DOI [https://doi.org/10.15589/znp2021.4\(487\).8](https://doi.org/10.15589/znp2021.4(487).8)
УДК 004.89

INVESTMENT PORTFOLIO MANAGEMENT WITH MACHINE LEARNING ALGORITHMS

УПРАВЛІННЯ ІНВЕСТИЦІЙНИМ ПОРТФЕЛЕМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Oksana Yu. Herasymenko
oksgerasymenko@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6804-2125
Serhii V. Ihnatiuk
ihnatiuksv@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3878-1004

О. Ю. Герасименко,
канд. техн. наук
С. В. Ігнатюк,
магістрант

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ

Abstract. Passive income is one of the most popular topics nowadays. Using a large amount of data helps to solve problems more efficiently and avoid mistakes due to the human factor, including in the field of investment. The development of modern technologies, such as machine learning and neural networks, has made it possible for people to invest much more efficiently and securely. Thanks to the developed models, the neural network can almost accurately predict the future share price using historical data for training. This paper considers a model for predicting the stock price of a company in the stock market based on long-term short-term memory and evaluates the accuracy of its forecast. In order to make the model accessible to ordinary users, a telegram bot has been developed. Everyone can connect to it, specify a ticker symbol and get a forecast of share price. The code of the bot program is implemented with Python programming language using special libraries for creating bots. The neural network model was created using the Keras and TensorFlow machine learning libraries.

The purpose of the study is to develop a forecast model to predict in the short term the share price of the company in the stock market; creation of a telegram bot for its practical use.

Method. Comparative analysis of machine learning algorithms, empirical study of the prognostic model.

Results. Based on the results of comparative analysis, a long-term short-term memory was selected to predict the company's stock price on the stock market. An appropriate neural network model was designed, a telegram bot was implemented for practical application of the model.

Scientific novelty. This is an applied research. It explores the features of using long-term short-term memory for predicting the company's stock price.

The practical importance of the work is to develop a telegram bot for helping investors of different levels in analyzing and resolving investment portfolio issues.

Key words: recurrent neural network; long short term memory; Keras; TensorFlow; ticker symbol; stock market; telegram bot.

Анотація. Отримання пасивного заробітку є однією з найпопулярніших тем сьогодення. Використання накопиченого людьми великого обсягу даних допомагає розв'язувати проблеми ефективніше та уникати помилок через людський фактор, зокрема, у сфері інвестування. Розвиток сучасних технологій, як-от машинне навчання та нейромережі, сприяв тому, що люди мають можливість вкладати свої кошти набагато ефективніше та безпечніше. Завдяки розробленим моделям нейромережа може майже точно передбачити подальшу ціну акцій, використовуючи для навчання історичні дані за ціною акцій. У статті розроблено прогностичну модель для передбачення ціни акції компанії на фондовому ринку з використанням рекурентної нейронної мережі, а саме довгої короткочасної пам'яті, проведено оцінку точності її прогнозу. Задля доступності використання моделі пересічними користувачами розроблено телеграм-бот, до якого можна підключитися, вказати компанію та отримати прогноз за ціною її акцій. Код програми-бота реалізовано мовою програмування Python із використанням спеціальних бібліотек для створення ботів. Модель нейромережі створено із застосуванням бібліотек машинного навчання Keras і TensorFlow.

Мета дослідження – розробити прогностичну модель для передбачення в короткостроковій перспективі ціни акції компанії на фондовому ринку; створити телеграм-бот для її практичного використання.

Методика. Порівняльний аналіз алгоритмів машинного навчання, емпіричне дослідження прогностичної моделі.

Результати. За результатами порівняльного аналізу вибрано рекурентну нейронну мережу довгої короткочасної пам'яті для прогнозування ціни акції компанії на фондовому ринку. Спроектовано відповідну модель нейронної мережі, реалізовано телеграм-бот для практичного застосування моделі.

Наукова новизна. Дослідження має прикладний характер і полягає у вивченні особливостей застосування довгої короткочасної пам'яті для передбачення ціни акції компанії на фондовому ринку.

