

ДЕМКІВСЬКА ТЕТЯНА

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0002-2176-163X>e-mail: demkivskiy@gmail.com**ЧУПРИНКА НАТАЛІЯ**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0002-8952-7567>e-mail: chuprinka.nv@knutd.com.ua**ХОЛОД АРТЕМ**

Київський національний університет технологій та дизайну

e-mail: tepaz2109@gmail.com

СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ СЕЗОННОСТІ В ЧАСОВИХ РЯДАХ

В роботі вирішене завдання розроблення програмного забезпечення спрямованого на розв'язання задачі прогнозування часових рядів, які мають сезонний ефект на основі адитивних і мультиплікативних моделей. Виконано аналіз процесів, які можуть бути спрогнозовані за допомогою цих моделей. В першу чергу було здійснено моделювання в Ms Excel. Побудована модель використана як контрольний приклад для перевірки коректності розробленого програмного забезпечення. Проаналізовано заданий часовий ряд на варіабельність за допомогою коефіцієнта варіації та визначено тип моделі, якою може бути описано часовий ряд.

Наведено послідовність кроків для побудови моделі і побудови прогнозу. Застосовано метод найменших квадратів для визначення оцінок параметрів тренду. Перевірено точність моделі за допомогою обчисленого коефіцієнта детермінації і зроблено висновок про те, що побудована модель може бути застосована для прогнозування.

Побудовано прогноз та довірчий інтервал для прогнозу на наступний квартал.

Для автоматизації обчислень прогнозів розроблено віконний додаток обчислення прогнозу на основі адитивної та мультиплікативної моделі часового ряду для Windows у середовищі Visual Studio Community 2022, з використанням додаткової платформи .NET Framework. Для розробки була використана мова програмування C#.

Продемонстровано можливості готового до використання розробленого програмного продукту.

Ключові слова: часові ряди, побудова прогнозу, сезонність, адитивна модель, мультиплікативна модель.

DEMKIVSKA TETIANA, CHUPRYNKA NATALIIA, KHOLOD ARTEM

Kyiv National University of Technology and Design

CREATION OF SOFTWARE FOR SIMULATION OF SEASONALITY IN TIME SERIES

The main objective of this work is to create a software tool for generating forecasts for processes that can be described by time series and that have a seasonal effect based on additive and multiplicative models. We analyzed processes predictable by these models. At the outset, modeling was undertaken in Microsoft Excel. The built model is used as a control example to check the correctness of the developed software. To begin with, this time series was analyzed for variability using the coefficient of variation. Since its value exceeds 33%, namely 36%, a multiplicative time series model was chosen for forecasting.

Based on the analysis of the visual presentation of changes in the measured values of the farm's profit, it can be concluded that the data of the series indicate the presence of a pronounced trend and seasonal effect, which indicates an increase in income in the 4th quarter. The work describes step-by-step instructions for building a model and building a forecast. The trend parameters were found using the least squares method. To build a forecast, we multiply the trend by the seasonal component. Analysis of the generated forecast graph demonstrates the model's ability to replicate the dynamics of the input time series. The adequacy of the built model is confirmed by the coefficient of determination, the value of which is 96,32%.

To automate forecast calculations in the Visual Studio Community 2022 environment, using the additional .NET Framework platform, a forecast calculation window program based on the additive and multiplicative time series model for Windows has been developed. C# was utilized to develop. An initial view of the functionality of the program and a form illustrating the final demonstration of the capabilities of the developed software are provided. A forecast and a confidence interval for the forecast for the next quarter have been constructed.

The capabilities of the ready-to-use developed software product are demonstrated.

Keywords: time series, forecasting, seasonality, additive model, multiplicative model.

Постановка проблеми

В даній роботі вирішується проблема розроблення програмного інструменту для прогнозування часових рядів з сезонною компонентою, тобто такі, де спостерігаються регулярні коливання, пов'язані з певними періодами (наприклад, річними, квартальними, місячними).

