

УДК 004.02

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2023-3-9>

Дмитро ЯНОВСЬКИЙ

аспірант, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005, yanovsky.dmitry@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0558-3914

Марина ГРАФ

доктор філософії з комп'ютерних наук, завідувач кафедри комп'ютерних наук, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005, graf.maryna@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4873-548X

Scopus Author ID: 57202440773

Бібліографічний опис статті: Яновський, Д., Граф, М. (2023). Аналіз існуючих методів прогнозування попиту та способів оцінки їх якості. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 3, 70–77, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2023-3-9>

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ ТА СПОСОБІВ ОЦІНКИ ЇХ ЯКОСТІ

У даному тексті було досліджено різні методи прогнозування попиту, зокрема евристичні, екстраполяційні, регресійні та методи машинного навчання. Евристичні методи базуються на суб'єктивних оцінках експертів та можуть бути використані для довгострокового та середньострокового прогнозування, а також в умовах нестабільності. Однак вони мають свої недоліки, такі як суб'єктивність та можливість зміщення прогнозу.

Математичні методи екстраполяції та регресії ґрунтуються на статистичних тенденціях та дозволяють прогнозувати майбутні значення на основі минулих даних. Вони мають просту реалізацію і зрозумілу інтерпретацію результатів, але також обмежені недостовірністю даних та неможливістю передбачити нестабільні умови в майбутньому.

Машинне навчання представляє альтернативний підхід до прогнозування, використовуючи великий обсяг даних. Воно включає алгоритми керованого навчання, неконтрольованого навчання та глибокого навчання, кожен з яких має свої особливості і застосовується для різних типів завдань. Підкреслюється, що регресійні моделі та методи машинного навчання мають свої переваги, такі як здатність враховувати багато змінних і факторів, але також мають складність в реалізації та інтерпретації результатів прогнозу.

В тексті розглянуто основні способи розрахунку похибки прогнозування та шкалу оцінки якості прогнозування в залежності від значення похибки. Наголошується, розрахунок цих показників передбачає лінійний розвиток подій, тоді як нелінійні події можуть впливати на точність прогнозу. Наприклад, збої в роботі постачальника або магазину можуть призводити до збільшення похибки прогнозу. Таким чином, необхідно враховувати нелінійний характер подій при оцінці точності прогнозу.

Отже, вибір методу прогнозування залежить від конкретної ситуації та доступності даних. Кожен метод має свої переваги та обмеження, і їх використання повинно бути обґрунтоване і здійснюватись з урахуванням особливостей конкретного прогнозувального завдання.

Ключові слова: методи прогнозування; екстраполяція; регресія; машинне навчання; якість прогнозу; похибка прогнозу.

Dmytro YANOVSKY

Postgraduate Student, Zhytomyr Polytechnic State University, 103 Chudnivska str., Zhytomyr, 10005, yanovsky.dmitry@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0558-3914

Maryna GRAF

Doctor of Philosophy in Computer Sciences, Head of the Department of Computer Sciences of the Zhytomyr Polytechnic State University, 103 Chudnivska str., Zhytomyr, 10005, graf.maryna@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4873-548X

Scopus Author ID: 57202440773

To cite this article: Yanovsky, D., Graf, M. (2023). Analiz isnuichykh metodiv prohozuvannia popytu ta sposobiv otsinky yikh yakosti [Analysis of existing demand forecasting methods and methods of assessing their quality]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 3, 70–77, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2023-3-9>

ANALYSIS OF EXISTING METHODS OF FORECASTING DEMAND AND METHODS OF ASSESSING THEIR QUALITY

This text explored various demand forecasting methods, including heuristic, extrapolation, regression, and machine learning methods. Heuristic methods are based on subjective assessments of experts and can be used for long- and medium-term forecasting, as well as in conditions of instability. However, they have their drawbacks, such as subjectivity and the possibility of biasing the forecast.

