

РОЗРОБКА ВЕБ-ДОДАТКУ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ФІНАНСОВИХ РИНКІВ НА БАЗІ СТОХАСТИЧНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ТА НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Скутар Ігор Дмитрович

кандидат фіз.-мат. наук,
асистент кафедри прикладної математики та інформаційних технологій,
факультет математики та інформатики,
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

Юрченко Олег Ігорович

студент 5-го курсу
кафедри прикладної математики та інформаційних технологій,
факультет математики та інформатики,
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

Сучасні світові фінансові ринки характеризуються надвисокою волатильністю, алгоритмізацією торговельних процесів та генерацією колосальних обсягів даних у режимі реального часу. У таких умовах класичні методи економетричного аналізу (наприклад, лінійні моделі ARIMA чи GARCH) часто виявляються недостатньо ефективними для короткострокового прогнозування та стрес-тестування портфелів. З іншого боку, строгі математичні моделі стохастичного числення дозволяють адекватно оцінювати макроекономічні ризики, але не здатні самостійно адаптуватися до прихованих мікротрендів у "біржовому стакані заявок" (Order Book/DOM).

Отже, виникає практична потреба у створенні гібридних аналітичних систем. Такі системи повинні поєднувати теоретичний апарат дослідження стохастичних диференціальних рівнянь (СДР) для симуляції довгострокових ризиків із гнучкістю алгоритмів глибинного навчання (зокрема, рекурентних нейронних мереж) для пошуку патернів у високочастотних даних, забезпечуючи при цьому візуалізацію результатів у браузері без затримок.

Мета даного дослідження полягає у проєктуванні математичного забезпечення та практичній програмній реалізації веб-орієнтованого дашборду для симуляції, потокового аналізу та прогнозування динаміки фінансових активів (акцій та облігацій).

Для імітаційного моделювання фінансового ринку в ізольованому середовищі розробленої системи було використано дві фундаментальні стохастичні моделі [1, 2].

Динаміка цін ризикових активів (акцій, криптовалют) моделюється за допомогою геометричного броунівського руху (GBM), який лежить в основі

моделі Блека-Шоулза. Відповідне стохастичне диференціальне рівняння має вигляд:

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dW_t,$$

де S_t – ціна активу, μ – очікувана дохідність (дрейф), σ – волатильність, а W_t – стандартний вінерів процес.

Для безризикових або боргових інструментів (державних облігацій) використано модель Васічека [3], яка математично описується процесом Орнштейна-Уленбека [1, 2]:

$$dr_t = \alpha(\beta - r_t)dt + \sigma_r dW_t.$$

Ця модель враховує економічний феномен повернення до середнього (mean reversion), де α – визначає швидкість повернення ставки r_t до її довгострокового середнього значення β .

Алгоритми дискретизації та генерації. Оскільки обробка даних у системі відбувається дискретно в часі, для розв'язку наведених рівнянь застосовано метод наближених обчислень Ейлера-Маруями [4]. Для рівняння Васічека ітеративна схема виглядає як

$$r_{t+\Delta t} = r_t + \alpha(\beta - r_t)\Delta t + \sigma_r \sqrt{\Delta t} Z.$$

Генерація стандартних нормальних випадкових величин $Z \sim N(0,1)$, необхідних для імітації приростів вінерового процесу ΔW_t , реалізована за допомогою алгоритму Бокса-Мюллера, який трансформує рівномірно розподілені псевдовипадкові числа у нормальний розподіл через перехід до полярних координат.

Для задачі короткострокового прогнозування часових рядів (Time Series Forecasting) у систему інтегровано логіку рекурентної нейронної мережі з довгою короткостроковою пам'яттю (Long Short-Term Memory, LSTM) [5]. Вибір архітектури LSTM обґрунтовується її здатністю вирішувати проблему зникаючого градієнта (vanishing gradient), що дозволяє мережі виявляти нелінійні залежності у довгострокових ретроспективних вікнах даних.

Функція прогнозу

$$\hat{p}_{t+1} = f_{LSTM}(p_{t-kt}; \Theta)$$

навчається шляхом мінімізації середньоквадратичної помилки (MSE). У розробленому дашборді модуль генерує не лише математичне сподівання майбутньої ціни, але й обчислює довірчі інтервали (Confidence Intervals) на основі поточної волатильності, візуалізуючи їх у вигляді затіненого коридору ймовірностей.

