемо детально особливості програмного забезпечення для реалізації алгоритму налаштування РБФ-моделі архітектури ШНМ.

### 2.3 Алгоритм аналізу показників безпеки фінансів на основі РБФ-моделей

Алгоритм синтезу РБФ-моделі архітектури ШНМ для аналізу показників безпеки фінансів включає процедуру визначення параметрів поля рецепторів РБФ та синаптичних ваг.

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі даних експерименту – вектора входу  $\vec{x}$  розраховуємо центри  $\vec{c}$  поля рецепторів РБФ, що відповідатиме кількості базисних функцій. Для налаштування центрів використовуємо алгоритм кластеризації на основі субтрактивного підходу [34]. Вектор вхідних даних експерименту  $\vec{x}$ , вектор центрів  $\vec{c}$  та експериментально визначений стандартний параметр ширини вікна РБФ  $\sigma$  служать для розрахунку значень РБФ  $\vec{f}$ . Ідентифікація синаптичних ваг відбувається на основі алгоритму зворотного поширення помилки. Якщо побудована структура РБФ-моделі архітектури ШНМ адекватно відображає реальний об'єкт із мінімальною похибкою навчання, то така структура вважається оптимальною і її застосовують для розв'язування задачі аналізу показників безпеки фінансів.

Якщо знайдена структура є надто складною із загубленими коефіцієнтами й не здатна моделювати реальні процеси, то процедура пошуку структури РБФ-моделі продовжується із кроку обчислення центрів РБФ. Розглянемо детальніше метод «гірських вершин», що є в основі алгоритму кластеризації на основі субтрактивного підходу. На рисунку 2.2 продемонстровано поверхню розподілів потенціалів.

Перший крок реалізації алгоритму полягає у розробці моделей потенційних центрів кластерів із рядків матриці входів. На основі цього розраховуємо потенціали (ступені впливу) знайдених центрів кластерів за формулою [27, 33]:

$$P(c_p) = \sum_{k=1}^N \exp(-\alpha \cdot \|\vec{c}_p - \vec{x}_k\|) = \sum_{k=1}^N \exp(-\alpha \cdot \sqrt{(c_{p1} - x_{k1})^2 + (c_{p2} - x_{k2})^2}), \quad (2.9)$$

де  $\vec{c}_p = (c_{p1}, c_{p2}, \dots, c_{pN})$  – можливий центр  $p$ -го кластера;

$\alpha$  – додатний коефіцієнт (константа);

$\|\vec{c}_p - \vec{x}_k\|$  – відстань від потенційного центру  $p$ -го кластера  $\vec{c}_p$  до вектора входів  $\vec{x}_k$ ;

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк. 33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$N$  – загальна кількість потенційних кластерів,  $h = \overline{1, N}$ .

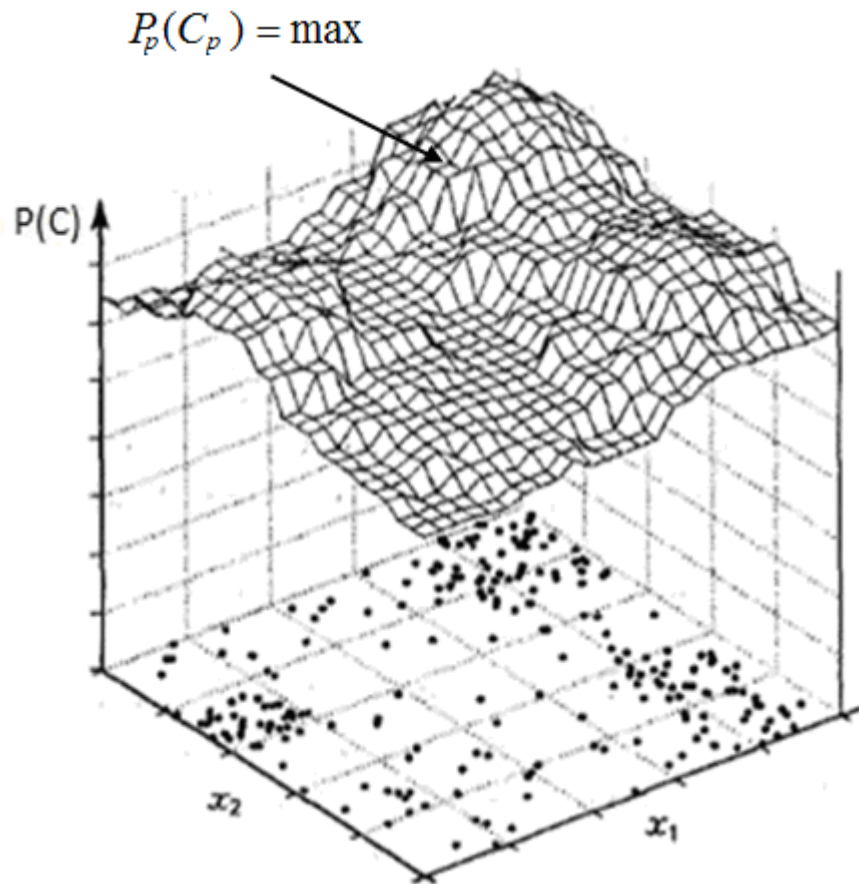


Рисунок 2.2 – Розподіл потенціалів при реалізації методу кластеризації на основі «гірських вершин»

На другому кроці вибираємо за центри кластерів координати «вершин гір». За центр першого кластера визначаємо точку з найвищим потенціалом із відношення:

$$\vec{c}_1 = \arg \max_{c_1, c_2, \dots, c_N} (P_1(\vec{c}_1), P_1(\vec{c}_2), \dots, P_1(\vec{c}_N)). \quad (2.10)$$

На третьому кроці здійснюють перерахунок потенціалів для потенційних центрів кластерів, що залишилися з метою унеможливлення впливу на вибір знайденого кластера із відповідним центром. Варто зауважити, що в більшості найвища гірська вершина оточена декількома піками, причому – досить

високими. Таким чином, перерахунок значень потенціалів для можливих центрів кластерів здійснюємо за формулою:

$$\begin{aligned} P_2(\vec{c}_p) &= P_1(\vec{c}_p) - P_1(\vec{c}_1) \cdot \exp(-\beta \cdot \|\vec{c}_p - \vec{c}_1\|) = \\ &= P_1(\vec{c}_p) - P_1(\vec{c}_1) \cdot \exp\left(-\beta \cdot \sqrt{(c_{p1} - c_{11})^2 + (c_{p2} - c_{12})^2}\right), \end{aligned} \quad (2.11)$$

де  $P_1(\vec{c}_p)$  – потенціал на першій ітерації центру  $p$ -го кластера;

$P_2(\vec{c}_p)$  – потенціал на другій ітерації центру  $p$ -го кластера;

$\vec{c}_1$  – вектор центру першого кластера;

$\beta$  – додатній коефіцієнт (константа);

$\|\vec{c}_p - \vec{c}_1\|$  – відстань від потенційного центру  $p$ -го кластера до центру першого кластера  $\vec{c}_1$ .

