

# ДЕТЕКЦІЯ СТРУКТУРНИХ ЗЛАМІВ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ФІНАНСОВИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

У роботі представлено вдосконалений метод прогнозування фінансових рядів, що є поєднанням методу Elastic Net із гаусівським затуханням ваг та механізму автоматичного визначення структурних змін у часових рядах. Запропоновано навчання моделі на актуальному сегменті даних, що відповідає поточному стану ринку, замість використання всієї доступної історії. Метод дозволяє зменшити розрив між останніми спостереженнями та першим прогнозним значенням порівняно з базовими схемами зважування. Проведені дослідження підтверджують, що врахування моментів зміни ринкових режимів сприяє підвищенню загальної точності прогнозних моделей.

**Ключові слова:** Elastic Net, структурні злами, гаусівське затухання, часові ряди, прогнозування, S&P 500.

## *Abstract*

This paper presents an improved method for forecasting financial time series, which combines the Elastic Net method with Gaussian weight decay and a mechanism for automatically detecting structural changes in time series. We propose training the model on a recent segment of data that reflects the current market conditions, rather than using the entire available history. This method reduces the gap between the latest observations and the first forecast value compared with baseline weighting schemes. Our research confirms that accounting for shifts in market regimes helps improve the overall accuracy of forecasting models.

**Keywords:** Elastic Net, structural breaks, Gaussian decay, time series, forecasting, S&P 500.

## **Вступ**

Сучасні фінансові ринки характеризуються високою волатильністю та нестационарністю, що проявляється у раптових змінах статистичних властивостей часових рядів. Однією з проблем при побудові прогнозних моделей є виникнення розриву між останніми історичними даними та першим прогнозним значенням.

Для роботи з фінансовими даними було обрано метод регуляризації Elastic Net, який дозволяє ефективно відбирати найбільш значущі змінні. Для врахування динаміки ринку дослідники використовують методи зваженого навчання, де старішим даним надається менша вага. Було проаналізовано підходи з фіксованими схемами затухання ваг, зокрема гаусівською, та складніші адаптивні стратегії, що змінюють швидкість затухання залежно від поточної волатильності [1, 2, 3].

Метою цієї роботи є підвищення достовірності прогнозування фінансових часових рядів шляхом удосконалення підходу до часового зважування в моделі Elastic Net. Запропонований підхід передбачає автоматичне визначення структурних змін у часовому ряді та подальше навчання моделі лише на актуальному ринковому режимі. Це має зменшити вплив застарілих спостережень, підвищити відповідність моделі поточному стану фінансового середовища та знизити розрив між історичними даними й першим прогнозним значенням без ускладнення базової оптимізаційної процедури. [4, 5].

## **Результати дослідження**

У попередніх роботах [3, 6] розглядалася зважена постановка Elastic Net, у якій мінімізується сума зважених квадратів похибок з комбінованим регуляризаційним штрафом. Порівняння виконувалося для фіксованих схем затухання ваг (рівномірна, лінійна, експоненційна, гаусівська) та режимно-адаптивної логістичної схеми. У цій роботі запропоновано новий метод, який зберігає гаусівське затухання, але застосовує його лише до спостережень поточного ринкового режиму.

Нехай  $i = 1, \dots, n$  - індекс спостереження у навчальній вибірці, а  $\text{age}_i$  - нормований вік  $i$ -го спостереження в межах усієї навчальної вибірки. Гаусівські ваги відносно кінця навчальної вибірки задаються як:

$$\omega_i = \exp\left(-\frac{(1 - \text{age}_i)^2}{2\sigma_\omega^2}\right) \quad (1)$$

де  $\omega_i > 0$  - це вага  $i$ -го спостереження у навчальній вибірці,  $\exp(\cdot)$  - експоненційна функція,  $\sigma_\omega$  - ширина гаусівського вікна, параметр який підбирається крос-валідацією.

Це загальна формула гаусівського затухання ваг з попередніх досліджень [3, 6].

Після ідентифікації режимів модель навчається виключно на поточному (останньому) режимі. Ваги обчислюються відносно кінця, а не всієї навчальної вибірки:

$$\omega_i^{(K)} = \exp\left(-\frac{(1 - \text{age}_i^{(K)})^2}{2\sigma_\omega^2}\right), \quad \text{age}_i^{(K)} = \frac{i - \tau_K}{|R_K| - 1} \quad (2)$$

$\omega$  - це вага  $i$ -го спостереження у навчальній вибірці,  $i$  - порядковий номер спостереження (місяця) у навчальній вибірці,  $K$  - верхній індекс означає що ця вага належить саме  $K$ -му (поточному) режиму, а не всій вибірці,  $\text{age}_i$  - нормований вік спостереження,  $i$  - абсолютний індекс спостереження у всій вибірці,  $|R_K|$  - кількість спостережень у поточному режимі,  $\tau_K$  - індекс першого спостереження  $K$ -го режиму у навчальній вибірці.