Програмна архітектура та реалізація: інтерфейсна частина системи побудована як Single Page Application (SPA) з використанням бібліотеки React.js [6, 7]. Архітектурно додаток розділений на шар бізнес-логіки (математичні обчислення), шар управління станом (React Hooks) та шар представлення (SVG-рендеринг графіків на базі бібліотеки Recharts).

Ключовим інженерним досягненням проєкту є реалізація модуля потокової обробки даних (Data Stream). Система підтримує два режими роботи, між якими можливе безшовне динамічне перемикання, а саме:

- 1) режим симуляції (SDE Mode): дані генеруються локально на клієнті з використанням рівнянь GBM та Васічека. Користувач може інтерактивно змінювати параметри дифузії через інтерфейсні повзунки та миттєво спостерігати зміну амплітуди коливань на графіках;
- 2) режим реального часу (Live Data Mode): система встановлює дуплексне з'єднання через протокол WebSocket з публічним API криптовалютної біржі Binance (потік @miniTicker для пари BTC/USDT).

Для запобігання витокам пам'яті (memory leaks) під час безперервного отримання високочастотних даних реалізовано алгоритм "вікна ковзання" (Sliding Window), який автоматично відсікає застарілі спостереження, підтримуючи константний розмір масиву стану та стабільну частоту кадрів візуалізації (60 FPS).

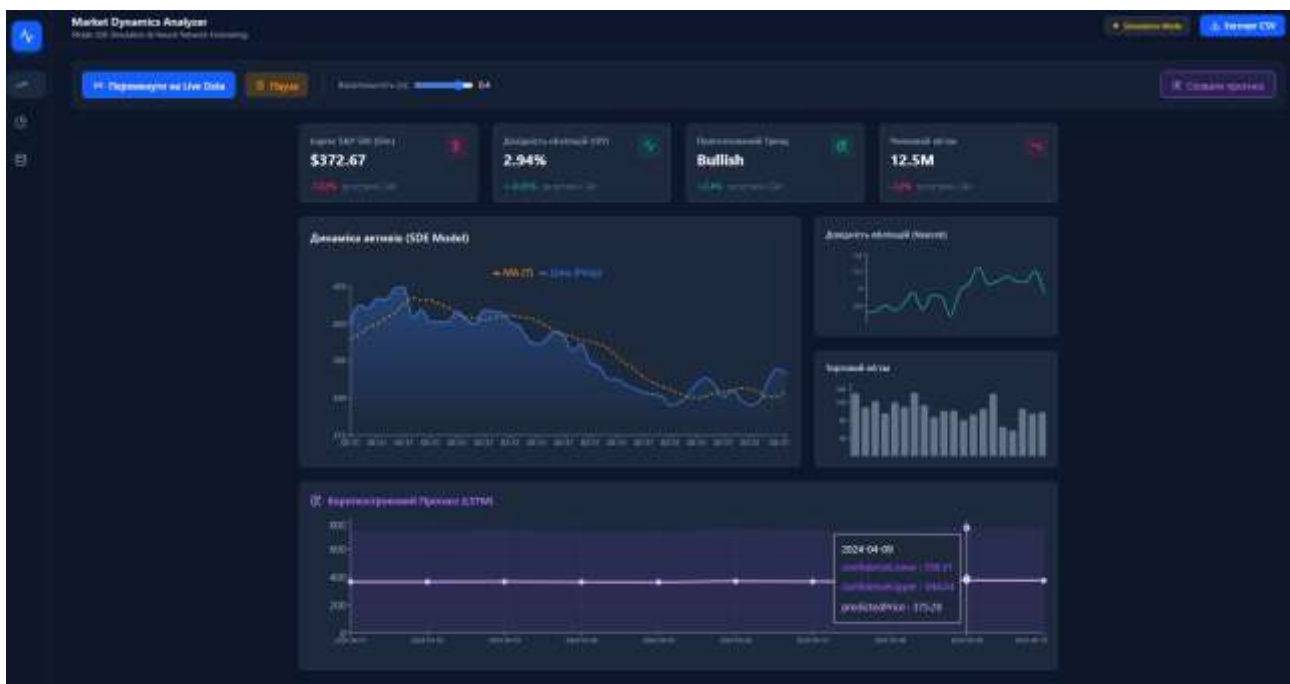
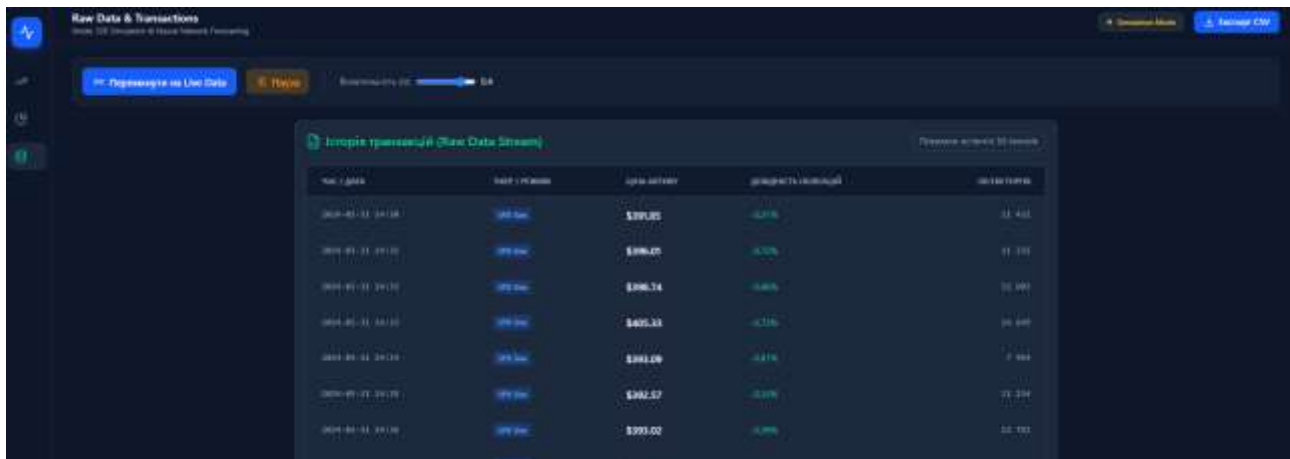