На четвертому кроці обчислюємо центр другого потенційного кластера на основі максимального значення перерахованого потенціалу:

$$\vec{c}_2 = \arg \max_{c_1, c_2, \dots, c_N} (P_2(\vec{c}_1), P_2(\vec{c}_2), \dots, P_2(\vec{c}_N)). \quad (2.12)$$

Наступний крок реалізації алгоритму полягає у перерахунку значення потенціалу

$$\begin{aligned} P_3(\vec{c}_p) &= P_2(\vec{c}_p) - P_2(\vec{c}_2) \cdot \exp(-\beta \cdot \|\vec{c}_p - \vec{c}_2\|) = \\ &= P_2(\vec{c}_p) - P_2(\vec{c}_2) \cdot \exp\left(-\beta \cdot \sqrt{(c_{p1} - c_{21})^2 + (c_{p2} - c_{22})^2}\right). \end{aligned} \quad (2.13)$$

Процедура підбору центрів кластерів триває до тих пір, поки  $p = N$  і будуть виключені всі рядки матриці входів  $X$ . Блок-схему алгоритму кластеризації на основі субтрактивної процедури наведено у [КР.КІ.110418/15.00.00.000 А1](#).

Слід зауважити, що зазначений алгоритм кластеризації базується на

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

простих обчислювальних процедурах, що полягають у обчисленні потенціалів Регулятором кількості кластерів при цьому виступає єдиний параметр – радіус кластера.

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### 3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ АНАЛІЗУ ПОКАЗНИКІВ БЕЗПЕКИ ФІНАНСІВ

#### 3.1 Структура програмного модуля аналізу показників безпеки фінансів

Реалізацію вищеописаного алгоритму аналізу та прогнозування показників безпеки фінансів, який ґрунтується на комплексному алгоритмі налаштування структури РБФ-моделі архітектури ШНМ здійснено на основі розробленого програмного модуля. Діаграму способів (варіантів) використання його показано на рисунку 3.1.

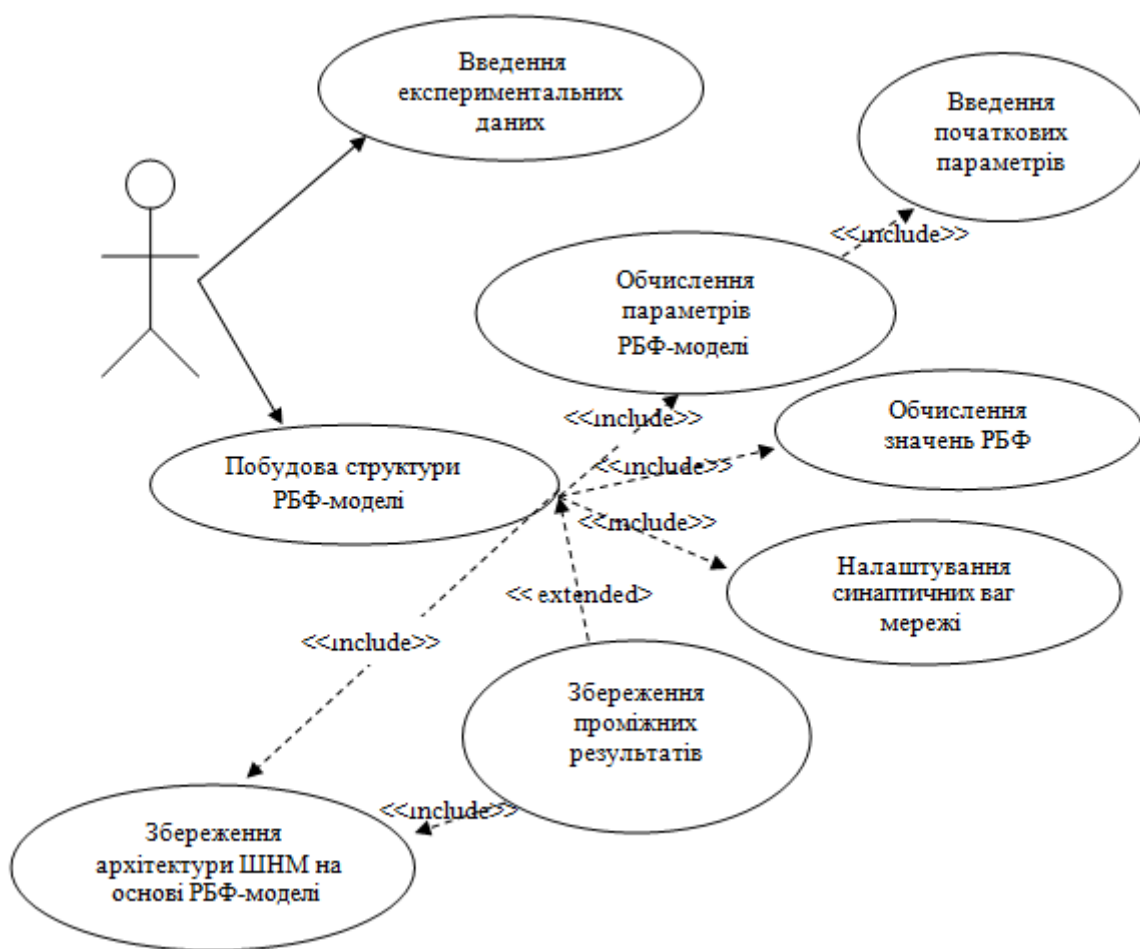


Рисунок 3.1 – Діаграма варіантів застосування програмного забезпечення

Адміністратор розробленого програмного забезпечення, яким може будь-який користувач із необмеженим доступом, має можливість вводити вхідні та

вихідні дані експерименту й на їх основі будувати структуру РБФ-моделі архітектури ШНМ.

