

Електронний журнал «Ефективна економіка» включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019). Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292.
Ефективна економіка. 2024. № 1.

DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.1.65>

УДК 338.2, 331.5

О. В. Стець,

к. ф.-м. н., доцент, доцент кафедри економічної кібернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5514-3533>

А. О. Кельбас,

магістрант кафедри економічної кібернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-4339-3526>

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ІЄРАРХІЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ЦИФРОВІЗАЦІЇ В УКРАЇНІ

O. Stets,

PhD in Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor, Senior Lecturer of the Department of Economic Cybernetics, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

A. Kelbas,

Master’s student of the Department of Economic Cybernetics, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

ANALYSIS OF THE HIERARCHICAL FORECASTING METHODS OF THE LEVEL OF DIGITALIZATION IN UKRAINE

Цифрові технології відіграють суттєву роль в житті людини. Поширення цифровізації охоплює все більше галузей та докорінно змінює підходи до організації праці. Бізнес, держава та населення напряму залежать від цих змін, тому важливо розуміти майбутні тенденції для вибору кращої стратегії ведення будь-якої діяльності.

У статті досліджено поточний вплив цифрових технологій на сучасний ринок праці, зроблено аналіз тенденцій цифровізації у досліджуваних галузях та оптимізації процесів за рахунок новітніх технологій. А також проаналізовано особливості цифрових трансформаційних процесів в економіці України, зокрема на ринку праці та розроблено економіко-математичну модель ієрархічного прогнозування часових рядів, що характеризують рівень цифровізації. Для отримання прогнозу проведено моделювання із використанням трьох ієрархічних підходів та використано два методи прогнозування часових рядів.

Digital technologies are playing a more important function in human life than ever before. The spread of digitalisation is covering an increasing number of industries and is fundamentally changing the way work is organised. These gradual changes directly affect the country's business, government and the entire population, so it is important to understand future trends so that you can choose the most appropriate strategy for any business.

The current level of digitalisation in Ukraine is characterised by significant positive progress, but at the same time, there is still much potential for further development and improvement. One of the main advantages is the availability of qualified professionals in our country. Forecasting the level of digitalisation is important for understanding prospects and planning further development. This will help identify priority areas of digitalisation, estimate the resources required, and set realistic deadlines for achieving goals. Further digital transformation opens up significant opportunities for Ukraine in terms of improving the competitiveness of the economy, increasing labour productivity and improving the quality of services.

At the same time, there are also certain risks, such as social inequality, cyber threats, violations of the right to privacy, etc. Comprehensive research and forecasting of the level of digitalisation will help to maximise the positive effect of digital transformation.

This publication examines the impact of digital technologies on the modern labour market in Ukraine, analyses the main trends in the digitalisation of the industries under study and the optimisation of processes using the latest technologies. The article also analyses the peculiarities of digital transformation processes in the Ukrainian economy, in particular in the labour market, and develops an economic and mathematical model for hierarchical forecasting of time series characterising the level of digitalisation. To build the forecast, the article conducts modelling using three hierarchical approaches and applies two methods of time series forecasting.

Ключові слова: *цифровізація, ринок праці, цифрові технології часові ряди, прогнозування.*

Keywords: *digitalisation, labour market, digital technologies, time series, forecasting.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Поточний рівень цифровізації України характеризується значним прогресом і в той же час існує ще багато можливостей для подальшого розвитку. Однією з головних переваг є наявність кваліфікованих кадрів. Прогнозування рівня цифровізації є важливим для розуміння перспектив і планування подальшого розвитку. Це дозволить визначити пріоритетні напрямки для цифровізації, оцінити необхідні ресурси, встановити реалістичні строки досягнення цілей.

Подальша цифрова трансформація несе значні можливості для України в плані підвищення конкурентоспроможності економіки, продуктивності праці, якості послуг. Водночас існують і певні ризики - соціальна нерівність,

кіберзагрози, порушення приватності тощо.

