

**ВИСНОВОК**  
**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення**  
**результатів дисертації на здобуття ступеня доктора філософії**  
**Романюка Олександра Сергійовича на тему:**  
**«Нейромережеве прогнозування нестационарних послідовностей»**  
**за спеціальністю 122– Комп’ютерні науки, галузь знань**  
**12 – Інформаційні технології**  
**(відповідно до «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора**  
**філософії»)**

Дисертаційна робота на здобуття ступеня доктора філософії Романюка Олександра Сергійовича на тему: «Нейромережеве прогнозування нестационарних послідовностей» відповідає вимогам п. 10, 11, 12 «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167 із змінами, внесеними згідно з Постановами Кабінету Міністрів України № 979 від 21.10.2020 р. та № 608 від 09.06.2021 р.

Роботу виконано на кафедрі інформатики Харківського національного університету радіоелектроніки у 2017–2021 рр.

**Актуальність теми.**

Прогнозування часових рядів є актуальною науковою проблемою, що має широке застосування у різних галузях. На цей час методи прогнозування представляють великий практичний інтерес і дозволяють вирішувати широкий спектр завдань в науці, техніці, економіці та інших галузях.

Слід відзначити, що в більшості практичних задач прогнозовані часові ряди характеризуються високим рівнем нелінійності і нестационарності, зашумленістю, наявністю нерегулярних трендів, стрибків, аномальних викидів. У цих умовах жорсткі статистичні припущення про властивості таких рядів часто обмежують можливості класичних методів прогнозування.

Альтернативою статистичним методам можуть служити методи обчислювального інтелекту, до числа яких, в першу чергу, слід віднести штучні нейронні мережі. Здатність нейронних мереж до узагальнення і виділення прихованих залежностей між вхідними та вихідними даними, до навчання і узагальнення накопичених знань дозволяє використовувати їх для розв’язання широкого класу практичних завдань, в тому числі для прогнозування нестационарних послідовностей.

Розробка нових методів штучних нейронних мереж для прогнозування нестационарних послідовностей з підвищеною точністю за умов невизначеності дозволяє зробити висновок про актуальність теми дисертаційної роботи Романюка О.С.

**Найсуттєвіші нові наукові результати, які одержано здобувачем особисто.**

Новизна одержаних результатів полягає в подальшому розвитку методів прогнозування нестационарних послідовностей з підвищеною точністю за наявності апріорної та поточної невизначеності, а саме:

1. Вперше запропоновано використання для навчання штучної нейронної мережі АДАЛТІ в задачі оцінювання параметрів, які описуються марківською моделлю першого порядку, регуляризованих алгоритмів Качмажа та Нагумо-Ноди. Визначено умови збіжності та отримано неасимптотичні оцінки точності цих алгоритмів, що дозволяє встановити потенційно можливий виграш від їх використання.

2. Вперше запропоновано використання в задачах прогнозування комбінованого функціоналу, який складається з критерію четвертого ступеня і модульного, та градієнтну процедуру його мінімізації. Досліджено умови збіжності процедури в середньому і середньоквадратичному. Отримано аналітичні оцінки неасимптотичних та асимптотичних значень помилки оцінювання параметрів моделі та точності її ідентифікації, що забезпечило робастність оцінок шуканих параметрів мережі.

3. Отримав подальший розвиток нейромережевий метод прогнозування який, на відміну від існуючих використовує рекурентну форму 1-крокової проекційної процедури навчання, що дозволило підвищити швидкість навчання штучної нейронної мережі.

4. Удосконалено метод вибору оптимальних значень параметрів процедур навчання, що дозволяє забезпечити максимальну швидкість збіжності процедур і їхню стійкість та попередньо оцінити досліднику можливості та ефективність процедур, які використовуються, під час вирішення практичних завдань.

5. Отримав подальший розвиток метод факторизації 1-крокових процедур навчання штучних нейронних мереж, що дозволило поліпшити їх обчислювальні властивості та підвищити стійкість.

## **Оцінка достовірності та новизни одержаних результатів.**

Достовірність результатів дисертації забезпечується коректністю постановки задачі дослідження, використанням відомих методів обчислювального інтелекту для прогнозування, зокрема, штучних нейронних мереж, з використанням методів теорії оптимізації та робастного оцінювання синтезовані швидкодіючі процедури навчання мереж; методів робастного оцінювання; методів імітаційного моделювання дозволили підтвердити ефективність отриманих результатів.

## **Значення для теорії і практики та рекомендації щодо використання.**

Запропоновані автором методи та засоби нейромережевого підходу при вирішенні задачі прогнозування можуть бути використані при математичному та комп'ютерному моделюванні різних класів задач, пов'язаних з обробкою інформації, її аналізом та прогнозуванням.

Вдосконалені в роботі процедура навчання багатопараметричного перцептрона та нейромережевий метод прогнозування нестационарного процесу, який відрізняється використанням оптимальних значень параметрів процедур, можуть бути використані в методах нейромережевого прогнозування з метою прискорення процесу прогнозування та підвищення його точності за наявності викидів та негаусівських завад.