Mathematical methods of extrapolation and regression are based on statistical trends and allow predicting future values based on past data. They have a simple implementation and a clear interpretation of the results, but are also limited by the unreliability of the data and the inability to predict unstable conditions in the future.

Machine learning represents an alternative approach to forecasting using large amounts of data. It includes supervised learning, unsupervised learning and deep learning algorithms, each of which has its own characteristics and is used for different types of tasks. It is emphasized that regression models and machine learning methods have their advantages, such as the ability to take into account many variables and factors, but also have difficulty in implementing and interpreting forecast results.

The text discusses the main methods of calculating the forecasting error and the scale for assessing the quality of forecasting depending on the value of the error. It is emphasized that the calculation of these indicators assumes a linear development of events, while non-linear events can affect the accuracy of the forecast. For example, disruptions in the work of a supplier or store can lead to an increase in the forecast error. Thus, it is necessary to take into account the non-linear nature of events when assessing the accuracy of the forecast

Therefore, the choice of forecasting method depends on the specific situation and the availability of data. Each method has its advantages and limitations, and their use should be justified and carried out taking into account the specifics of a specific forecasting task.

Key words: forecasting methods; extrapolation; regression; machine learning; forecast quality; forecast error.

Актуальність теми. Прогнозування попиту є важливою складовою управління бізнесом в будь-якій галузі економіки. Актуальність прогнозування попиту полягає в тому, що це дозволяє підприємствам та організаціям здійснювати більш обґрунтоване планування виробництва, закупівель, маркетингової стратегії та інших аспектів діяльності.

Також прогнозування попиту дозволяє підприємствам завчасно адаптуватися до змін на ринку, враховувати фактори, які впливають на попит, такі як зміна технологій, демографічні зміни, економічні тенденції та інші.

Прогнозування попиту також дозволяє встановлювати оптимальні ціни на продукцію, що підвищує ймовірність продажу та збільшує прибуток. Важливо зазначити, що високоякісний прогноз попиту дозволяє підприємствам конкурувати на ринку та забезпечувати задоволення потреб клієнтів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори.

Питанням прогнозування економічного розвитку регіону присвячена значна увага в роботах вітчизняних і зарубіжних вчених економістів. Цими проблемами займалися, зокрема, Гаркуша Н.М. (Гаркуша, 2012, с. 438-579), Юрченко М.Є. (Юрченко, 2018, с. 6-75),

Гече Ф.Е., Мулеса О.Ю., Гриненко В.В., Смоланка В.Ю. (Гече, Мулеса, Гриненко, Смоланка, 2019, с. 132-144), Вітинський П. Б., Ткаченко Р. О. (Вітинський, Ткаченко, 2019, с. 147–150) та інші. Їхні праці є основою для розробки і реалізації нових напрямів і гнучких методик щодо моделювання економічного розвитку на основі ефективних методів прогнозування. Наприклад, Гече Ф. Е., Мулеса О. Ю., Гриненко В.В., Смоланка В. Ю. запропонували новий алгоритм вибору факторних ознак, який базується на властивостях частинних коефіцієнтів кореляції, Гаркуша Н.М. описала теоретичні основи прийняття управлінських рішень, методи і моделі їх розробки, Вітинський П. Б., Ткаченко Р. О. розробили нейроподібну систему обчислювального інтелекту для підвищення точності розв'язання задач прогнозування в умовах коротких вибірок даних.

Аналізуючи наукові доробки з теми дослідження, можна говорити про активне застосування методів прогнозування попиту як у вітчизняному, так і у світовому суспільстві особливо в контексті автоматизації використання цих методів. Зважаючи на збільшення можливостей і потужності обчислювальної техніки методи прогнозування стають все складнішими та охоплюють все більші об'єми даних.

Метою статті є проведення аналізу найбільш вживаних методів прогнозування попиту та методів оцінки їх якості.