Практична значимість роботи полягає в розробці телеграм-бота для допомоги інвесторам різних рівнів у аналізі та вирішенні питань інвестиційного портфеля.

Ключові слова: рекурентна нейронна мережа; довга короткочасна пам'ять; Keras; TensorFlow; акція компанії; фондовий ринок; телеграм-бот.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Завдяки розвитку відомих технологічних компаній, як-от Google і Tesla, люди стали частіше замислюватися про те, щоб інвестувати гроші в них із метою отримання прибутку в короткостроковій перспективі. Через брак освіти у сфері фінансів таким людям досить часто важко ухвалити правильне рішення щодо інвестування. Розробка прогностичної моделі дозволить оцінити доцільність вкладення коштів. Замість того, щоб витрачати роки на аналіз та стеження за ринком акцій великих компаній та навчатися на помилках, комп'ютерна програма може навчитися цьому за день, користуючись зібраними даними та відповідним алгоритмом.

Алгоритм вивчає та визначає закономірності в цінах акцій компаній за певний проміжок часу, а потім його можна використати для передбачення ціни на акцію на короткий термін. Таким чином, людина аналізує результат, який видає модель, основана на машинному навчанні, і має можливість зробити вибір щодо купівлі або продажу акції.

Нині допомога в прогнозуванні ціни акції є актуальним завданням. Це зумовлюється необхідністю аналізу історичних даних великих обсягів. Алгоритми машинного навчання нині є одним з ефективних методів розв'язання проблеми, які допомагають людям у багатьох завданнях. Прогнозування фондового ринку – одне з найскладніших завдань у сучасному світі. Аналітики роками досліджують та створюють різноманітні методи прогнозування поведінки фондового ринку, але через різке технологічне зростання деякі з методів перестають діяти. Багато різних факторів впливає на результат, що робить ціни на акції нестабільними та важкими для прогнозування з високим ступенем точності. Застосування алгоритмів машинного навчання для прогнозування ціни акції дозволить ухвалювати рішення щодо інвестування виваженіше.

Проте постає інше завдання: не кожна особа може самостійно створити моделі для прогнозування. Зробити простим доступ до прогнозу ціни акції було одним із завдань цього дослідження. Викорис-

товуючи ботів як сервіс для отримання результату нейромережі, можна розв'язати цю проблему і допомогти пересічним користувачам, які не мають великого досвіду у сфері економіки та інвестицій, отримати прогноз ціни акції вибраної ними компанії.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Виділяють два традиційних підходи до аналізу фондових ринків, як-от фундаментальний аналіз та технічний аналіз [1]. Фундаментальний аналіз виконується з урахуванням значної кількості різних факторів і потребує глибокого знання діяльності компанії та процесів на ринку [1]. Технічний аналіз – це вивчення цін на акції, щоб отримати прибуток або зробити кращу інвестицію в короткостроковій перспективі [2]. Прогрес у техніці сприяє появі інноваційних методів, які використовуються для визначення вартості акцій [2; 3]. До них належать, зокрема, алгоритми машинного навчання, які за останні десятиліття зарекомендували себе як серйозні суперники класичних статистичних моделей [4].

Наразі є багато наукових робіт, присвячених аналізу та дослідженню різних алгоритмів для прогнозування як індексів фондового ринку, так і ціни акцій. Деякі роботи присвячені широкому узагальнюванню огляду, як-от роботи [2; 5; 6; 7], інші представляють порівняння результатів прогнозу кількох вибраних алгоритмів на різних наборах даних. Розглянемо декілька, які були опубліковані в останні роки. У [8] спрогнозовано ціну закриття акцій австралійських енергетичних компаній, як-от Origin Energy Limited і Woodside Petroleum Limited, використовуючи модель часового ряду ARIMA, нейронну мережу прямої подачі та рекурентну нейронну мережу LSTM. Результати отримано за допомогою навчання 900 записів і тестування 367 записів історичних даних. Емпіричні результати продемонстрували перевагу рекурентної моделі глибокого навчання LSTM над моделлю нейронної мережі і часових рядів ARIMA [8].