Застосування нейромережевого підходу при вирішенні задачі прогнозування дозволяє досягати заданого рівня точності керування складними технологічними процесами. Практичне значення отриманих теоретичних результатів та результатів експериментальних досліджень полягає в тому, що запропоновані в роботі моделі та методи дозволили реалізувати задачі прогнозування перебігу технологічних процесів виробництва кальцинованої соди.

## **Опублікування результатів дисертації**

Список публікацій автора:

1. Rudenko O. Analysis of convergence of adaptive single-step algorithms for the identification of non-stationary objects / O. Rudenko, O. Bezsonov, V. Lebediev, A. Romanyk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. – № 1/4 (97). – P. 6–14. (Належить до категорії А, входить до міжнародної наукометричної бази Scopus).

2. Руденко О.Г. Робастна ідентифікація об'єктів на основі мінімізації комбінованого функціоналу / О.Г. Руденко О.Г., О.О. Безсонов, Н.М. Сердюк, К.О. Олійник, О.С. Романюк // Системи обробки інформації. – 2020. – №1 (160). – С.80–88 (Належить до категорії Б).

3. Бессонов А.А. Факторизованные алгоритмы обучения персептрона в задаче построения нелинейной модели / А.А. Бессонов, К.О. Олейник, С.А. Романюк, О.Г. Руденко, Н.Н. Сердюк / Бионика интеллекта.- 2020. –№1(94). – С. 23-29 (Належить до категорії Б).

4. Руденко О.Г. Критерії вибору персептронної моделі для прогнозування: аналіз та практичні рекомендації щодо їх використання / О.Г. Руденко, О.О. Безсонов, О.Г. Лебедєв, О.С. Романюк // Бионика интеллекта. – 2018. –№ 2 (91). – С.31– 40.

5. Руденко О.Г. Про один алгоритм навчання нейронної мережі в задачі прогнозування часових рядів / О.Г. Руденко, О.О. Безсонов, О.Г. Лебедєв, О.С. Романюк // Бионика интеллекта. – 2018. – №1(90). –С.79–83.

6. Руденко О.Г. Робастна ідентифікація об'єктів за наявністю негаусівських завад / О.Г. Руденко О.Г., О.О. Безсонов, Н.М. Сердюк, К.О. Олійник, О.С. Романюк // Бионика интеллекта. –2019. – №2(93). – С.7–12.

7. Руденко О.Г. Нейромережеве прогнозування часових рядів на основі багаточарового персептрона / О.Г. Руденко, О.О. Безсонов, О.С. Романюк // Development Management. – 2019. –Vol. 5 – Issue 1. – С.23–34.

8. Олійник К.О. Градієнтні алгоритми навчання згортальних нейронних мереж / К.О. Олійник, О.С. Романюк // Інформаційні технології та системи: монографія / за заг. ред. В. С. Пономаренка. – Харків. : Видавництво «Стиль-іздат», 2020. – С. 37–51.

9. Rudenko O. Analysis of the influence of interference on the statistical properties of estimates of non-stationary parameters / O. Rudenko, A. Romanyk // Інформаційні системи і технології: монографія / за заг. ред. В. С. Пономаренка. – Харків: ФОП Бровін О.В., 2019. – С.97–107.

10. Романюк О.С. Нейроеволюційний підхід до прогнозування нестационарних послідовностей / О.С. Романюк // Збірник матеріалів І

Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів; «Сучасні інформаційні технології та системи в управлінні». [Електронний ресурс] 19–20 квітня 2018 р. – Київ : КНЕУ, 2018. – С.204 – 205.

11. Руденко О.Г. Прогнозування нестационарних послідовностей за допомогою коєволюціонуючих штучних неймереж/ О.Г. Руденко, О.С. Романюк // Збірник наукових праць за матеріалами II міжнародної науково-практичної конференції. «Синергетика, мехатроніка, телематика дорожніх машин і систем у навчальному процесі та науці». 29 травня 2018 р. – Харків, ХНАДУ, 2018. – С.159–161.

12. Руденко О.Г. Дослідження особливостей навчання штучних нейронних мереж в задачі прогнозування / О.Г. Руденко, О.С. Романюк // Матеріали восьмої міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління». 26-27 квітня 2018 р., Полтава, Баку, Харків, Жиліна. – 2018. – С. 32.

13. Rudenko O. Time series prediction based on evolving neural network CMAC / O. Rudenko, O. Bezsonov, A. Romanyk // 3-d International Conference on Computer Algebra and Information Technologies. – Odessa, August 20-25, 2018. – P. 49 –51.

14. Руденко О.Г. Про оцінювання нестационарних параметрів, що описуються марківською моделлю / О.Г. Руденко, О.О. Безсонов, О.С. Романюк // Тези доповідей шостої міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми інформатизації». 14 – 16 листопада 2018 р., Черкаси, Баку, Бельско-Бяла, Харків. – 2018. – С.48.

15. Руденко О.Г. Прогнозування часових рядів на основі коєволюційних нейронних мереж / О.Г. Руденко, О.С. Романюк // Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та системи». 10-11 квітня 2019, Харків. – 2019. – С.15-16.