Викладення основного матеріалу. Прогнозування – це процес наукового обґрунтування можливих кількісних та якісних змін його стану в майбутньому, а також альтернативних способів досягнення очікуваного стану (Макаренко, 2014, с. 23-25). Основні принципи, на яких базується прогнозування наведені на рис. 1 (Гаркуша, 2012, с. 499-503):

За цими принципами здійснюється формування прогнозів майбутнього стану того чи іншого суб'єкта господарювання.

В цілому методи прогнозування поділяють за ступенем формалізації (математичні, евристичні) та загальними принципами дії і способу отримання інформаційних даних (рис. 2) (Макаренко, 2014; Mescon, 1988).

Евристичні методи. Евристичні методи прогнозування є суб'єктивним, такими, що засновані на судженнях експертів і осіб, що приймають рішення, або навіть на інтуїції (Терещенко, 2003, с. 467-500). Як правило, ці методи застосовуються в наступних випадках:

- для довгострокового та середньострокового прогнозування. У такій перспективі дуже ймовірні зміни попиту, які не носять чисто інерційного характеру, але можуть відображати істотну зміну кон'юнктури на конкретному ринку збуту (макроекономічні зміни, зміна структури ринку, значне посилення або ослаблення важ-



Рис. 1. Базові принципи прогнозування

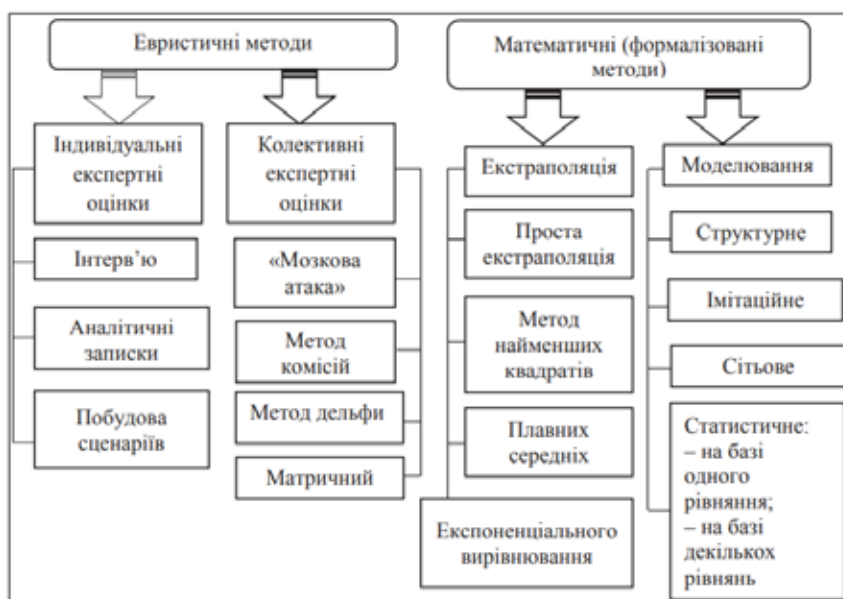


Рис. 2. Схема класифікації методів прогнозування за ступенем формалізації і загальними принципами дії та способу отримання інформаційних даних

ливих учасників ринку і т.д.). При довгостроковому прогнозуванні необхідно спиратися на поведінкові дані, отримані при проведенні маркетингових досліджень;

- для прогнозування попиту на нові товари, які не мають аналогів, що унеможливорює використання методу історичної аналогії;
- профілі попиту і зв'язку нестабільні;
- є необхідність спиратися на думку керівників або експертів з суб'єктивних причин;
- коли немає можливості навіть для короткострокового прогнозування застосувати кількісні методи (наприклад, коли немає обсягу вихідних даних, необхідних для застосування кількісних методів, або коли прогноз повинен бути отриманий дуже швидко, і немає часу на виконання необхідного кількісного аналізу).