Тому вкрай важливо здійснювати цифровізацію виважено, з урахуванням усіх аспектів як позитивних можливостей, так і потенційних загроз. Комплексне дослідження і прогнозування рівня цифровізації сприятиме досягненню максимального позитивного ефекту від цифрової трансформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання впливу цифровізації на ринок праці є актуальним та досить важливим. Під час проведення дослідження було проаналізовано праці багатьох вітчизняних та зарубіжних авторів і дослідників. Питанням цифровізації та цифрової економіки присвітили свої праці такі науковці як Б. Міллер, Л. Вільямс, Н. Ідріс та А. Ахмед. Серед вітчизняних науковців можна назвати Н.М. Краус, С.В. Коляденко, В.І. Ляшенко, О.С. Вишневський, Т.І. Олешко, Н.В. Касьянова [6] та інші. Питанню розробки методу прогнозування ієрархічних рядів присвятили свої праці Роб Джей Хайндман [3], Джордж Атанасопулос, Ерік Левінсон [1], Ранія Мохамед [4] та інші.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Основна мета дослідження полягає в проведенні аналізу методів прогнозування ієрархічних часових рядів для рівня заміщення цифровими технологіями людську працю та визначення найбільш ефективного підходу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Останнім часом цифрові технології набули значного поширення. Кожного року провідні ІТ-компаній презентують нові розробки та підходи, що можуть бути застосовані у всіх сферах діяльності людини. Тому розуміння нюансів цифровізації та її розвитку стає необхідним. У зв'язку з такими швидкоплинними змінами найбільш доцільним методом дослідження є аналіз часових рядів.

Використання даного підходу дозволить зрозуміти основні тенденції поширення цифрових технологій, швидкість зміни, реакцію на ті чи інші трансформації на ринку, а головною перевагою стане можливість планування на основі створених прогнозів.

Прогнозування ієрархічних часових рядів — це процес генерування узгоджених прогнозів (або узгодження неузгоджених прогнозів), що дозволяє прогнозувати індивідуальні часові ряди, але зберігаючи зв'язки всередині ієрархії [1].

Існує чотири поширені методи прогнозування [2]:

1. Підхід «знизу вгору» (bottom-up). Висхідне прогнозування передбачає прогнозування найбільш детального рівня ієрархії, а потім агрегування для створення оцінок для вищих рівнів [2].

Перевагою методу є збереження інформації в процесі агрегації, оскільки прогнози отримують на найнижчому рівні ієрархії. Однак цей підхід ігнорує зв'язки між серіями і зазвичай погано працює на високоагрегованих даних. Розрахунки також потребують великого набору даних, через необхідність прогнозування найбільш детального часового ряду ієрархії. Крім того, інформація на нижчих рівнях має тенденцію бути більш шумною, що потенційно може призвести до зниження загальної точності прогнозу.

2. Підхід «згори вниз» (top-down). Низхідний метод полягає в прогнозуванні найвищого рівня ієрархії з подальшим розподілом прогнозів, щоб отримати оцінки для нижчих рівнів зазвичай з використанням історичних пропорцій [2].

Завдяки своїй простоті цей метод використовують найчастіше при прогнозуванні ієрархічних рядів. Він забезпечує досить надійні прогнози для вищих рівнів. Однак має тенденцію давати менш точні прогнози на нижніх рівнях ієрархії, оскільки історичні пропорції не завжди повністю відображають поточну поведінку.

3. Проміжний підхід (middle-out). Даний метод є комбінацією підходів «знизу вгору» та «згори вниз», і його можна використовувати в ієрархіях, що мають принаймні три рівні. Прогнозування починається з середнього рівня, тоді прогнозуються вищі рівні за допомогою підходу «знизу вгору», а нижчі рівні — за підходом «згори вниз». Це є компромісом між двома попередніми способами і забезпечує відносне збереження даних [2].

4. Оптимальний комбінований підхід (optimal combination). Суть методу полягає в прогнозуванні даних незалежно на всіх рівнях, використовуючи всі зв'язки, що існують в ієрархії. Окремі прогнози узгоджуються за допомогою моделі лінійної регресії. Нові узгоджені прогнози є зваженою сумою прогнозів усіх рівнів, вагові коефіцієнти яких визначаються шляхом вирішення системи рівнянь, які забезпечують дотримання природних зв'язків між різними рівнями ієрархії [2].