Як бачимо на рисунку 3.1, програма уможлиблює введення даних експерименту та початкових параметрів користувачем, що необхідні для реалізації алгоритму синтезу структури РБФ-моделі ШНМ, що базується на процедурі обчислення центрів РБФ із застосуванням реалізації алгоритму кластеризації із субтрактивною структурою, що дорівнюють кількості РБФ та параметрів (нейронів) прихованого шару ШНМ відповідно.

Функція “Побудова структури РБФ-моделі” включає такі підфункції, як “Обчислення параметрів РБФ-моделі”, “Обчислення значень РБФ”, “Налаштування синаптичних ваг”, “Запис у файл проміжних результатів”, “Збереження архітектури ШНМ на основі РБФ-моделі”.

Підфункція “Обчислення параметрів РБФ-моделі”, реалізує алгоритм підбору структури РБФ-моделі на основі субтрактивної кластеризації та зворотного поширення похибки. У кінцевому результаті роботи такої підфункції одержуємо вектори центрів РБФ –  $\vec{C}_p$ , параметр ширини базисної функції –  $\sigma_p$  та кількість РБФ –  $p$ .

Підфункція “Обчислення значень РБФ” здійснює процедуру обчислення числових значень базисних функцій  $\vec{f}_p$ ,  $p=1, \dots, M$  на основі заданого вектора входів  $\vec{x}_n$ ,  $n=1, \dots, N$ , знайдених векторів центрів РБФ  $\vec{C}_p$  та стандартного параметра  $\sigma_p$ , який отримано у результаті проведених експериментів емпіричним чином.

Підфункція “Налаштування синаптичних ваг” реалізує другу процедуру алгоритму синтезу архітектури ШНМ на основі РБФ-моделі. У результаті реалізації цього алгоритму, що базується на мінімізації функції помилки, одержуємо значення синаптичних ваг  $\vec{w}_p$ . За необхідності відбувається корекція синаптичних ваг з метою забезпечення достатніх прогностичних властивостей РБФ-моделі ШНМ.

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підфункція “Запис у файл проміжних результатів” передбачає ситуацію виникнення примусової зупинки роботи програмного модуля у процесі реалізації функції розробки архітектури ШНМ на основі РБФ-моделі та збереження результатів, одержаних на поточний момент часу, у файл. При черговому запуску програмного модуля така підфункція уможливить продовжити процедуру синтезу РБФ-моделі ШНМ, починаючи із того місця, на якому роботу програми було зупинено.

Підфункція “Запис архітектури ШНМ на основі РБФ-моделі у файл” відповідає за збереження налаштованої оптимальної структури РБФ-моделі ШНМ та в подальшому застосування її для проведення аналізу, моделювання та отримання прогнозних показників безпеки фінансів.

Програмний модуль для автоматизації синтезу РБФ-моделі ШНМ, яка б здійснювала адекватний аналіз, моделювання та прогнозування показників безпеки фінансів, побудовано, використовуючи структурно-функціональний підхід. Алгоритм функціонування розробленого програмного модуля, який реалізує побудову архітектури ШНМ на основі РБФ-моделі продемонстровано на рисунку 3.2.

Як бачимо із рисунка 3.2, функціонування програмного модуля розробки архітектури ШНМ на основі РБФ-моделі для аналізу та прогнозування показників безпеки фінансів передбачає виконання чотирьох функцій. Функція виведення результатів моделювання реалізує процедуру візуалізації отриманих результатів аналізу та прогнозування показників безпеки фінансів із зазначенням даних експерименту та одержаного модельованого значення показника на основі розробленої структури РБФ-моделі ШНМ.

Слід зауважити, що отримана у результаті модель поведінки показника безпеки фінансів враховує вплив чинника впливу – податкового боргу. Також така модель уможливорює у результаті аналізу визначити ступінь впливу податкового боргу на результуючий показник безпеки фінансів, що у подальшому може слугувати інструментом для прийняття управлінських рішень.

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

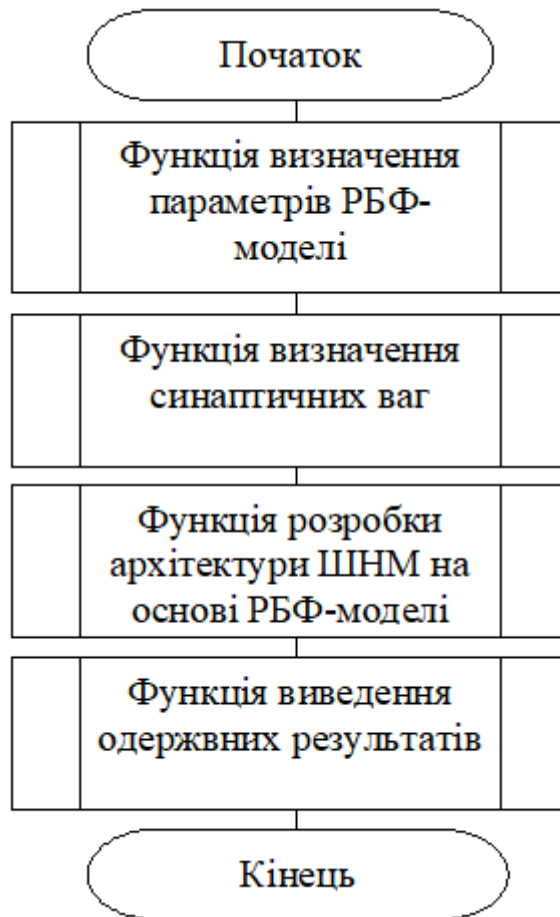


Рисунок 3.2 – Алгоритм функціонування програмного модуля синтезу структури РБФ-моделі ШНМ

У наступному підрозділі опишемо детально процедуру реалізації розробленого програмного модуля із аналізом програмного середовища, його функціоналу та вбудованих можливостей.

### 3.2 Реалізація алгоритму аналізу показників безпеки фінансів на основі РБФ-моделі

Реалізацію алгоритму аналізу показників безпеки фінансів здійснено у середовищі для проведення математичного моделювання – пакеті прикладних програм Matlab. Ефективність Matlab обумовлена насамперед її орієнтацією на

математичні обчислення [26] з програмною емуляцією паралельних обчислень та спрощеними засобами задання циклів. У Matlab успішно реалізовані засоби роботи з багатовимірними масивами, великими та розрідженими матрицями та багатьма типами даних. Система пройшла багаторічний шлях розвитку від вузько спеціалізованого матричного програмного модуля, що використовується тільки на великих ЕОМ, до універсальної інтегрованої програми, орієнтованої на масові персональні комп'ютери.