Евристичні методи мають певні недоліки, які необхідно усвідомлювати при їх застосуванні (Терещенко, 2003, с. 467-500):

- в силу суб'єктивності прогнозу велика ймовірність зміщення прогнозу, тобто його систематичного відхилення від факту в ту чи іншу сторону;

- як правило, неповна документація – рідко коли отримання прогнозу таким способом супроводжується докладними поясненнями експертів про те, чому вони вибрали саме такий прогноз, а не інший;

- вони не практичні, коли необхідно підготувати прогноз попиту на сотні, а то й тисячі номенклатурних найменувань продукції – людина не в змозі оперувати такими обсягами інформації;

- Існує небезпека домінування однієї точки зору над іншими (наприклад, погляд наукового керівника або провідного визнаного експерта) при консолідації думок експертів (наприклад, при застосуванні методу консенсусної панелі), і не факт, що ця домінуюча точка зору буде ближче до істини.

Математичні методи можна розділити на дві підгрупи: екстраполяція і регресія.

Екстраполяція. Методи екстраполяції (засновані на поширенні спостережуваної тенденції в майбутнє) засновані на декількох важливих припущеннях (Чубукова, 2014, с. 130-150):

- у часовому ряді існує статистично значуща тенденція;

- досліджуваний процес є інерційним, тобто закономірності, що існували в минулому, зберігатимуться й у майбутньому;

- фактори, що визначають розвиток процесу, залишаються незмінними.



Рис. 3. Групування методів екстраполяції

Залежно від особливостей зміни рівнів у рядах динаміки методи екстраполяції можуть бути простими і складними (Гаркуша, 2012, с. 499-515).

Перевагами методів екстраполяції є проста реалізація та зрозуміла інтерпретація результатів. До недоліків можна віднести неможливість всіх факторів, низька достовірність даних при довгостроковому прогнозі, та неможливість передбачити результат при нестабільності, мінливості умов у майбутньому (Бутакова, 2011, с. 100-112).

Методи регресії. Методи регресії засновані на побудові причинно-наслідкових зв'язків між величиною попиту і факторами, які на нього впливають. Фактори можуть носити як демографічний, так і економічний характер. Для застосування регресійних методів необхідні ряди даних достатньої довжини, причому як дані про попит, так і дані про фактори, що впливають на попит. Для розрахунку прогнозних значень попиту будується регресійна модель, яка пов'язує фактори і результативну ознаку (Smeeke, Wijler, 2018; Alvarez-Diaz, 2010).

Можна сказати, що ці способи є найбільш складними і дорогими, оскільки вимагають збору і обробки не тільки внутрішньої, але і зовнішньої інформації для компанії на регулярній основі. Побудова регресійної моделі вимагає декількох етапів (Гече, 2019, с. 132-144):

- 1) Вибір незалежної змінної (фактор-аргументу).

- 2) Оброблення статистичної інформації.

- 3) Встановлення міри залежності між результативними змінними (ознаками) і факторними змінними (показниками).

- 4) Визначення найвпливовіших факторних ознак для результуючого показнику.

5) Побудова рівняння регресії відносно найвпливовіших факторних ознак і перевірка його на адекватність.

6) Аналіз кореляційної моделі.

При побудові лінійних регресійних моделей, як правило, до факторних ознак ставляться наступні вимоги (Гече, 2019, с. 132-144):

– факторні змінні повинні мати кількісне вимірювання (валовий прибуток, чистий прибуток, матеріальні витрати, амортизація тощо);

– факторні ознаки мають бути лінійно незалежними;

– їх значення визначаються за даними поточної та оперативної звітності (квартальні, річні звіти, диспетчерські документи тощо).

Методи регресії вимагають великої кількості вхідної інформації і чималих навичок в її статистичній обробці. Тому зазвичай ці методи використовуються в бізнесі, коли прогноз, отриманий більш простими і дешевими методами, не дає якості, яке влаштовує компанію.