Для оцінювання якості прогнозування використовуються RMSE і показник Deviation - різниця між першим прогнозним і останнім відомим значенням, який безпосередньо відображає проблему розриву.

Експеримент проведено на щомісячних даних S&P 500 (FRED) за 2021–2026 рр. з логарифмічним перетворенням, кількістю лагів  $p = 24$  та часткою тестової вибірки 20%. Алгоритм [5] з  $\beta_{pen} = 15$  і моделлю RBF ідентифікував 4 режими у навчальній вибірці.

Запропонований метод демонструє RMSE = 0.04078 - конкурентне значення серед усіх схем при  $p = 24$ , що на 35% нижче ніж у базових схем (none, gaussian: ~0.0626). Попередня версія методу досягає кращого показника Deviation (-10.41 проти +58.80), тоді як запропонований метод демонструє конкурентний результат RMSE = 0.0408. Пряме порівняння RMSE є обмеженим через використання різних наборів даних.

Ключова властивість запропонованого методу - менша чутливість до збільшення кількості лагів. При збільшенні  $p$  базові схеми деградують, оскільки накопичують шумові лаги зі старих режимів. При зростанні  $p$  запропонований метод демонструє меншу деградацію якості прогнозування, оскільки L1-регуляризація в межах короткого режиму залишається більш стабільною. Оптимальний параметр  $\sigma_\omega = 0.2$  (значно менший ніж у базовій gaussian  $\sigma_\omega = 20$ ) пояснюється тим, що всі 12 спостережень  $R_4$  вже є актуальними. Вузьке вікно додатково підсилює акцент на останніх точках режиму.

## Висновки

У роботі запропоновано підхід до прогнозування фінансових часових рядів, що поєднує метод регуляризації Elastic Net із алгоритмом детекції структурних зламів та механізмом гаусівського зважування спостережень.

На відміну від традиційних підходів, у яких модель навчається на всій історичній вибірці, запропонована методика передбачає навчання лише на поточному ринковому режимі, визначеному за допомогою інтеграції алгоритму у модель Elastic Net. Метод з  $\beta_{pen} = 15$  ідентифікував 4 режими у навчальній вибірці S&P 500 за 2021–2026 рр. Поточний режим  $R_4$  охоплює 12 місяців (жовтень 2023 – вересень 2024). Це дозволяє зменшити вплив застарілих даних та частково врахувати нестационарність фінансових часових рядів.

Експериментальні результати на даних S&P 500 показали, що запропонований метод досягає RMSE = 0.04078 при  $p = 24$ , що на 35% нижче ніж у базових схем зважування (none, gaussian: ~0.0626). Значення Deviation = +58.80 свідчить про зменшення розриву порівняно з базовими схемами (Deviation від -195 до -237).

Встановлено, що ефективність методу залежить від довжини поточного режиму, при невеликій кількості спостережень можливе перенавчання, що потребує додаткового контролю параметрів моделі.

Таким чином, запропонований підхід може бути використаний для адаптивного прогнозування фінансових часових рядів в умовах структурних змін, однак потребує подальшого дослідження та налаштування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman, «The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction,» 2nd ed., Springer, 2009, 533 p. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7>.
2. H. Zou, T. Hastie, «Regularization and variable selection via the elastic net,» J. R. Stat. Soc. Series B, vol. 67, no. 2, pp. 301–320, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2005.00503.x>.
3. Кветний Р.Н., Бородкін С.І. «Покращена модель регуляризації Elastic Net для обробки фінансових часових рядів,» Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології, vol. 49, no. 1, pp. 29–35, 2025. <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2025-49-1-29-35>.
4. Y. Wang, X. Hao, C. Wu, «Forecasting stock returns: A time-dependent weighted least squares approach,» Journal of Financial Markets, vol. 53, 100568, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.finmar.2020.100568>.
5. R. Killick, P. Fearnhead, I. A. Eckley, «Optimal detection of changepoints with a linear computational cost,» J. Am. Stat. Assoc., vol. 107, no. 500, pp. 1590–1598, 2012. <https://doi.org/10.1080/01621459.2012.737745>.
6. Кветний Р.Н., Бородкін С.І. «Адаптивне зважування спостережень у моделях регуляризації при прогнозуванні фінансових часових рядів». Матеріали LV Всеукраїнської науково-технічної конференції факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінниця, 24–27 березня 2026 р., ВНТУ, 2026. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2026/paper/view/28214/23136>.

**Бородкін Сергій Іванович** – аспірант групи 126-24а, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [borserg90@gmail.com](mailto:borserg90@gmail.com);

**Кветний Роман Наумович** – професор, д.т.н., кафедра Автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [rkvetny@vntu.edu.ua](mailto:rkvetny@vntu.edu.ua);

**Borodkin Serhii I.** – PhD student of 126-24a, Faculty of Intellectual Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [borserg90@gmail.com](mailto:borserg90@gmail.com);

**Kvyetnyy Roman N.** – Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Department of Automation and Intelligent Information Technology, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [rkvetny@vntu.edu.ua](mailto:rkvetny@vntu.edu.ua)