Matlab має потужні засоби діалогу, графіки та комплексної візуалізації обчислень. Нові версії системи мають вбудований компілятор та дозволяють створювати виконувані файли. Сьогодні Matlab високорівнева інтерпретована мова програмування разом із пакетом прикладних програм та інтегрованим середовищем для розробки, виконання інженерних та математичних розрахунків, роботи з матричними базами даних, візуалізації.

MatLab включає матричні структури даних, набір математичних функцій, об'єктно-орієнтовані можливості та інтерфейси до програм, написаних іншими мовами програмування та ін.. Серед найчастіше використовуваних можливостей MatLab:

- математичні обчислення та інформаційний аналіз;
- візуалізація даних у вигляді дво- та тривимірних графіків, динамічних анімацій;
- програмування та розробка алгоритмів.

Matlab – це основний компонент сімейства програмних рішень MathWorks. Крім самої IDE, до складу програми входить "самостійний" інструмент роботи з візуальними моделями, менеджер інструментів тестування та вимірювання, дебаггер, вбудовані засоби розробки GUI, засоби подійного моделювання та інструменти автоматичної генерації коду [26].

Головними перевагами середовища є вбудовані тулбокси (бібліотеки), які суттєво спрощують процедуру побудови моделей й зменшують час написання коду програми, що здійснює реалізацію певної функції, простота операцій з

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

даними у матричному вигляді, зручні засоби виведення та візуалізації результатів у вигляді різної розмірності графіки.

Порівняно з C/C++, мову досить легко вивчати, у неї простий та інтуїтивно зрозумілий синтаксис, а також маса супровідної документації від розробників. Для використання користувачу не обов'язково бути професійним програмістом. Широкий функціонал – мова Matlab включає просунуту бібліотеку для обробки та побудови графіків, інтегровані функції лінійної алгебри, швидкого перетворення Фур'є, роботи з поліномами, базової статистики, розв'язання диференціальних рівнянь та ін. Основні оновлення мови та всього середовища програмування відбуваються двічі на рік. Програми, написані на Matlab, можна перекласти C/C++ за допомогою Matlab Coder. Великий вибір прикладних програм від офіційних і сторонніх розробників розширює можливості мови, що підтверджує її інтегрованість. Слід зауважити, що мову Matlab використовують в багатьох університетах та дослідницьких інститутах [30].

Інтерфейс пакету Matlab досить простий та зрозумілий пересічному користувачі. Виклик будь-якої функції здійснюється через командний рядок. Для роботи з тулбоксами служить GUI – інтерфейс, який досить спрощує процедуру розробки моделей та економить часові витрати для реалізації алгоритмів. На рисунку 3.3. наведено екранну форму головного вікна інтерфейсу пакету прикладних програм Matlab.

Реалізація алгоритму кластеризації здійснюється на основі функції Fuzzy Logic Toolbox subclust, синтаксис якої [34]:

$$[C,S] = \text{subclust}(X,\text{radii},\text{xBounds},\text{options}),$$

де  $X$  – матриця входів, при чому кожен рядок матриці являється точкою даних для кластеризації;

$\text{radii}$  – радіуса кластера, який задають із інтервалу  $[0,1]$ . Він визначає ступінь впливу центра знайденого кластера;

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$x_{\text{Bounds}}$  – матриця ( $2 \times N$ ), яка служить для нормалізації вхідних даних, на основі яких виконується кластеризація,  $N$  – розмір вибірки даних. Зазначений аргумент є необов'язковим, якщо вхідні дані не потребують нормування або нормалізовано попередньо;

`options` – параметр перевизначення параметрів алгоритму кластеризації (якщо це потрібно). Такий параметр встановлено за замовчуванням у діапазоні від 0 до 1,25.

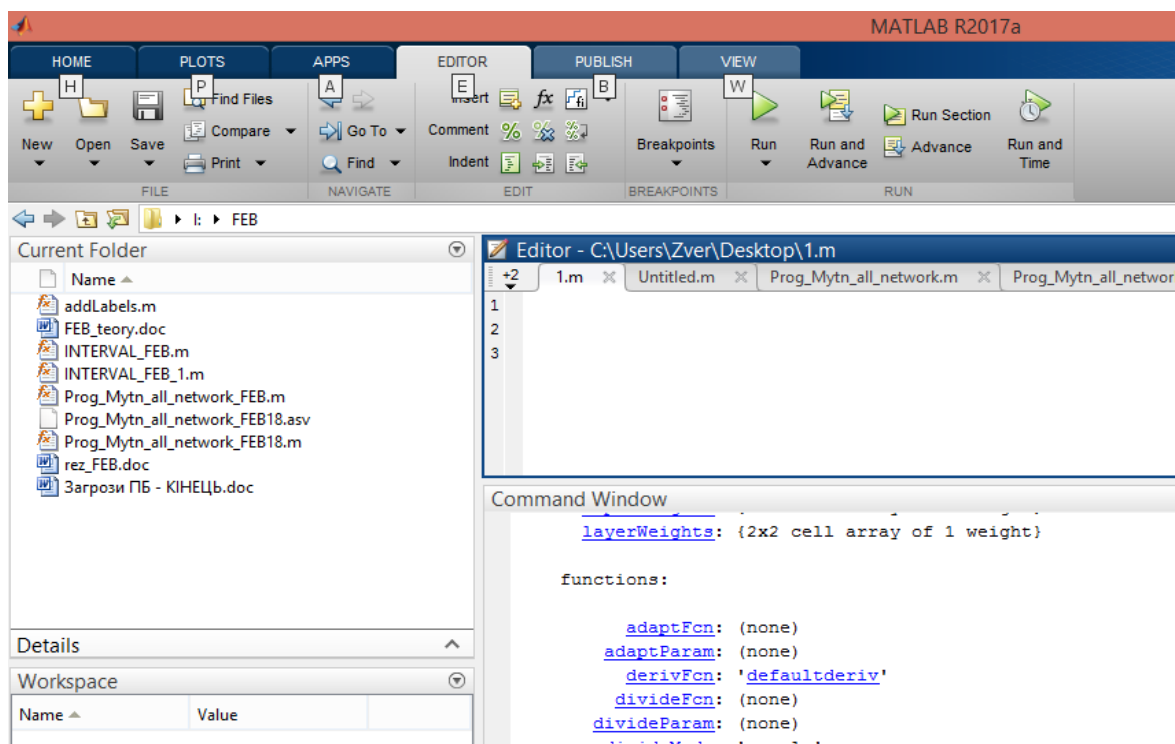


Рисунок 3.3 – Екранна форма інтерфейсу головного фікна середовища Matlab

У результаті виконання функції `subclust` отримуємо вектор центрів та параметр ширини РБФ полів рецепторів. Екранну форму вікна, що візуалізує результати роботи функції `subclust` зображено на рисунку 3.4.