Машинне навчання. Для подолання проблеми складності побудови регресійних моделей було розроблено різні технології інтелектуального аналізу даних, що дозволяють виймати корисні знання із баз даних. Ці технології об'єдналися в окремих мультидисциплінарний напрямок й отримали назву машинне навчання (machine learning – ML). Особливістю методів машинного навчання є не прямий розв'язок задачі, а навчання на множині подібних прикладів, що дозволяє використовувати ці методи для обробки великих обсягів даних та виявляти в них нові, нетривіальні, корисні та доступні для інтерпретації знання (Кононова, 2020, с. 8-14).

В машинному навчанні розрізняють види алгоритмів (Suthaharan, 2016, с. 237-305):

1. Алгоритми керованого навчання. Є найпоширенішим видом алгоритмів машинного навчання. Вони широко використовуються для прогнозування майбутніх результатів і класифікації даних. До прикладів алгоритмів керованого навчання відносяться лінійна регресія, дерева рішень, Random Forest та опорні векторні машини. Основна перевага цього типу навчання полягає в тому, що воно дозволяє точно прогнозувати та класифікувати дані, проте для його успішної роботи потрібна значна кількість позначених навчальних даних.

2. Алгоритми неконтрольованого навчання – використовуються для виявлення шаблонів і груп даних без міток. Зазвичай їх використовують для кластеризації, зменшення розмірності і виявлення аномалій. Серед таких алгоритмів можна виділити кластеризацію методом k-середніх, ієрархічну кластеризацію

та виявлення аномалій. Основною перевагою неконтрольованого навчання є те, що воно не вимагає наявності міток або великого обсягу навчальних даних, які потрібні для контрольованого навчання. Однак результати можуть бути складні для інтерпретації.

3. Алгоритми глибокого навчання – використовують штучні нейронні мережі для розв'язання складних завдань, таких як розпізнавання зображень, обробка природної мови та автономне водіння. Прикладами алгоритмів глибокого навчання є згорткові нейронні мережі, рекурентні нейронні мережі та мережі довготривалої короткочасної пам'яті. Основною перевагою глибокого навчання є здатність до вирішення складних завдань з високою точністю. Проте, для досягнення успіху цей підхід вимагає великих обсягів даних і може бути витратним з точки зору обчислень.

Отже, до переваг регресійних моделей та машинного навчання можна віднести можливість врахування великої кількості змінних та факторів та встановлення тісноти зв'язку між ними. Недоліками є складність в реалізації та складність інтерпретування результатів прогнозу.

Оцінка результатів роботи методів прогнозування. Для оцінки результатів роботи методів прогнозування, а також для порівняння результатів роботи методів між собою використовують похибку прогнозу і точність прогнозування. Ці показники є оберненими, тобто точність прогнозування це 100% мінус похибка прогнозу (Бутакова, 2010, с. 150-153). Нижче будуть розглянуті методи обчислення похибки прогнозу.

Найпростішим показником похибки прогнозу є відхилення факту від прогнозу в кількісному вираженні.

На практиці розраховують похибку прогнозування для кожної окремої позиції, а також розраховують середню похибку прогнозування. Наведені нижче загальні показники помилок стосуються саме середніх помилок прогнозування.

До них відносяться (Юрченко, 2018, с. 18-23):

MAPE – середній відсоток абсолютної похибки

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n \frac{|Z(t) - \hat{Z}(t)|}{Z(t)} * 100\% \quad (1)$$

де $Z(t)$ – фактичне значення часового ряду, а $\hat{Z}(t)$ – прогнозне значення.

Ця оцінка застосовується до часових рядів, фактичні значення яких набагато більше 1.

Наприклад, оцінки похибки прогнозування потужності майже у всіх статтях вказані як значення MAPE.

Якщо фактичні значення часового ряду близькі до 0, то в знаменнику з'явиться дуже маленьке число, яке зробить значення MAPE близьким до нескінченності – це не зовсім правильно. Для рядів, які містять значення близькі до нуля, застосовується наступна оцінка помилок прогнозування.

MAE – середня абсолютна похибка

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n |Z(t) - \hat{Z}(t)| \quad (2)$$

Крім цих методів, іноді використовуються і інші оцінки похибок, які менш популярні, але також застосовні.