Дослідження [9] демонструє використання чотирьох моделей для прогнозування ціни акцій, як-от довга короткочасна пам'ять (LSTM), згорткові нейронні

мережі (CNN), комбінація LSTM та CNN та регресія опорних векторів (SVR). Дані за акціями бралися з бази даних Yahoo Finance. Точність різних моделей оцінювалась за середньою абсолютною відсотковою похибкою (MAPE). За з результатами [9], поєднання CNN і LSTM підвищує точність порівняно з LSTM, а також модель SVR здатна передбачити ціни акцій із найвищою точністю порівняно з двома іншими.

У роботі [10] досліджували модель авторегресійного інтегрованого ковзного середнього (ARIMA) та три алгоритми глибокого навчання: LSTM, CNN і CNN-LSTM (для прогнозування одновимірною часового ряду з чотирьох фондових індексів); S&P 500, Dow Jones Industrial Average, Euro Stoxx 50 і біржа Nasdaq. Також у роботі досліджувалися методи усунення шуму для покращення продуктивності цих моделей. Як стверджують автори у [10], хоча ARIMA і демонструє гарні результати, однак прогнозування часових рядів із використанням деяких методів усунення шуму свідчать про те, що інші підходи можуть перевершити ARIMA за умови відповідних експериментальних конфігурацій.

У [11] запропоновано рішення з точного налаштування моделі на основі LSTM, що дозволило отримати помітне покращення продуктивності моделі.

У статті [12] прогнозується середня ціна акцій для п'яти наборів даних, використовуючи історичні дані про ціни на акції. Модель ARIMA використовується для створення базової лінії, а LSTM використовується для побудови моделі прогнозування курсу акцій у цій роботі. Ефективність двох моделей порівнюється з точки зору середньоквадратичної похибки. Результати показують, що модель LSTM прогнозує краще, ніж модель ARIMA, під час прогнозування часових рядів [12].

У статті [13] представлено набір моделей на основі глибокого навчання для прогнозування курсу акцій. Для побудови прогнозу використовувались історичні дані індексу NIFTY 50, розміщеного на Національній фондовій біржі (NSE) Індії, за період із 29 грудня 2008 року до 31 липня 2020 року. У роботі досліджувалися дві моделі регресії, побудовані на згорткових нейронних мережах (CNN), і три моделі на основі довгої короткострокової пам'яті. Результати показують: хоча всі моделі дуже точні в прогнозуванні майбутніх значень NIFTY 50, одновимірний згортковий LSTM кодер-декодер із даними за попередні два тижні (як вхідні дані) є найточнішою моделлю, а одновимірна модель CNN із даними за попередній тиждень – найшвидшою [13].

У дослідженні [14] використовувалися різні моделі на основі дерев і нейронні мережі (ANN, RNN і LSTM) для прогнозування значень чотирьох груп фондового ринку. Прогнози робилися на 1, 2, 5, 10, 15, 20 і 30 днів. Серед усіх моделей LSTM була визначена авторами найкращою моделлю для прогнозування всіх груп фондового ринку з найменшою

похибкою [14]. Схожі результати отримано й іншими дослідниками для іншої біржі під час застосування схожих моделей [15].

Як можна бачити, нині є багато різноманітних алгоритмів і підходів для прогнозування акцій та індексів фондового ринку. І хоч нелінійність і значна мінливість фінансових часових рядів ускладнюють прогнозування ціни акцій, однак завдяки останнім розробкам у глибокому навчанні та використанні моделей LSTM і CNN отримано хороші результати щодо аналізу цього типу даних [16].