Рисунок 1. Вікно дашборду (динаміка активів, дохідність, торговий об'єм, короткостроковий прогноз LSTM)

Джерело рисунку: авторський веб-додаток.



Time (date)	Type (Market)	Open (price)	Change (delta)	Close (price)
2020-01-11 10:10	BUY	\$101.05	+0.05	11.401
2020-01-11 10:10	BUY	\$101.05	+0.05	11.391
2020-01-11 10:10	BUY	\$101.04	+0.05	10.991
2020-01-11 10:10	BUY	\$101.03	+0.05	10.991
2020-01-11 10:10	BUY	\$101.09	+0.05	7.994
2020-01-11 10:10	BUY	\$101.07	+0.05	77.394
2020-01-11 10:10	BUY	\$101.02	+0.05	10.991

Рисунок 2. Історія транзакцій

Джерело рисунку: авторський веб-додаток.

У ході виконання роботи було успішно розроблено та протестовано гібридну веб-орієнтовану систему фінансового аналізу. Доведено, що використання React.js у комбінації з протоколом WebSocket є оптимальним технологічним стеком для побудови високонавантажених торгових дашбордів. Інтеграція класичних моделей стохастичного числення (GBM, Vasicek) та алгоритмів нейромережевого прогнозування (LSTM) в єдиний інформаційний простір надає аналітикам комплексний інструментарій для моніторингу, стрес-тестування та предиктивного аналізу ринків у режимі реального часу.

Список літератури

1. Shreve S.E. Stochastic Calculus for Finance II: Continuous-Time Models.– Springer, 2004.
2. Glasserman P. Monte Carlo Methods in Financial Engineering.– Springer Science & Business Media, 2003.
3. Vasicek O. An equilibrium characterization of the term structure // Journal of Financial Economics.– 1977.– Vol.5.– P.177-188.
4. Метод Ейлера-Маруяма [Електронний ресурс].– Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Euler%E2%80%93Maruyama_method
5. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory // Neural Computation.– 1997.– Vol. 9, No. 8.– P.1735–1780.
6. Kleppmann M. Designing Data-Intensive Applications: The Big Ideas Behind Reliable, Scalable, and Maintainable Systems.– O'Reilly Media, 2017.
7. Офіційна документація бібліотеки React [Електронний ресурс].– Режим доступу: <https://react.dev>