ME – Середня помилка

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n (Z(t) - \hat{Z}(t)) \quad (3)$$

Є й інша назва цього показника – Bias (англ. – зміщення) демонструє величину відхилення, а також в яку сторону прогноз продажів відхиляється від фактичної потреби. Цей показник показує, оптимістичний чи песимістичний прогноз. Тобто негативне значення зміщення свідчить про те, що прогноз був завищений (реальна потреба була нижче), і, навпаки, позитивне значення того, що прогноз був занижений. Числове значення показника визначає величину відхилення (зміщення).

MSE – помилка RMS

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n (Z(t) - \hat{Z}(t))^2 \quad (4)$$

RMSE – квадратний корінь середньоквадратичної похибки кореня

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (5)$$

SD – стандартне відхилення

$$SD = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n (\hat{Z}(t) - ME)^2 \quad (5)$$

де ME – середня похибка, визначена за формулою вище.

Чим менше значення цих величин, тим вища якість прогнозу. На практиці ці характеристики використовують досить часто. Даний підхід дає якісні результати, якщо на періоді прогнозу не виникають принципово нові закономірності. На підставі критеріїв MAPE та RMSE можна дійти висновку стосовно загального рівня похибки моделі шляхом їх порівняння. Цей рівень наведений у табл. 1 (Гаркуша, 2012. с. 540-542).

Таблиця 1

Похибка прогнозу в залежності від MAPE, RMSPE

MAPE, RMSE	Точність прогнозу
Менше 10%	Висока
10–20%	Добра
20–50%	Задовільна
Більше 50%	Незадовільна

Важко обговорених вище характеристик точності прогнозів є їх залежність від обраних одиниць виміру. Було б корисним указати безрозмірний показник, аналогічний до коефіцієнта кореляції. Одним з таких показників є коефіцієнт невідповідності Тейла, чисельником якого є середньоквадратична похибка прогнозу, а знаменник дорівнює квадратному кореню з середнього квадрата фактичних та оцінних значень (Кондіус, 2018):

$$U = \frac{\sqrt{\sum (\hat{Z}(t) - Z(t))^2 / n}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Z(t)^2 + \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \hat{Z}(t)^2}} \quad (6)$$

Перевага коефіцієнта Тейла полягає в тому, що його значення завжди знаходяться в межах від нуля до одиниці. Якщо всі прогнози є абсолютно точними, то значення коефіцієнта Тейла (U) буде дорівнювати нулю. Якщо всі прогнози дорівнюють нулю, а жодне з фактичних значень не дорівнює нулю, або навпаки, U буде дорівнювати одиниці. Таким чином, низьке значення U свідчить про точність прогнозу, але максимальне значення не існує. Значення, яке дорівнює одиниці, відповідає ситуації, коли всі прогнозні значення дорівнюють нулю, що є непрактичним при прогнозуванні номінальних величин. Однак, в розгляді змін такий прогноз відповідає моделі "без змін". Значення більше одиниці вказують на те, що прогноз є гіршим, ніж прогноз "без змін".

По суті, основним завданням роботи будь якого алгоритму прогнозу є отримання результатів мінімальною похибкою прогнозу. Але, як видно з описаних вище формул, їх використання передбачає лінійний розвиток подій: розрахунок прогнозу, створення замовлення на основі прогнозу, виконання замовлення поставальником вчасно і в повному обсязі, вчасне виставлення товару на полку магазину, відсутність збоїв в роботі самого магазину й т.ін. Але, якщо події розвиваються нелінійно, наприклад, поставальник не виконає замовлення вчасно, або товар не буде виставлений на полку, тоді по товару будуть відсутні фактичні продажі, що призведе до збільшення похибки прогнозу

й зменшення його точності. Таким чином, нелінійні події напряму впливають на результат розрахунку показників якості прогнозу, але при цьому підхід до розрахунку показників передбачає тільки лінійний розвиток подій.