Для налаштування архітектури РБФ-моделі ШНМ служить функція `newrb` Neural Network Toolbox. В основі функції `newrb` ітераційна процедура додавання нейронів до прихованого шару [28]. Процедура триває доти, поки сума квадратів похибок не буде меншою від наперед заданої величини або кількість застосованих нейронів буде максимальною.

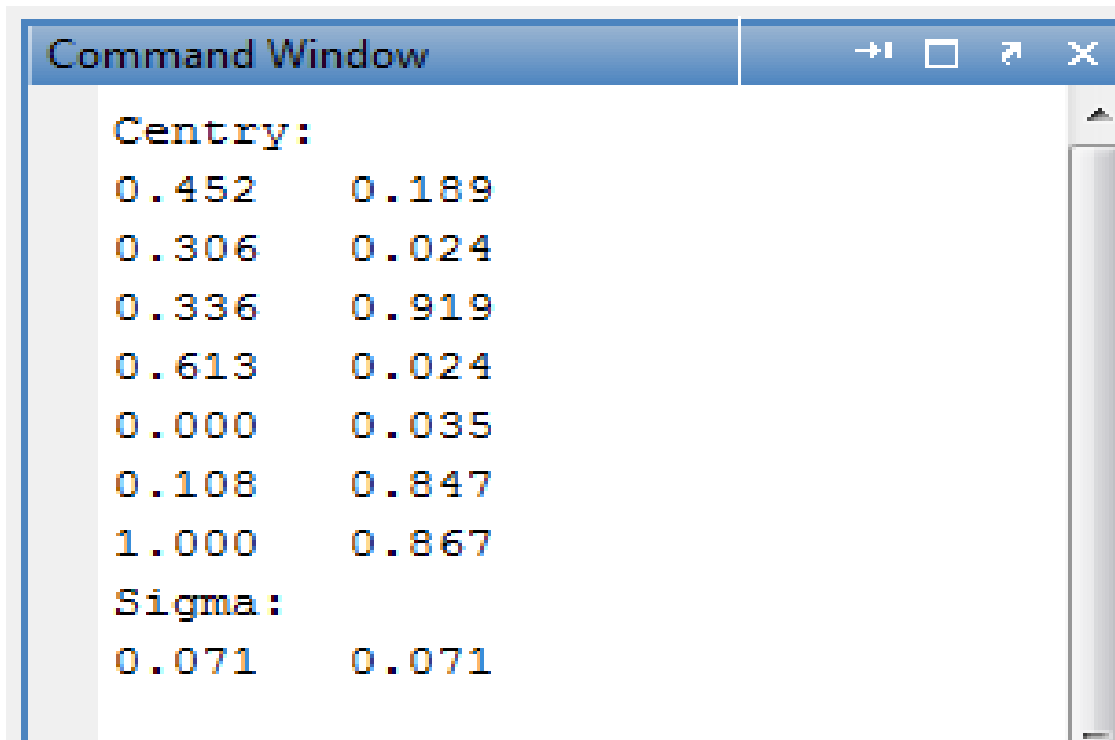


Рисунок 3.4 – Екранна форма вікна виведення результатів реалізації функції subclust

Функцію newrb викликають на основі функції net, що реалізує метод квазіньютонівського алгоритму зворотного поширення похибки та має такі аргументи [26]:

- net – назва ШНМ, що навчається;
- параметри ШНМ (дані входів та виходів, початкові умови для навчання, часові параметри навчання).

Синтаксис функції newrb залежить від типу архітектури ШНМ. Для розробки РБФ-моделі архітектури ШНМ слугує запис [28]:

$$\text{net} = \text{newrb}(P, T, \text{goal}, \text{spread}),$$

де  $P$  і  $T$  – масиви даних входів та виходів мережі;

goal – припустима середньоквадратична похибка навчання,

spread – параметр ширини вікна РБФ.



Средньоквадратичну помилку навчання та параметр ширини вікна задаємо експериментально залежно поставленої задачі. При реалізації функції `net` отримуємо опис архітектури ШНМ на основі РБФ-моделі із зазначенням процедури формування шарів, синаптичних ваг та зміщень. На екранна форма рисунка 3.5 візуалізує вищезазначене.

```

Command Window
NEWRB, neurons = 0, MSE = 2.59192e+08
NEWRB, neurons = 50, MSE = 3.70469e+07
HHHH

net_2 =

    Neural Network

        name: 'Radial Basis Network'
        userdata: (your custom info)

    dimensions:

        numInputs: 1
        numLayers: 2
        numOutputs: 1
        numInputDelays: 0
        numLayerDelays: 0
        numFeedbackDelays: 0
        numWeightElements: 1908
        sampleTime: 1

    connections:

        biasConnect: [1; 1]
    
```

Рисунок 3.5 – Екранна форма вікна опису процедури розробки ШНМ

За моделювання РБФ-моделі ШНМ відповідає функція `sim`, яка має такий синтаксис [26]:

$$[Y, Pf, Af, E, perf] = \text{SIM}(\text{net}, P, Pi, Ai, T),$$

де `net` – назва ШНМ (тип);

$P$  – діапазон входів;

$Pi$  – затримки входів на початку, дорівнюють нулю за замовчуванням;

$Ai$  – затримки шарів на початку, дорівнюють нулю за замовчуванням;

$T$  – цільові вектори мережі, дорівнюють нулю за замовчуванням;

$Y$  – вихідні дані;

$P_f$  – кінцеві затримки входів;

$A_f$  – кінцеві шарові затримки;

$perf$  – параметр, що задає функціонування мережі;

$E$  – похибка навчання.

Варто зазначити, що аргументи  $P_f$ ,  $A_f$ ,  $P_i$ ,  $A_i$  використовують тоді, коли ШНМ має затримки, тому вони не є обов'язковими.