Прогнозування на основі адитивних і мультиплікативних моделей широко використовується в економіці, фінансах, демографії, метеорології та інших областях для прогнозування продажів, виробництва, споживання енергії, кліматичних змін тощо.

Вибір між адитивною та мультиплікативною моделлю є важливим етапом прогнозування. Правильний вибір моделі дозволяє отримати більш точні прогнози та краще зрозуміти природу досліджуваного процесу.

Врахування сезонних коливань дозволяє отримати більш точні прогнози, особливо для короткострокового періоду. Аналіз сезонної компоненти допомагає краще зрозуміти причини коливань і

виявити закономірності в даних. Прогнози з урахуванням сезонності дозволяють оптимізувати виробництво, запаси, маркетингові кампанії та інші бізнес-процеси.

Прикладами застосування таких моделей є: передбачення попиту на товари з урахуванням сезонних коливань, оптимізація виробничих процесів для задоволення сезонного попиту, складання оптимальних планів закупівель з урахуванням сезонних коливань, прогнозування споживання електроенергії для ефективного управління енергосистемою.

Аналіз останніх досліджень

Аналіз останніх досліджень показав, що застосування сезонних моделей часових рядів може бути ефективно застосовано при вирішенні проблем короткострокового прогнозування. Дані моделі достатньо точно описують динаміку процесів і успішно можуть бути використані в якості прогнозних. В роботі Н. Кузнецової [1] систематизовано основні етапи, які необхідно пройти при аналізі часових рядів, розглянуто характеристики і розподіли даних з урахуванням горизонту прогнозування і сезонних ефектів. В роботі С. Шапран [2] розглянуто прогнозування на основі декомпозиції часових рядів і побудова адитивної та мультиплікативної моделей для прогнозування прибутковості підприємств ресторанного бізнесу. В роботі О. Кущенко [3] досліджено аналітичні розрахунки значень тренду та побудовані адитивні та мультиплікативні моделі для прогнозування обсягу виконаних будівельних робіт. Робота О. Ткачової [4] присвячена аналізу і прогнозуванню сезонних коливань в сфері ЗЕД. В роботі [5] автора В. Ковбаса розглянуто та систематизовано базові методи фінансового прогнозування на основі сезонних моделей та в роботі [6] О. Лисенко порівняно застосування адитивних та мультиплікативних моделей часових рядів з авторегресійними моделями. Існуючий стан досліджень вказує на потребу в розширенні розробок програмного забезпечення, здатного враховувати сезонні коливання.

Мета цієї роботи – створення програмного забезпечення, здатного здійснювати прогнозування за допомогою адитивних та мультиплікативних моделей часових рядів.

Виклад основного матеріалу

Для прогнозування обирається метод залежно від конкретної задачі, характеристик даних та бажаної точності прогнозу.

Розглянемо моделі на основі декомпозиції часового ряду, тобто розкладання ряду на тренд, сезонну, циклічну та випадкову складову.

– $Y_t = T + S + C + E$ адитивна модель

– $Y_t = T \cdot S \cdot C + E$ мультиплікативна модель

Для визначення типу моделі, яка може бути обрана для прогнозування треба проаналізувати варіабельність (мінливість) часового ряду. Для цього використовують відомий в статистиці коефіцієнт варіації.

$$v = \frac{\delta}{\bar{x}},$$

де δ – стандартне відхилення, \bar{x} – середнє значення за вибіркою.

До розгляду беремо часовий ряд спостережень об'єму доходів від реалізації виробленої продукції фермерського господарства.

Динаміка ряду представлена на Рис. 1.