Висновки та перспективи подальших досліджень. В результаті дослідження було проведено аналіз публікації існуючих методів прогнозування попиту та способів оцінки їх якості. Була описана класифікація методів прогнозування, принципи роботи евристичних методів, екстраполяції та методів

регресії, розглянуті види алгоритмів машинного навчання та проаналізовані переваги та недоліки різних методів прогнозування попиту.

Також були описані показники, при допомозі яких оцінюється якість прогнозу. Був зазначений вплив нелінійних подій на результат розрахунку показників якості прогнозу, який приводить до неоднозначності трактування цих показників. В наступних роботах пропонується дослідити види нелінійних подій, та методи обчислення ступеню їх впливу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гаркуша Н.М., Цуканова О.В., Горошанська О.О. Моделі і методи прийняття рішень в аналізі та аудиті: навч. посібник. 2-ге вид., К.: Знання, 2012. С. 591.
2. Юрченко М.Є. Прогнозування та аналіз часових рядів. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи студентів спеціальності 051 «Економіка» освітня програма «Економічна кібернетика», «Економічна аналітика». Чернігів: ЧНТУ, 2018. С. 88.
3. Гече Ф.Е., Мулеса О.Ю., Гриненко В.В., Смоланка В.Ю. Знаходження найвпливовіших факторних ознак при побудові лінійних регресійних моделей. *Technology Audit and Production Reserves*, 3(2(47)), 2019. Р. 20–25. URL: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.175020>
4. Вітинський П.Б., Ткаченко Р.О. Нейроподібна структура для задач прогнозування в умовах коротких вибірок даних. *Науковий вісник НЛТУ України*, т. 29, No. 5, 2019. С. 147–150.
5. Макаренко М.В., Гудкова В.П., Аджавенко М.М., Приймук О.Р., Творонович В.І. Економічне прогнозування: навч. посібник. К.: ДЕТУТ, 2014. С. 161.
6. Mescon M.H., Albert M., Khedouri F. *Management*. Harpercollins College Div, 1988. P. 777.
7. Терещенко О.О. Фінансова діяльність суб'єктів господарювання: навч. посібник. К.: КНЕУ, 2003. С. 554.
8. Чубукова О.Ю., Рубан В.Я., Антошкіна Л.І. Економічна кібернетика: підручник. За заг. ред. д-ра екон. наук, проф. О.Ю. Чубукової. Донецьк: ЮгоВосток, 2014. С. 454.
9. Бутакова М.М. Економічне прогнозування: методи і прийоми практичних розрахунків: навчальний посібник. 2-е вид., випр. М.: КНОРУС, 2010. С. 168.
10. Smeekes S., Wijler E. Macroeconomic forecasting using penalized regression methods. *International Journal of Forecasting*, 34 (3), 2018. P. 408–430. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2018.01.001>
11. Alvarez-Diaz M., Alvarez A. Forecasting exchange rates using local regression. *Applied Economics Letters*, 17 (5), 2010. P. 509–514. URL: <https://doi.org/10.1080/13504850801987217>
12. Кононова К.Ю. Машинне навчання: методи та моделі: підручник для бакалаврів, магістрів та докторів філософії спеціальності 051 «Економіка». Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2020. С. 301.
13. Suthaharan S. *Machine Learning Models and Algorithms for Big Data Classification: Thinking with Examples for Effective Learning*. Springer, 2016. P. 556.
14. Кондіус І.С. Електронний посібник з дисципліни: Фінансове прогнозування. Луцький національний технічний університет, Луцьк, 2018. С. 160.