Таким чином, із вищевикладеного випливає, що середовище матлаб містить зручні інструменти для розробки структури РБФ-моделі архітектури ШНМ а також засоби візуалізації отриманих результатів для їх аналізу. У наступному підрозділі опишемо результати розв'язанні задачі аналізу показників безпеки фінансів на основі розробленої РБФ-моделі архітектури ШНМ.

### 3.3 Моделювання показників безпеки фінансів на основі РБФ-моделі ШНМ

У першому розділі кваліфікаційної роботи зазначено, що на показники безпеки фінансів, яких є 11, суттєвий вплив має один чинник – податковий борг.

Враховуючи дані експерименту, наведені у додатку Б, позначимо за вектор входів  $\vec{x}$  – чинник впливу на показники безпеки фінансів, як вхід РБФ-моделі ШНМ  $y_j(k)$  – показники безпеки фінансів, як вектор виходів,  $j = 1, \dots, 11$  – кількість показників безпеки фінансів,  $k=1 \dots 120$  – часова дискрета (кількість місяців за 10 років). Аналізуючи вхідні та вихідні дані експерименту бачимо різноманітність показників, зокрема, деякі вимірюються у гривнях, а деякі – у відсотках. У такому випадку для проведення ефективного моделювання слід здійснити процедуру нормування показників безпеки фінансів.

Із аналізу даних експерименту, досліджувана РБФ-модель ШНМ включає 1 нейрон вхідного шару та 11 нейронів вихідного. Так, як ШНМ такого типу мають

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тільки один прихований шар, то побудова РБФ-моделі ШНМ зводиться до пошуку кількості нейронів прихованого шару, тобто до розрахунку центрів РБФ.

У результаті проведення експериментів, отримуємо такі архітектури ШНМ на основі РБФ-моделей – 1:2:11, 1:3:11, 1:6:11. Архітектури 1:2:11 та 1:3:11 хоч мають простішу структуру, проте не володію прогностичними достатніми властивостями, що показують результати їх досліджень, а це унеможлиблює адекватне відображення реального об'єкта досліджень.

Тоум для аналізу, моделювання та прогнозування показників безпеки фінансів обрано архітектуру ШНМ на основі РБФ-моделі типу 1:6:11. Розроблену архітектуру ШНМ для задачі аналізу показників безпеки представлено на КР.КІ.07171/17.00.00.000 С21.

Структура РБФ-моделі ШНМ при цьому має вигляд:

$$y(k) = w_1 f_1(\|x(k) - c_1\| \sigma^{-2}) + w_2 f_2(\|x(k) - c_2\| \sigma^{-2}) + w_3 f_3(\|x(k) - c_3\| \sigma^{-2}) + w_4 f_4(\|x(k) - c_4\| \sigma^{-2}) + w_5 f_5(\|x(k) - c_5\| \sigma^{-2}) + w_6 f_6(\|x(k) - c_6\| \sigma^{-2}) \quad (3.1)$$

На основі отриманої структури оптимальної РБФ-моделі ШНМ, проводимо моделювання показників безпеки фінансів, результати якого продемонстровано на рисунках 3.6-3.8. Лістинг програмного коду представлено у додатку В.

Вибірку даних експерименту поділено на навчальну і контрольну (тестову). Навчальній вибірці служить для синтезу РБФ-моделі ШНМ, а контрольна – для перевірки адекватності розробленої архітектури для задачі аналізу показників безпеки фінансів. Вертикальною лінією на рисунках розділено навчальну та тестову вибірки. Пунктирна лінія відображає дані експерименту, а суцільна – модельовані показники безпеки держави, враховуючи чинник впливу, тобто взаємозв'язок результуючих показників безпеки фінансів та податкового боргу.

Результати моделювання уможливлюють аналіз динаміки показників безпеки фінансів та прийняття рішень щодо застосування можливих заходів.

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

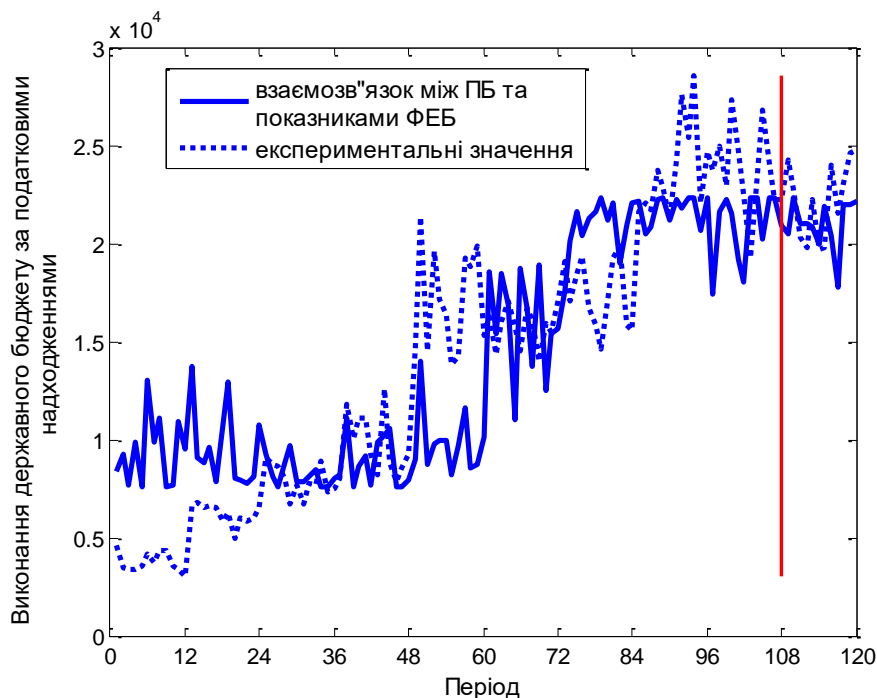


Рисунок 3.6 – Модель показника виконання державного бюджету за податковими надходженнями