Оптимальний підхід узгодження може дати більш точні прогнози, ніж інші методи, забезпечуючи неупереджені прогнози на всіх рівнях з мінімальною втратою інформації, використовуючи переваги зв'язків між часовими рядами для пошуку закономірностей, наприклад таких як сезонні коливання. Нижчі рівні більше впливають на вищі. Крім того, кожен прогноз створюється незалежно, тобто на кожному рівні можна використовувати різні методи прогнозування (наприклад, ARIMA, ETS, тощо).

В загальному вигляді ієрархічні прогнози можна представити наступним чином [3]:

$$\widetilde{Y}_n(h) = SP\widehat{Y}_n(h) \quad (1)$$

де S – сумуюча матриця розмірності $m \times m_K$;

P – матриця розмірності $m_K \times m$ і змінюється залежно від ієрархічного підходу.

Ці лінійні комбінації «узгоджені» в так, що прогнози нижчого рівня підсумовуються, щоб отримати прогнози вищого рівня. Дія матриці P полягає у вилученні та об'єднанні відповідних елементів базових прогнозів $\widehat{Y}_n(h)$, які потім підсумовуються за S , щоб отримати остаточні ієрархічні прогнози, $\widetilde{Y}_n(h)$. Висхідні прогнози отримуються за допомогою наступної формули:

$$P = [0_{m_K \times (m-m_K)} | I_{m_K}] \quad (2)$$

де $0_{l \times k}$ — нульова матриця порядку $l \times k$;

I_{m_K} — одинична матриця порядку $k \times k$.

У цьому випадку матриця P виділяє лише прогнози нижнього рівня з $\widehat{Y}_n(h)$, які потім підсумовуються за S , щоб отримати прогнози знизу вгору.

Нисхідний підхід є іншим поширеним підходом в ієрархічному прогнозуванні; підхід дезагрегує прогнози загального ряду та розподіляє їх вниз по ієрархії залежно від пропорцій історичних даних.

Прогнози зверху вниз отримують за допомогою наступної рівності:

$$P = [p | 0_{m_K \times (m-1)}] \quad (3)$$

де $p = [p_1, p_2, \dots, p_{m_K}]'$ — вектор пропорцій, сума яких дорівнює одиниці.

Вплив матриці P тут полягає в розподілі загального прогнозу на ряди найнижчого рівня. Різні методи висхідного прогнозування призводять до різних векторів пропорційності p .

Оптимальний комбінований метод розглядає загальний прогноз як рівняння регресії, що враховує часові ряди всіх рівнів і обчислюється наступним чином [4]:

$$\widehat{Y}_n(h) = S\beta_n(h) + \varepsilon_h \quad (4)$$

В даному випадку оцінка вектору $\beta_n(h)$ дозволяє розглянути рівність (4) як рівняння регресії та отримати прогнози одночасно для всіх рівнів ієрархії.

$$\widehat{Y}_n(h) = S\hat{\beta}_n(h) = SP\widehat{Y}_n(h) \quad (5)$$

$$P = (S'\Sigma_h^+ S)^{-1} S'\Sigma_h^+ \quad (6)$$

Остаточна формула матиме вигляд:

$$\widetilde{Y}_n(h) = S(S'S)^{-1} S'\widehat{Y}_n(h) \quad (7)$$

Даний підхід дозволить отримати прогнози для різних рівнів ієрархічної структури, шляхом мінімізації помилок і призначення вагових коефіцієнтів окремим прогнозам.

Можна виокремити декілька галузей зміни в яких вже зараз можна спостерігати в Україні.

1. Виробництво та мануфактура: велику частину роботи на виробництві виконують різні види машин і устаткування, промислові роботи

можуть бути залучені до збірки, монтажу, маніпуляції матеріалами, пакування та інші [5];

2. Транспорт і логістика: вантажні перевезення, доставка їжі, таксі можуть бути автоматизовані за допомогою безпілотних автомобілів і дронів. Це знизить втрати, а також підвищить безпеку на дорогах. Використання сенсорів та систем GPS для відстеження руху товарів в реальному часі, дозволяє підвищити точність в ланцюзі постачання [5];

3. Каси й обслуговування клієнтів: розповсюдження автоматичних кас у магазинах, ресторанах та інших закладах вже зменшило потребу у людському персоналі. Штучний інтелект може виконувати функції обслуговування клієнтів через чат-боти, віртуальних помічників та голосові інтерфейси [6];