16. Руденко О.Г. Критерії вибору персептронної моделі для прогнозування часових рядів / О.Г. Руденко, О.О. Безсонов, О.С. Романюк // Тези доповідей дев'ятої міжнародної науково-практичної конференції

«Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних систем та засобів управління», 11-12 квітня 2019 р., Баку, Харків, Жиліна. – 2019. – С.90 – 91.

17. Руденко О.Г. Про вибір математичної моделі для прогнозування часових рядів / О.Г. Руденко, О.О. Безсонов, О.С. Романюк // Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем». (MSSIS-2019) 20-22 листопада 2019 р., Дніпро. – 2019. – С. 221–222.

18. Олейник К.О. Дослідження спрощених алгоритмів навчання штучних нейронних мереж прямого поширення / К.О. Олейник, О.С. Романюк // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та системи». 9-10 квітня 2020, Харків :ХНЕУ імені Семена Кузнеця. – 2020. – С. 19.

Основні положення і наукові результати дисертації досить повно викладено у 18 наукових працях автора за темою дисертації. Серед них: 1 стаття у виданні, включеному до переліку наукових фахових видань України з присвоєнням категорії “А” та індексованому базою Scopus [1]; 2 статті у науковому виданні, включеному до переліку наукових фахових видань України з присвоєнням категорії “Б” [2,3]; 3 статті у науковому виданні, включеному до переліку наукових фахових видань України [4,5,6]; 2 розділи в колективній монографії [8,9]; 1 стаття у науковому виданні, що є періодичним [7], 9 доповідей на міжнародних наукових конференціях [10-18].

Дисертаційна робота пройшла апробацію на міжнародних науково-технічних конференціях: I Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Сучасні інформаційні технології та системи в управлінні» (Київ, 20 квітня 2018), II Міжнародній науково-практичній конференції «Синергетика, мехатроніка, телематика дорожніх машин і систем у навчальному процесі та науці» (Харків, 2018), 8-ій міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (Полтава, Баку, Харків, 2018), 3-d International Conference on Computer Algebra and Information Technologies (Odessa, August 20-25, 2018), 6-тій міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми інформатизації» (14 – 16

листопада 2018, Черкаси, Баку, Бельско-Бяла, Харків), міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології та системи» (10-11 квітня 2019, Харків), 9-й міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних систем та засобів управління» (11-12 квітня 2019 р., Баку, Харків, Жиліна), XVII міжнародній науково-практичній конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем». (MSSIS-2019) (20-22 листопада 2019 р., Дніпро), міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології та системи» (9-10 квітня 2020, Харків)

### **Особистий внесок здобувача.**

В [1] отримано оцінки точності визначення нестационарних параметрів за наявністю завад; в [2] запропоновано використання комбінованого функціоналу для оцінювання параметрів за наявністю негаусівських завад; в [3] розроблено факторизовані багатокрокові процедури навчання; в [4, 16] сформульовані критерії вибору персептронної моделі для задач прогнозування; в [5] отримано оцінки швидкості збіжності однокрокових адаптивних процедур при побудові моделей нестационарних об'єктів; в [6] розроблено процедуру оцінювання нестационарних параметрів та досліджено умови її сталого режиму; в [7] визначено особливості прогнозування нестационарних послідовностей за допомогою багат шарового персептрона; в [8] проведено аналіз однокрокових градієнтних алгоритмів навчання нейронних мереж; в [9] отримано оцінки впливу завад на властивості алгоритмів оцінювання нестационарних послідовностей; в [10, 11] запропоновано використання коеволюціонуючих штучних нейромереж для прогнозування нестационарних послідовностей; в [12] отримано оцінки точності і часу навчання штучних нейронних мереж в задачі прогнозування часових рядів; в [13] запропоновано використання штучних нейронних мереж СМАС для прогнозування часових рядів; в [14] отримано оцінки визначення нестационарних параметрів, що описуються марківською моделлю; в [15] запропоновано використання коеволюційних штучних нейронних мереж для вирішення задач прогнозування; в [17] проведено аналіз структур математичних моделей в задачах прогнозування; в [18] запропоновано різні варіанти спрощення процедур навчання штучних нейронних мереж.

Дисертація відповідає сучасним вимогам до стилю і оформлення наукового тексту.

### **Висновок**

Дисертаційна робота на здобуття ступеня доктора філософії Романюка Олександра Сергійовича на тему: «Нейромережеве прогнозування нестационарних послідовностей» за спеціальністю 122 – Комп’ютерні науки є завершеною науково-дослідною роботою. Робота має нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності розв’язують актуальну науково-технічну задачу розробки системи інтелектуального прогнозування нестационарних послідовностей з застосуванням нейромережевих моделей, що можуть бути ефективно використані у середовищах зі змінними властивостями. Запропоновані моделі та методи можуть застосовуватися для прогнозування перебігу безперервних процесів та керування ними.

Рекомендуємо представити дисертаційну роботу до захисту до спеціалізованої вченої ради за спеціальністю 122 – Комп’ютерні науки, галузь знань 12 - Інформаційні технології.

### **Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор

 В.О. Гороховатський

доктор технічних наук, професор

 М.М. Корабльов