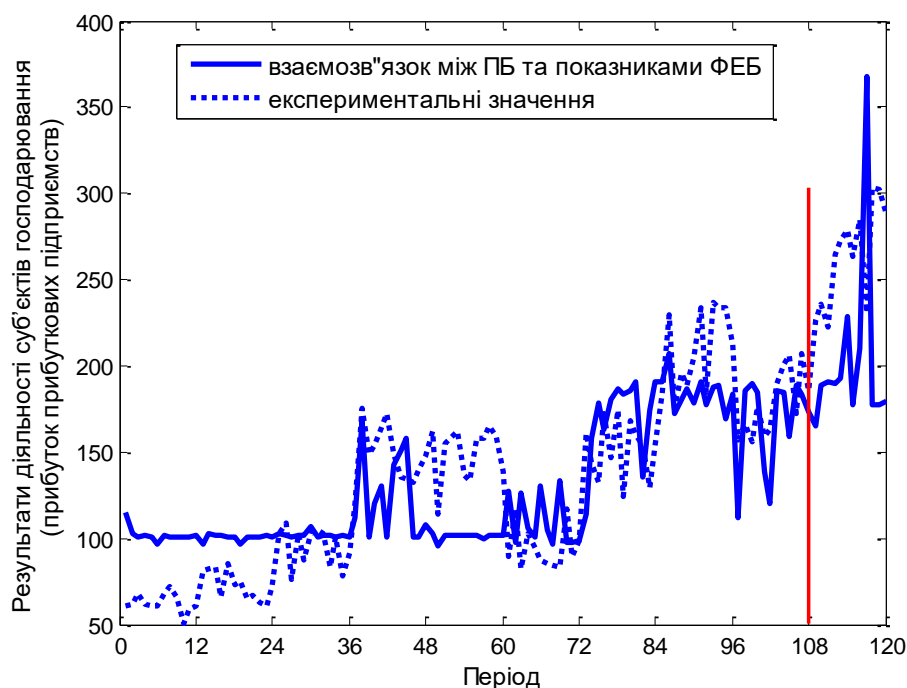


Рисунок 3.7 – Модель показника результату діяльності суб'єктів господарювання

Результати, представлені на рисунках 3.6-3.7, показують, що розроблена РБФ-модель ШНМ адекватно відображає взаємозв'язок між показником безпеки фінансів та податковим боргом, а також продукує прогноз із незначною

похибкою. Приклад, де зміна показника безпеки фінансів – динаміки індексу інфляції не пов’язана із зміною податкового боргу показано на рисунку 3.8, що відповідає реальному об’єкту дослідження та процесам фінансово-економічної системи.

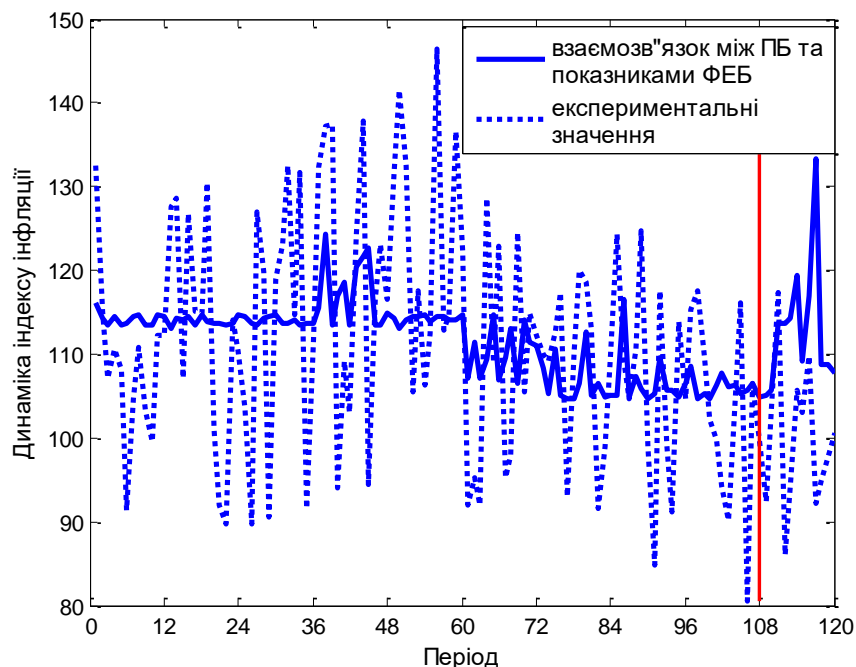


Рисунок 3.8 – Модель показника динаміки індексу інфляції

Таким чином обраний математичний інструмент для аналізу показників безпеки фінансів є перспективним для розробки моделей такого типу та отримання прогнозних значень. Предметом подальших досліджень може бути розробка моделей прогнозування із врахуванням неточності показників.

Техніко-економічні розрахунки, що стосуються ефективності розробки проекту наведено у додатку Д.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розв'язано практичну задачу аналізу показників безпеки фінансів на основі РБФ-моделі архітектури ШНМ. Загалом отримано нижчезазначені практичні результати.

1. Проаналізовано особливості задачі моделювання показників безпеки фінансів, виокремлено основні індикатори, зазначено чинники впливу, зокрема, виділено податковий борг.

2. Досліджено існуючі програмні замоби аналізу, моделювання та прогнозування економіко-фінансових показників й зазначено, що вони, в основному, ґрунтуються на статистичних методах опрацювання рядів динаміки й не враховують нелінійність взаємозв'язку між входом та виходом моделі.

3. Проведено аналіз РБФ-моделей архітектур ШНМ й показано, що синтез таких структур включає налаштування параметрів РБФ-моделі та вихідних коефіцієнтів – синаптичних ваг.

4. Розроблено комплексний алгоритм налаштування РБФ-моделі архітектури ШНМ на основі методу кластеризації із субтрактивним підходом та зворотного поширення похибки для аналізу показників безпеки фінансів.

5. Розроблено програмний модуль для реалізації алгоритму із застосуванням середовища Matlab, описано особливості побудови структури ШНМ на основі вбудованих функцій.

6. Розроблено архітектуру ШНМ на основі РБФ-моделі, й результатами експериментів показано її адекватність для задачі аналізу показників безпеки фінансів.

7. Проведено техніко-економічне обґрунтування розробки програмного модуля для моделювання нестационарних процесів.