4. Банки та фінансові послуги: в області фінансів штучний інтелект може використовуватися для автоматизації операцій, ризик-аналітики, портфельного управління, обробки даних тощо. Також він може допомагати в обслуговуванні клієнтів, аналізі ринку і прогнозуванні. Майже в кожному банку в Україні є свій мобільний додаток, який дозволяє клієнтам здійснювати банківські операції, переглядати баланс, платити рахунки, отримати кредит та здійснювати грошові перекази зі свого смартфона чи іншого пристрою.

5. Державні послуги: Україна зробила неймовірний прорив у сфері цифровізації державних послуг. Завдяки ініціативі «Держава у смартфоні» був створений портал «Дія». Це єдиний державний веб-портал електронних послуг, який дозволяє громадянам та бізнесу отримувати доступ до широкого спектру адміністративних та інших публічних послуг онлайн [7].

На основі попереднього переліку було сформовано ієрархію наступного вигляду:



Рисунок 1. Ієрархія рівня цифровізації за сферами економіки в Україні

Джерело: побудовано автором.

Для отримання прогнозу було проведе моделювання із використанням трьох ієрархічних підходів: «згори вниз», «знизу вгору» та «оптимальний комбінований метод», та використано два методи прогнозування часових рядів: ARIMA та метод експоненційного згладжування.

Для оцінки ефективності прогнозування використано наступні метрики:

1. ME (Mean Error) – відносна похибка. Це середнє значення різниці між прогнозованими і спостережуваними значеннями.
2. RMSE (Root Mean Squared Error) – корінь середньоквадратичної помилки. Це корінь середнього квадрату всіх відхилень між прогнозованими і спостережуваними значеннями.
3. MAE (Mean Absolute Error) – середня абсолютна помилка. Це середнє арифметичне всіх абсолютних відхилень між прогнозованими і спостережуваними значеннями.
4. MAPE (Mean Absolute Percentage Error) – середня абсолютна відсоткова помилка. Це середнє арифметичне відсотків абсолютних відхилень між прогнозованими і спостережуваними значеннями.
5. MPE (Mean Percentage Error) – середня відсоткова помилка. Це середнє значення відсоткових відхилень між прогнозованими і спостережуваними значеннями.

6. MASE (Mean Absolute Scaled Error) – середня абсолютна масштабована помилка. Даний показник показує ефективність моделі в порівнянні з простою моделлю, яка використовує попередні спостереження.

Таблиця 1. Відносні похибки (ME)

	"Знизу вгору"		"Згори вниз"		Оптимальний комбінований	
	ARIMA	ETS	ARIMA	ETS	ARIMA	ETS
Торгівля	0,206	0,109	0,038	0,011	0,164	0,101
Виробництво	0,455	0,149	0,047	0,447	0,300	0,174
Державні послуги	0,273	0,120	0,024	0,019	0,203	0,103
Банківська справа і фінанси	1,302	0,287	0,428	0,803	0,107	0,423
Транспорт і логістика	0,000	0,600	0,439	0,381	0,548	0,406
Середнє значення	0,447	0,253	0,195	0,332	0,264	0,241
	0,350		0,264		0,253	

Джерело: складено на основі власних досліджень автора.

Отже, найменші середні значення за метрикою ME (відносна похибка) для оптимального комбінованого методу спостерігається для сектору "Торгівля" - 0,101 за ETS та 0,164 за ARIMA. Найбільші відносні похибки для цього методу у секторі "Банківська справа та фінанси" - 0,423 за ETS та 0,107 за ARIMA.

Метод «знизу вгору» демонструє найкращі результати для сектору «Державні послуги» за обома моделями прогнозування - 0,019 та 0,024. Найгірші результати для цього методу у секторі "Банківська справа та фінанси" - 0,287 за ETS та 1,302 за ARIMA.

Метод «згори вниз» має найменші похибки у секторі «Державні послуги» - 0,011 за ETS та 0,038 за ARIMA. Найбільші похибки для цього методу спостерігаються у секторі "Банківська справа та фінанси" за моделлю ETS - 0,803.