REFERENCES:

1. Harkusha, N. M., Tsukanova, O. V., & Horoshanska, O. O. (2012). *Modeli i metody pryiniattia rishen v analizi ta audyti: navch. posibnyk (2-he vyd.)* [Models and methods of decision-making in analysis and audit: a study guide (2nd edition)]. Kyiv: Znannia [in Ukrainian].
2. Yurchenko, M. Ye. (2018). *Prohnozuvannia ta analiz chasovykh riadiv. Methodychni vказivky do praktychnykh zaniat ta samostiinoi roboty studentiv spetsialnosti 051 «Ekonomika» osvitnia prohrama «Ekonomichna kibernetyka», «Ekonomichna analityka»* [Time series forecasting and analysis. Methodical instructions for practical classes and independent work of students of specialty 051 «Economics» educational program «Economic cybernetics», «Economic analytics»]. Chernihiv: ChNTU [in Ukrainian].
3. Heche, F. E., Mulesa, O. Yu., Hrynenko, V. V., & Smolanka, V. Yu. (2019). *Znakhodzhennia naivplyvovishykh faktornykh oznak pry pobudovi liniinykh rehresiinykh modelei* [Finding the most influential factors when building

linear regression models]. *Technology Audit and Production Reserves*, 3(2(47)), 20-25 DOI:10.15587/2312-8372.2019.175020 [in Ukrainian].

4. Vitynskyi, P. B., & Tkachenko, R. O. (2019). Neiropodobna struktura dlia zadach prohnozuvannia v umovakh korotkykh vybirok danykh [A neural-like structure for forecasting problems in conditions of short data samples]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. – Scientific bulletin of NLTU of Ukraine, 29(5), 147-150 [in Ukrainian].

5. Makarenko, M. V., Hudkova, V. P., Adzhavenko, M. M., Pryimuk, O. R., & Tvoronovych, V. I. (2014). *Ekonomichne prohnozuvannia: navch. Posibnyk* [Economic forecasting: a study guide]. Kyiv: DETUT [in Ukrainian].

6. Mescon, M. H., Albert, M., & Khedouri, F. (1988). *Management*. Harpercollins College Div.

7. Tereshchenko, O. O. (2003). *Finansova diialnist subiektiv hospodariuvannia: navch. posibnyk* [Financial activity of business entities: study guide]. Kyiv: KNEU [in Ukrainian].

8. Chubukova, O. Yu., Ruban, V. Ya., & Antoshkina, L. I. (Red.). (2014). *Ekonomichna kibernetyka: pidruchnyk* [Economic cybernetics: a textbook]. Donetsk: YuhoVostok [in Ukrainian].

9. Butakova, M. M. (2010). *Ekonomichne prohnozuvannia: metody i pryomy praktychnykh rozrakhunkiv: navchalnyi posibnyk (2-e vyd., vypr.)* [Economic forecasting: methods and techniques of practical calculations: study guide. 2nd ed., ed]. M: KNORUS [in Ukrainian].

10. Smeekes, S., & Wijler, E. (2018). Macroeconomic forecasting using penalized regression methods. *International Journal of Forecasting*, 34(3), 408-430. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2018.01.001

11. Alvarez-Diaz, M., & Alvarez, A. (2010). Forecasting exchange rates using local regression. *Applied Economics Letters*, 17(5), 509-514. DOI:10.1080/13504850801987217

12. Kononova, K. Yu. (2020). *Mashynne navchannia: metody ta modeli: pidruchnyk dlia bakalavriv, mahistriv ta doktoriv filosofii spetsialnosti 051 «Ekonomika»* [Machine learning: methods and models: a textbook for bachelors, masters and doctors of philosophy, specialty 051 «Economics»]. Kharkiv: KhNU imeni V. N. Karazina. – Kharkiv: V.N. Karazin KhNU [in Ukrainian].

13. Suthaharan, S. (2016). *Machine Learning Models and Algorithms for Big Data Classification: Thinking with Examples for Effective Learning*. Springer.

14. Kondius, I. S. (2018). *Elektronnyi posibnyk z dystsypliny: Finansove prohnozuvannia* [Electronic manual for the discipline: Financial forecasting.]. Lutskyyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet. – Lutsk National Technical University [in Ukrainian].