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Базась М.Ф., Старовойт В.А., Скорина В.Є. Моделювання економічних процесів та прийняття управлінських рішень // Міжнародний збірник наукових праць. 2020. Вип. 3(6). С. 33-39.
2. Вовк В.М., Камінська Н.І., Прийма С.С. Моделювання економічних процесів підприємства : монографія. Дрогобич : Коло, 2011. 448 с.
3. Захожий К.В., Рудик Н.В., Жибер Т.В. Фінансова безпека держави: бюджетна складова та макроекономічні чинники // Ефективна економіка. 2023. № 11: веб-сайт. URL: [https://www.researchgate.net/publication/375846751\\_FINANSOVA\\_BEZPEKA\\_DERZAVI\\_BUDZETNA\\_SKLADOVA\\_TA\\_MAKROEKONOMICNI\\_CINNIKI](https://www.researchgate.net/publication/375846751_FINANSOVA_BEZPEKA_DERZAVI_BUDZETNA_SKLADOVA_TA_MAKROEKONOMICNI_CINNIKI) (дата звернення 8.04.2024 р.).
4. Дахнова О. Є. Оцінка стану боргової безпеки України. Інфраструктура ринку: електронний наук.-практ. журнал. 2019. Вип. 31. URL: [http://market-infr.od.ua/journals/2019/31\\_2019\\_ukr/95.pdf](http://market-infr.od.ua/journals/2019/31_2019_ukr/95.pdf) (дата звернення 16.04. 2024 р.)
5. Ляхович О. О., Піддубна Л. В. Теоретичні засади забезпечення фінансової безпеки регіону // Вісник НУВГП. 2022. Вип. 4(100). С 80-89.
6. Мартинюк В. П., Дивак М.П., Савка Н. Я. Моделювання індикаторів економічної безпеки держави засобами штучної нейронної мережі з радіально-базисними функціями. Світ фінансів. Науковий журнал. 2011. Вип. 1. С. 56-66.
7. Мартинюк В. Проблеми моніторингу та забезпечення економічної безпеки держави. Світ фінансів. 2007. № 4. С.185-187.
8. Мартинюк В. П. Фінансові аспекти розбудови митної системи в інтересах економічної безпеки України: монографія. Київ: Кондор, 2011. 326 с.
9. Марченко О. М., Пушак Я. Я., Ревак І. О. Фінансова безпека держави : навч. посібник. Львів, 2020. 356 с.

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Мелих О. Фінансова безпека держави: сутність, критерії оцінки та превентивні заходи зміцнення // Економічний аналіз. 2013. Вип. 12. Ч. 2. С 266-272.

11. Методичні вказівки до написання техніко-економічного розділу дипломних проектів освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» напряму підготовки 6.050102 комп'ютерна інженерія / І.Р. Паздрій. Тернопіль: ТНЕУ, 2014. 37 с.

12. Методичні вказівки до оформлення курсових, звітів про проходження практики, випускних кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Комп'ютерна інженерія» / І.В. Гураль, Л.О.Дубчак / під ред. О.М. Березького. Тернопіль: ТНЕУ, 2019. 34 с.

13. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи з освітнього ступеня «Бакалавр» спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» галузі знань 12 Інформаційні технології / О.М. Березький, Л.О.Дубчак, Г.М. Мельник, Ю.М. Батько, О.Й. Піцун / Під ред. Л.О.Дубчак. Тернопіль: ЗУНУ, 2024. 54 с.

14. Михальчук Н.М., Нечипорук К.А. Мобілізація податкового боргу: перспективи зміцнення бюджетної безпеки держави. Часопис економічних реформ. Науково-виробничий журнал. Луганськ: Видавництво Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2013. Випуск 1(9). – С.50-55.

15. Михальчук Н., Савка Н. Моделювання податково-боргової складової безпеки фінансів на основі штучних нейронних мереж. Вісник НУ «Львівська Політехніка». Проблеми економіки і управління. 2015. С. 225-233.

16. Михальчук Н. М., Лекарь С.І., Мартинюк В.П. 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.

17. Михайлюк В.В. Еволюція поняття фінансова безпека держави в глобальних умовах розвитку // Ефективна економіка. 2014. № 9 : веб-сайт. URL : <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=3359> (дата звернення 15.05.2024 р.).

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



18. Опарін В. М. Фінансова система України : монографія. К. : КНЕУ, 2005. 239 с.
19. Островський П.І., Гострик О.М., Добрунік Т.П., Радова О.В. Моделювання економічних процесів: Навчальний посібник. Одеса: ОНЕУ, 2012. 132 с.
20. 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.
21. Савка Н.Я. Застосування штучних нейронних мереж з радіально-базисними функціями для вирішення актуальних задач сьогодення: зб. тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції “Транскордонне співробітництво як важлива складова євроінтеграційних процесів України”. Чернівці, 2010. С. 437-440.
22. Савка Н.Я. Методи ідентифікації штучних нейронних мереж з радіально-базисними функціями: зб. матеріалів першої Міжнародної науково-технічної конф. “Обчислювальний інтелект 2011”. Черкаси, 2011. С. 120-121.
23. Савка Н.Я., Спільчук В.М, Співак І.Я Проблеми ідентифікації штучних нейронних мереж з радіально-базисними функціями та можливі напрямки їх розв’язання. Індуктивне моделювання складних систем: зб. наук. праць. 2012. Вип. 2. С. 181-193.
24. Тангієв А.А. Деревецький В.Ю., Гураль В.С. Методи протидії атакам на дистанційний банкінг. Матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Інформаційні технології – 2024». !6 травня 2024 р., м. Київ, 2024. С. 260-261.
25. Hamad A. Dingli Yu, J. B. Gomm, Mahavir S. Sangha Radial basis function neural network in fault detection of automotive engines. International Journal of Engineering, Science and Technology. 2010. Vol. 2., No 10. P.1-8.
26. MATLAB&Toolboxes: веб-сайт. URL: <http://matlab.exponenta.com> (дата звернення 11.04.2024 р.).

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

27. Nelles O. Nonlinear Systems Identification. Berlin: Springer, 2001. 785 p.

28. Newrb веб-сайт. URL: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/newrb.html> (дата звернення 12.04.2024 р.).

29. Radial Basis Functions Neural Networks — All We Need to Know: веб-сайт. URL: <https://towardsdatascience.com/radial-basis-functions-neural-networks-all-we-need-to-know-9a88cc053448> (дата звернення 08.04.2024 р.).

30. Radial Basis Neural Networks: веб-сайт. URL: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ug/radial-basis-neural-networks.html> (дата звернення 10.04.2024 р.).

31. Radial Basis Function Network (RBFN) Tutorial: веб-сайт. URL: <https://mccormickml.com/2013/08/15/radial-basis-function-network-rbfm-tutorial/> (дата звернення 12.05.2024 р.).

32. RBF Neural Networks: веб-сайт. URL: <https://www.dtreg.com/solution/view/25> (дата звернення 14.05.2024 р.).

33. Savka N., Nemish M., 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.

34. Subclust: веб-сайт. URL: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/subclust.html> (дата звернення 17.05.2024 р.).

					КР.КІ.8894636.00.00.000.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		