Можна зробити висновок, що за показником відносної похибки оптимальний комбінований метод демонструє найточніші результати для усіх секторів економіки.

Таблиця 2. Середньоквадратичні похибки (RMSE)

Галузь	"Знизу вгору"		"Згори вниз"		Оптимальний комбінований	
	ARIMA	ETS	ARIMA	ETS	ARIMA	ETS
Торгівля	0,281	0,181	0,140	0,173	0,231	0,178
Виробництво	0,541	0,323	0,388	0,590	0,374	0,341
Державні послуги	0,362	0,269	0,221	0,281	0,286	0,265
Банківська справа і фінанси	1,500	0,758	0,660	1,172	0,720	0,853
Транспорт і логістика	1,016	0,906	0,729	0,763	0,741	0,771
Середнє значення	0,740	0,487	0,428	0,596	0,470	0,482
	0,614		0,512		0,476	

Джерело: складено на основі власних досліджень автора.

За метрикою RMSE (середньоквадратична похибка) найменше середнє значення середньоквадратичної похибки також демонструє оптимальний комбінований метод - 0,476.

Для методу «знизу вгору» цей показник становить 0,614 за ARIMA та 0,487 за ETS. Метод «згори вниз» має середню середньоквадратичну похибку 0,740 за ARIMA та 0,596 за ETS.

У межах оптимального методу моделі ARIMA і ETS показують близькі результати - 0,470 і 0,482 відповідно. Найменші середньоквадратичні похибки для даного методу у секторах «Торгівля» та «Державні послуги».

Найбільші похибки спостерігаються у секторі "Транспорт та логістика" для всіх методів.

Таким чином, за середньоквадратичною похибкою оптимальний комбінований метод знову демонструє найкращі результати.

Таблиця 3. Середні абсолютні помилки (MAE)

	"Знизу вгору"		"Згори вниз"		Оптимальний комбінований	
	ARIMA	ETS	ARIMA	ETS	ARIMA	ETS
Торгівля	0,206	0,126	0,123	0,162	0,164	0,125
Виробництво	0,455	0,269	0,312	0,464	0,324	0,281
Державні послуги	0,273	0,180	0,195	0,224	0,203	0,181
Банківська справа і фінанси	1,302	0,616	0,635	0,835	0,594	0,673
Транспорт і логістика	0,760	0,600	0,586	0,503	0,591	0,522
Середнє значення	0,599	0,358	0,370	0,438	0,375	0,356
	0,479		0,404		0,366	

Джерело: складено на основі власних досліджень автора.

За метрикою MAE (середня абсолютна помилка) для методу ARIMA найкращі результати також демонструє підхід «згори вниз», а для ETS – «знизу вгору».

Найменшу середню помилку MAE для обох методів показує оптимальний комбінований підхід - 0,366 для ARIMA і 0,356 для ETS.

За середнім значенням по всіх секторах, ETS з оптимальним комбінованим підходом знову демонструє кращу точність (0,356) в порівнянні з ARIMA (0,366).

Найбільші помилки MAE для обох методів спостерігаються в секторі "Банківська справа і фінанси", проте в ETS вони менші.

Отже, аналізуючи метрику MAE, можна зробити висновок, що метод ETS з оптимальним комбінованим підходом показує в середньому кращу точність прогнозування порівняно з ARIMA.

Таблиця 4. Абсолютна відсоткова похибка (MAPE)

Галузь	"Знизу вгору"		"Згори вниз"		Оптимальний комбінований	
	ARIMA	ETS	ARIMA	ETS	ARIMA	ETS
Торгівля	7,850	4,967	5,164	6,981	6,235	4,932
Виробництво	6,697	4,339	4,752	7,704	4,938	4,541
Державні послуги	7,733	5,303	5,824	7,317	5,905	5,432
Банківська справа і фінанси	10,558	6,091	5,866	8,770	5,672	6,795
Транспорт і логістика	15,173	9,748	11,917	8,762	12,060	9,026
Середнє значення	9,602	6,090	6,705	7,907	6,962	6,145
	7,846		7,306		6,554	

Джерело: складено на основі власних досліджень автора.