Згідно з результатами аналізу можна сказати, що довга короткострокова пам'ять є однією з найперспективніших і найпопулярніших моделей глибокого навчання, які використовуються сьогодні [17]. Це підтверджується і кількістю публікацій, присвячених її дослідженню [7]. Проте дослідники зазначають, що продуктивність LSTM значно залежить від вибору гіперпараметрів, які потрібно вибирати дуже ретельно для отримання хороших результатів [17], а сама модель показує кращі результати за умови точного налаштування [10; 11].

Таким чином, для створення прогностичної моделі доцільно використати LSTM-алгоритм, завдяки якому можна створити ефективний сервіс із прогнозування вартості акцій для інвесторів.

Мета дослідження – розробити прогностичну модель для передбачення в короткостроковій перспективі ціни акції компанії на фондовому ринку; створити телеграм-бот для її практичного використання.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методами дослідження є порівняльний аналіз алгоритмів машинного навчання, емпіричне дослідження прогностичної моделі. Об'єктом дослідження є динаміка цін акцій на фондовому ринку. Предметом – алгоритми машинного навчання для прогнозування вартості акції компанії.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Результати машинного навчання значно залежать від наявності хороших даних для навчання. Навчальна вибірка використовується для виконання початкового навчання моделі, для ініціалізації ваг нейронної мережі. Тестова вибірка використовується для оцінки валідності моделі. Спершу розглянемо, які дані використано під час дослідження.

Набір даних для навчання та тестування містить інформацію про дату початку торгів, ціну акції під час відкриття, ціну акції в момент закриття та ін. Для прикладу візьмемо компанію Тесла, яка перебуває на біржі з 2010 року (рис. 1). Дані для навчання взято із сервісу Alpha Vantage, де за допомогою тикера можна отримати інформацію про обіг акцій за весь період існування компанії у файлі .csv (рис. 1).

	Date	Open	High	Low	Close	Adj Close	Volume
0	2010-06-29	19.000000	25.00	17.540001	23.889999	23.889999	18766300
1	2010-06-30	25.790001	30.42	23.299999	23.830000	23.830000	17187100
2	2010-07-01	25.000000	25.92	20.270000	21.959999	21.959999	8218800
3	2010-07-02	23.000000	23.10	18.709999	19.200001	19.200001	5139800
4	2010-07-06	20.000000	20.00	15.830000	16.110001	16.110001	6866900

Рис. 1. Приклад вмісту файлу .csv з переліком даних про ціну акції Тесла

Найважливішими показниками для навчання є дата та ціна закриття [18]. Тому в код, який реалізує навчання, виділяємо ці стовпчики з даними.

Для ефективного навчання потрібно багато даних, за якими мережа зможе визначити ключові моменти, що дозволяють передбачити подальшу зміну ціни. Тому найкраще брати компанії, які перебувають на фондовому ринку великий проміжок часу. Важливим моментом у навчанні алгоритму є те, щоб у даних про вартість не було різких спадів, коли компанія роздіблює свої акції, щоб люди, які не можуть дозволити собі її придбати, мали таку можливість. Приклад графіка з роздіблен-

Рис. 2. Приклад роздіблення акцій компанії Apple

Рис. 3. Графічне зображення архітектури розробленої нейронної мережі

ням показано на рис. 2. Далі потрібно визначити, на якому проміжку брати дані для навчання. Кожний період перебуває в межах певних індексів, оскільки інформація зберігається в змінній типу List мови Python. Тому за допомогою функцій head() та tail() вказуються початок та кінець періоду, який береться для навчання.

Визначившись із періодом, дані за який будуть використані, необхідно розділити їх на тестову та навчальну вибірки. Для цього використовуються спеціальні функції, як-от create_features().

Далі слід визначитися з архітектурою нейромережі. Емпіричним способом вибрано мережу, яка складається з одного шару LSTM зі щільністю 50 нейронів та функцією активації RELU, а також шару регуляризації Dropout та шару оптимізації Adam. Схематично архітектуру мережі представлено на рис. 3. Після навчання проводиться тестування моделі. На цьому етапі використовується набір даних, який ніколи не був поданий на вхід моделі під час навчання.

Щоб використовувати розроблену модель на практиці, треба створити застосунок, який отримуватиме від користувача тикер компанії, а потім видавати результат, отриманий із моделі. Найкращий варіант для цього – створення бота. Python є основою для реалізації алгоритму машинного навчання і розробки моделі, тому його також використано для реалізації бота. Діаграма станів бота представлена на рис. 4 а), його зовнішній вигляд – на рис. 4 б).

Як середовище застосування бота використано Telegram. Для отримання API для бота в телеграмі є «батько-бот», де можна зареєструватися на створення свого бота. Записуємо назву бота та отримуємо API. У Python є бібліотека під назвою pytelegrambotapi, за допомогою якої можна легко налаштувати та запустити бота. Потрібен лише API, який отримано раніше. Діаграма кооперації бота наведена на рис. 5.

Весь алгоритм записано у функцію, яка буде використовуватися для запиту. Аргументом буде тикер акції. Для автоматизації отримання інформації про тикер компаній використовується сервіс під назвою alphavantage [19], де за запитом можна отримати інформацію про ціну акції компанії у файлі .csv. Результатом функції буде передбачувана ціна, яка виводитиметься користувачу.

Рис. 4. Діаграма станів телеграм-бота а) та його зовнішній вигляд б)

Рис. 5. Діаграма кооперації бота

На рисунках видно, що після отримання тикера компанії бот починає свою роботу та видає результат, отриманий від розробленої моделі. Знизу бота показані популярні тикери компаній, які після кліку автоматично записують боту повідомлення з вибраним тикером.

На діаграмі кооперації можна побачити, що після того, як користувач відправив тикер, бот починає свою роботу, починаючи із запиту до сервісу Alpha Vantage та завершуючи виведенням результату ціни акції користувачу.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Для порівняння отриманих у результаті навчання цін їх відображено на одному графіку з реальними даними.

Рис. 6. Порівняння отриманих за результатами навчання та реальних значень ціни акції для Tesla за 2018–2020 рр.

Рис. 7. Функція втрат моделі під час навчання на даних ціни акції Tesla

На рис. 6 реальну ціну акції показано синім кольором, а визначену в результаті навчання – помаранчевим. На рис. 7 показано функцію втрат моделі. Як можна побачити з графіка функції втрат, навчання моделі було досить успішним.

За результатами перевірки якості навчання моделей для різних тикерів виявлено, що середня квадратична похибка (RMSE) для деяких є досить високою порівняно з результатами інших досліджень, а для інших – значно меншою. Проте варто зазначити, що порівняння проводились для акцій різних компаній, набори даних для навчання бралися також різні. Крім того, архітектура мережі, представлена в цій роботі, є дуже простою, оскільки модель не повинна вчитися значний час у зв'язку з метою її використання (телеграм-бот). Можна отримати більш точну модель для кожної конкретної компанії, налаштувавши багато параметрів моделі, додавши більше шарів LSTM, обравши кращий період даних для навчання та попередньо обробивши набір вхідних даних. Також модель дозволяє передбачити, буде ціна акції знижуватися чи рости, що є більш важливим для інвестування.

Щоб покращити точність моделі, необхідно експериментувати з параметрами самої моделі та використовувати для кожної нової компанії якісний набір даних без різких змін у графіку. Крім того, створений алгоритм працює так, що прогнозує ціну акції на основі низки ознак, як-от дата закриття та вартість.

Одним зі способів удосконалення моделі є додавання більшої кількості ознак, які можуть як поліпшити модель, так і погіршити.

Ознаки, які можна додати до моделі:

- кількість акцій – це один із головних критеріїв, за яким можна визначити капіталізацію компанії, що дає можливість зрозуміти ціну однієї акції;
- ціна / прибуток – критерій, за яким визначається оцінка ринком цієї компанії [20];
- дивіденди (деякі компанії виплачують відсоток від прибутку, що дає змогу отримувати гроші, просто тримаючи акцію при собі. Через це ціна акції знижується).