За метрикою MAPE (абсолютна відсоткова похибка) найменше середнє значення показує оптимальний комбінований метод - 6,554. Для методу "знизу вгору" цей показник дорівнює 7,846 за ARIMA та 6,090 за ETS. Метод "згори вниз" демонструє середню абсолютну похибку 9,602 за ARIMA та 7,907 за ETS.

В межах оптимального підходу моделі ARIMA і ETS знову показують подібні результати - 6,962 та 6,145 відповідно.

Найменші абсолютні похибки для цього методу спостерігаються у секторах "Торгівля" та "Виробництво". Найбільші похибки зафіксовані у секторі "Транспорт та логістика" для всіх підходів.

Отже, за показником абсолютної відсоткової похибки оптимальний комбінований метод знову є найефективнішим. Це доводить, що для отримання найточнішого прогнозу доцільно використовувати даний метод моделювання.

Таблиця 5. Середня відсоткова помилка (MPE)

	"Знизу вгору"		"Згори вниз"		Оптимальний комбінований	
	ARIMA	ETS	ARIMA	ETS	ARIMA	ETS
Торгівля	7,850	4,114	1,373	0,375	6,235	3,762
Виробництво	6,697	2,675	0,017	7,477	4,621	3,070
Державні послуги	7,733	3,030	1,216	1,527	5,905	2,472
Банківська справа і фінанси	10,558	3,626	4,277	8,523	1,996	4,917
Транспорт і логістика	3,827	9,748	9,819	5,697	11,439	6,128
Середнє значення	7,333	4,638	3,341	4,720	6,039	4,070
	5,986		4,030		5,055	

Джерело: складено на основі власних досліджень автора.

За метрикою MPE (середня відсоткова помилка) для методу ARIMA найкращі результати показує підхід "згори вниз", а для методу ETS - підхід "знизу вгору".

Найменшу середню помилку MPE для обох методів демонструє оптимальний комбінований підхід - 5,05% для ARIMA і 4,04% для ETS.

За середнім значенням по усіх секторах, метод ETS з оптимальним комбінованим підходом показує кращі результати (4,06%), ніж ARIMA (5,06%).

Найбільші помилки для обох методів спостерігаються в секторі "Банківська справа і фінанси".

Таким чином, з точки зору метрики MPE, метод ETS з оптимальним комбінованим підходом демонструє в середньому кращу точність прогнозування, ніж метод ARIMA.

Таблиця 6. Середня абсолютна масштабована помилка (MASE)

	"Знизу вгору"		"Згори вниз"		Оптимальний комбінований	
	ARIMA	ETS	ARIMA	ETS	ARIMA	ETS
Торгівля	0,802	0,490	0,478	0,630	0,638	0,486
Виробництво	0,802	0,475	0,550	0,818	0,571	0,494
Державні послуги	0,802	0,528	0,575	0,659	0,597	0,533
Банківська справа і фінанси	0,801	0,379	0,391	0,514	0,366	0,414
Транспорт і логістика	1,013	0,800	0,782	0,671	0,788	0,696
Середнє значення	0,844	0,534	0,555	0,658	0,592	0,525
	0,689		0,607		0,558	

Джерело: складено на основі власних досліджень автора.

За метрикою MASE (середня абсолютна масштабована помилка) кращі результати для ARIMA показує підхід "згори вниз", а для ETS - "знизу вгору".

Найменше середнє значення MASE демонструє оптимальний комбінований підхід - 0,558 для ARIMA і 0,525 для ETS.

В середньому по всіх секторах ETS з оптимальним підходом знову показує кращу точність (0,525) ніж ARIMA (0,558).

Найбільші помилки MASE для обох методів спостерігаються в секторі "Транспорт і логістика".

Таким чином, аналізуючи усі метрики можна зробити загальний висновок, що метод експоненціального згладжування (ETS) з оптимальним комбінованим підходом демонструє в середньому кращу точність прогнозування, ніж метод авторегресійної інтегрованої ковзної середньої (ARIMA).

Висновки та перспективи подальших розвідок у даному напрямі.

Процес цифровізації з кожним роком набуває все нових темпів розвитку і поширюється на різноманітні сфери діяльності. І саме ринок праці буде одним з маркерів нових викликів та тенденцій діджиталізації серед яких: автоматизація рутинних завдань за допомогою цифрових технологій; зростання попиту на фахівців у сфері інформаційних технологій; розвиток нових форм зайнятості; необхідність безперервного навчання і підвищення кваліфікації; зміна організації та структури ринку праці.

Саме тому необхідно досліджувати різноманітні методи та підходи для розуміння та аналізу даних процесів, що допоможе розробити стратегію для прийняття управлінських рішень. Щоб досягти ефективних результатів необхідно комплексно підходити до питання цифровізації. Держава має розробити і реалізувати заходи щодо підготовки кадрів, створення нових робочих місць і розвитку цифрової економіки; створити систему освіти, яка готуватиме працівників до роботи в цифровому середовищі; сприяти розвитку підприємництва в галузях, пов'язаних з цифровими технологіями, надавати гранти та дотації ІТ-компаніям, які розробляють та впроваджують інноваційні технології.. Це допоможе створити нові робочі місця і стимулювати економічний розвиток.

Виконання цих кроків допоможе Україні використати можливості, які створюють цифрові технології, і подолати виклики, пов'язані з їх використанням

Література

1. Introduction to Hierarchical Time Series Forecasting. URL: <https://towardsdatascience.com/introduction-to-hierarchical-time-series-forecasting-part-i-88a116f2e2> (дата звернення: 20.12.2023 р.)
2. Hierarchical Time Series 101. URL: <https://medium.com/opex-analytics/hierarchical-time-series-101-734a3da15426> (дата звернення: 20.12.2023 р.)
3. Rob J Hyndman, Roman A Ahmed, George Athanasopoulos, Han Lin Shang. Optimal combination forecasts for hierarchical time series. URL:

<https://robjhyndman.com> (дата звернення: 05.12.2023 р.)

4. H. Mohamed R. Enhancing forecast accuracy using combination methods for the hierarchical time series approach. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287897> (дата звернення: 05.12.2023 р.)

5. Роботи проти людства: чверть населення може втратити роботу через ШІ. URL: <https://proit.org.ua/roboti-proti-liudstva-chviert-nasieliennia-mozhie-vtratiti-robotu-chieriez-shi/> (дата звернення: 10.12.2023 р.)

6. Олешко Т. І., Касьянова Н. В., Смерічевський С. Ф. Цифрова економіка : підручник Київ. : НАУ, 2022. 200 с. URL: <https://dspace.nau.edu.ua> (дата звернення: 05.12.2023 р.)

7. Офіційна сторінка портаду державних послуг «Дія». URL: <https://diia.gov.ua/services> (дата звернення: 19.12.2023 р.)

References

1. Lewinson, E. (2021), "Introduction to Hierarchical Time Series Forecasting – Part 1", available at: <https://towardsdatascience.com/introduction-to-hierarchical-time-series-forecasting-part-i-88a116f2e2> (Accessed 20 December 2023)

2. Palande, C. and Recasens, J (2019), "Hierarchical Time Series 101", available at: <https://medium.com/opex-analytics/hierarchical-time-series-101-734a3da15426> (Accessed 20 December 2023)

3. Hyndman, R.J Ahmed, R. A Athanasopoulos, G. and Shang, H. L. (2010), "Optimal combination forecasts for hierarchical time series", available at: <https://robjhyndman.com> (Accessed 5 December 2023)

4. Mohamed, R. H. (2023), "Enhancing forecast accuracy using combination methods for the hierarchical time series approach", available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287897> (Accessed 5 December 2023)

5. Vasylevs'ka, M. (2023), "Robots against humanity: a quarter of the population may lose their jobs to AI", available at: <https://proit.org.ua/roboti-proti-liudstva-chviert-nasieliennia-mozhie-vtratiti-robotu-chieriez-shi/> (Accessed 10 December 2023)

6. Oleshko, T.I. Kas'yanova, N.V. and Smerichevs'kyu, S.F. (2022), *Tsyfrova ekonomika* [Digital economy], NAU, Kyiv, Ukraine

7. The official page of the public services portal "Diya" (2023), available at: <https://diia.gov.ua> (Accessed 19 December 2023)

Стаття надійшла до редакції 07.01.2024 р.