Такий набір вхідних параметрів допоможе оптимізувати прогнозування та вивести його на інший рівень. Якщо перебільшити з особливостями, то це може погіршити прогнозування вартості. Основне завдання у створенні моделі – знайти оптимальну кількість аргументів, що потребує додаткового дослідження і може бути виконано в подальшому.

ВИСНОВКИ

Керування інвестиціями – відповідальна і складна діяльність, особливо для людей без спеціальної освіти. Але і фахівцям із великим досвідом властиво робити помилки. З розвитком технологій з'являються різноманітні засоби, покликані допомогти людині в ухваленні рішення. І штучний інтелект відіграє у вирішенні таких завдань одну з провідних ролей. Наше дослідження демонструє, як можуть бути використанні рекурентні нейронні мережі для прогнозування ціни акції компанії на фондовому ринку в короткостроковій перспективі. Маючи такий прогноз, можна впевненіше робити висновки щодо доцільності купівлі чи продажу акцій певної компанії. Простота доступу до результатів прогнозу моделі забезпечується реалізацією телеграм-бота, який є досить простим у використанні.

Напрями подальшого розвитку роботи полягають у вдосконаленні створеної нейромережі з метою підвищення точності прогнозу, додаванні додаткових вхідних параметрів для аналізу та розширенні функціоналу телеграм-бота.

REFERENCES

- [1] Park, C.-H., Irwin, S.H. (2007). What Do We Know about the Profitability of Technical Analysis? *Journal of economic surveys*, vol. 21, issue 4, 786–826. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2007.00519.x>
- [2] Rouf, N., Malik, M.B., Arif, T., Sharma, S., Singh, S., Aich, S., Kim, H.-C. (2021). Stock Market Prediction Using Machine Learning Techniques: A Decade Survey on Methodologies, Recent Developments, and Future Directions. *Electronics*, 10, 2717. <https://doi.org/10.3390/electronics10212717>.
- [3] Zhang, D., Cai, E. (2021). Improving stock price forecasting using a large volume of news headline text. *Computers, Materials & Continua*, vol. 69, no. 3, 3931–3943. DOI:10.32604/cmc.2021.012302.
- [4] Bontempi, G., Taieb S.B., Le Borgne, Yann-Aël. (2014). Machine Learning Strategies for Time Series Forecasting. In E. W. M. P. van der Aalst, J. Mylopoulos, S. Ram, M. Rosemann & C. Szyperski (Eds.), *Lecture Notes in Business Information Processing* (pp. 62–77). Springer. DOI: 10.1007/978-3-642-36318-4_3.
- [5] Sezera, O.B., Gudeleka, M.U., Ozbayoglu, A.M. (2020). Financial Time Series Forecasting with Deep Learning: A Systematic Literature Review: 2005–2019. *Applied Software Computing*, Vol. 90, Article 106181. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106181>.

- [6] Obthong, M., Tantisantiwong, N., Jeamwathanachai, W., & Wills, G. (2020). A Survey on Machine Learning for Stock Price Prediction: Algorithms and Techniques. *Proceedings of the 2nd International Conference on Finance, Economics, Management and IT Business (FEMIB 2020)*, 63–71. DOI: 10.5220/0009340700630071.
- [7] Hu, Z., Zhao, Yi., Khushi, M. (2020). A Survey of Forex and Stock Price Prediction Using Deep Learning. *Applied system innovation*. 2021, 4(1), 9. <https://doi.org/10.3390/asi4010009>.
- [8] Goyal, M. (2020, November 4–7). *Financial Time Series Stock Price Prediction using Deep Learning*. [Conference presentation]. Conference: 2020 11th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON). DOI:10.1109/IEMCON51383.2020.9284879.
- [9] Chen, L.P. (2020). Using Machine Learning Algorithms on Prediction of Stock Price. *Journal of Modeling and Optimization*, 12 (2), 84–99. <https://doi.org/10.32732/jmo.2020.12.2.84>.
- [10] Onibonjoje, O., Djoussa, K., Roantree, M. (2020). Analysis of Machine Learning Methods for Predicting Stock Prices. *Proceedings of The 28th Irish Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Science, Dublin, Republic of Ireland*, 205–216.
- [11] Shen, J., Shafiq, M.O. (2020). Short-term stock market price trend prediction using a comprehensive deep learning system. *Journal of Big Data*, 7, 66. <https://doi.org/10.1186/s40537-020-00333-6>.
- [12] Baleshwarsingh, J., Deepa, G. (2019). Comparative analysis of time-series forecasting algorithms for stock price prediction. *Proceedings of the International Conference on Advanced Information Science and System, November 2019, Article No.: 33*, <https://doi.org/10.1145/3373477.3373699>.
- [13] Mehtab, S., Sen, J. (2020). Stock Price Prediction Using CNN and LSTM-Based Deep Learning Models. *International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA)*, 447–453. doi: 10.1109/DASA51403.2020.9317207.
- [14] Mehtab, S., Sen, J., Dutta, A. (2021). Stock Price Prediction Using Machine Learning and LSTM-Based Deep Learning Models. In: Thampi S.M., Piramuthu S., Li K.C., Berretti S., Wozniak M., Singh D. (Eds.). *Machine Learning and Metaheuristics Algorithms, and Applications. SoMMA 2020. Communications in Computer and Information Science*, vol. 1366. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0419-5_8.
- [15] Nabipour, M., Nayyeri, P., Jabani, H., Mosavi, A., Salwana, E., Shahab, S. (2020). Deep Learning for Stock Market Prediction. *Entropy*, 22(8), 840. <https://doi.org/10.3390/e22080840>
- [16] Rezaei, H., Faaljou, H., Mansourfar, G. (2021). Stock price prediction using deep learning and frequency decomposition. *Expert Systems with Applications*, Vol. 169, Article 114332. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114332>.
- [17] Yadav, A., Jha, C.K., Sharan, A. (2020). Optimizing LSTM for time series prediction in Indian stock market. *Procedia Computer Science*, Vol. 167, 2091–2100. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.257>.
- [18] Singh, A. (October, 2018). *Stock Prices Prediction Using Machine Learning and Deep Learning Techniques (with Python codes)*. Analytics Vidhya. <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2018/10/predicting-stock-price-machine-learningnd-deep-learning-techniques-python/>
- [19] Cpbic Alpha Vantage. <https://www.alphavantage.co/#page-top>
- [20] P/E Ratio: Price-to-Earnings Complete Guide. FinanceTuts. <https://financetuts.com/price-earnings-pe-ratio/>

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Park C.-H., Irwin S.H. What Do We Know about the Profitability of Technical Analysis? *Journal of economic surveys*, vol. 21, issue 4, 2007. 786–826. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2007.00519.x>
- [2] Rouf N., Malik M.B., Arif T., Sharma S., Singh S., Aich S., Kim H.-C. Stock Market Prediction Using Machine Learning Techniques: A Decade Survey on Methodologies, Recent Developments, and Future Directions. *Electronics*, 10, 2717. 2021/ URL: <https://doi.org/10.3390/electronics10212717>.
- [3] Zhang D., Cai E. Improving stock price forecasting using a large volume of news headline text. *Computers, Materials & Continua*, Vol. 69, No. 3, 2021. 3931–3943. DOI:10.32604/cmc.2021.012302.
- [4] Bontempi G., Taieb S.B., Le Borgne, Yann-A"el. Machine Learning Strategies for Time Series Forecasting. In E. W. M. P. van der Aalst, J. Mylopoulos, S. Ram, M. Rosemann & C. Szyperski (Eds.), *Lecture Notes in Business Information Processing* (pp. 62–77). Springer. 2014. DOI: 10.1007/978-3-642-36318-4_3.
- [5] Sezera O.B., Gudeleka M.U., Ozbayoglu A.M. Financial Time Series Forecasting with Deep Learning: A Systematic Literature Review: 2005–2019. *Applied Software Computing*, Vol. 90, Article 106181. 2020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106181>.
- [6] Obthong M., Tantisantiwong N., Jeamwathanachai W., & Wills G. A Survey on Machine Learning for Stock Price Prediction: Algorithms and Techniques. *Proceedings of the 2nd International Conference on Finance, Economics, Management and IT Business (FEMIB 2020)*, 63–71. 2020. DOI: 10.5220/0009340700630071.
- [7] Hu Z., Zhao Yi., Khushi, M. A Survey of Forex and Stock Price Prediction Using Deep Learning. *Applied system innovation*. 2021, 4(1), 9. URL: <https://doi.org/10.3390/asi4010009>.
- [8] Goyal M. (2020, November 4–7). *Financial Time Series Stock Price Prediction using Deep Learning*. [Conference presentation]. Conference: 2020 11th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON). DOI:10.1109/IEMCON51383.2020.9284879.
- [9] Chen L.P. (2020). Using Machine Learning Algorithms on Prediction of Stock Price. *Journal of Modeling and Optimization*, 12 (2), 84–99. URL: <https://doi.org/10.32732/jmo.2020.12.2.84>.

- [10] Onibonaje O., Djoussa K., Roantree M. Analysis of Machine Learning Methods for Predicting Stock Prices. *Proceedings of The 28th Irish Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Science, Dublin, Republic of Ireland*, 2020. 205–216.
- [11] Shen J., Shafiq M.O. Short-term stock market price trend prediction using a comprehensive deep learning system. *Journal of Big Data*, 7, 66. 2020. URL: <https://doi.org/10.1186/s40537-020-00333-6>.
- [12] Baleshwarsingh J., Deepa G. Comparative analysis of time-series forecasting algorithms for stock price prediction. *Proceedings of the International Conference on Advanced Information Science and System, November 2019*, Article No.: 33, 2019. URL: <https://doi.org/10.1145/3373477.3373699>.
- [13] Mehtab S., Sen J. Stock Price Prediction Using CNN and LSTM-Based Deep Learning Models. *International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA)*, 2020. 447–453. doi: 10.1109/DASA51403.2020.9317207.
- [14] Mehtab S., Sen J., Dutta A. Stock Price Prediction Using Machine Learning and LSTM-Based Deep Learning Models. In: Thampi S.M., Piramuthu S., Li K.C., Berretti S., Wozniak M., Singh D. (Eds.). *Machine Learning and Metaheuristics Algorithms, and Applications. SoMMA 2020. Communications in Computer and Information Science*, vol. 1366. Springer. 2021. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-16-0419-5_8.
- [15] Nabipour M., Nayyeri P., Jabani H., Mosavi A., Salwana E., Shahab S. Deep Learning for Stock Market Prediction. *Entropy*, 22(8), 2020. 840. URL: <https://doi.org/10.3390/e22080840>
- [16] Rezaei H., Faaljou H., Mansourfar G. Stock price prediction using deep learning and frequency decomposition. *Expert Systems with Applications*, Vol. 169, Article 114332. 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114332>.
- [17] Yadav A., Jha C.K., Sharan A. Optimizing LSTM for time series prediction in Indian stock market. *Procedia Computer Science*, Vol. 167, 2020. 2091–2100. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.257>.
- [18] Singh A. (October, 2018). *Stock Prices Prediction Using Machine Learning and Deep Learning Techniques (with Python codes)*. Analytics Vidhya. URL: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2018/10/predicting-stock-price-machine-learningnd-deep-learning-techniques-python/>
- [19] Cerpvic Alpha Vantage. URL: <https://www.alphavantage.co/#page-top>
- [20] P/E Ratio: Price-to-Earnings Complete Guide. FinanceTuts. URL: <https://financetuts.com/price-earnings-pe-ratio/>

© Герасименко О. Ю., Ігнатюк С. В.

Дата надходження статті до редакції: 29.11.2021

Дата затвердження статті до друку: 15.12.2021