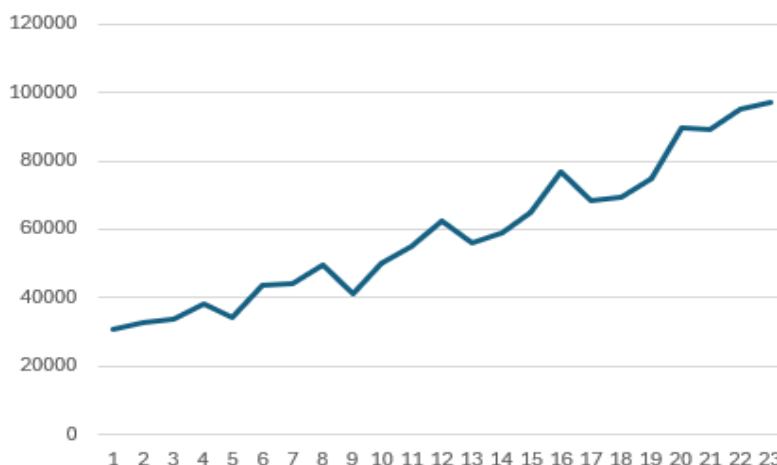


Рис. 1 Динаміка ряду спостережень прибутків від реалізації виробленої продукції фермерського господарства (тис. грн.)

З аналізу графіка видно, що ряд містить яскраво виражену тенденцію а також сезонний ефект, тобто зростання доходів в 4 кварталі, циклічний ефект відсутній. Значить для прогнозування необхідно вилучити тренд і розрахувати сезонний коефіцієнт.

Для побудови прогнозу застосуємо наступну послідовність кроків:

Крок 1. Аналіз часового ряду та визначення його варіабельності для вибору моделі.

Крок 2. Виділення тренду та обчислення сезонної варіації.

Крок 3. Обчислення прогнозу

Крок 4. Визначення довірчого інтервалу для побудованого прогнозу

Коефіцієнт варіації, який розрахований для даного часового ряду рівний 36%, що свідчить про незначну мінливість ряду і для прогнозування краще використати мультиплікативну модель часового ряду.

Для побудови мультиплікативної моделі застосуємо таку послідовність кроків:

Крок 1. Вирівнювання вхідного ряду спостережень на основі ковзного середнього та обчислення оцінки сезонної компоненти

Крок 2. Обчислення коригуючого коефіцієнту та обчислення скоригованої сезонної компоненти

Крок 3. Застосування МНК для знаходження параметрів тренду

Крок 4. Визначення добротності підгонки моделі за показником R-квадрат

Візуальне предствлення динаміки заданого процесу за допомогою графіка, побудова моделі і прогнозу виконано в MS Excel. Побудована модель використана як контрольний приклад для перевірки коректності розробленого програмного забезпечення.

Для знаходження параметрів тренду застосовано метод найменших квадратів. Рівняння тренду має вигляд: $\hat{y} = 23170 + 2996,5 * x$.

Отримане рівняння регресії означає, що дохід від реалізації виробленої продукції зростає на 2996,5 тисяч гривень, починаючи з базового рівня 23170 тисяч гривень.

Для побудови прогнозу тренд (T) множимо на сезонну компоненту (S_t) для прогнозованих часових періодів. На Рис.3 представлено графік прогнозу за побудованою мультиплікативною моделлю на 4 квартали вперед.

Квартал	Yt	St	Yt/St	T	Y*T		Et=Yt/(T*S)	Yt-(T*S)^2	(Yt-Ycp)^2
					Прогноз				
1	30540	0,929728	32848,3	26166,7	24327,92101		1,255347713	38589925,4	913798134,1
2	32576,6	0,987774	32979,8	29163,24	28806,69361		1,130869111	14212194,2	794816727,3
3	33845,8	0,994396	34036,54	32159,78	31979,55475		1,058357449	3482871,33	724863768,8
4	38010,8	1,088101	34933,14	35156,32	38253,64082		0,993651825	58971,6636	517939953,4
5	34196,2	0,929728	36780,85	38152,86	35471,80226		0,964038978	1627161,14	706118704,4
6	43689,8	0,987774	44230,55	41149,4	40646,32109		1,074877106	9262763,85	291702289,2
7	44234,8	0,994396	44484,09	44145,95	43898,55174		1,007659666	113062,893	273382883,6
8	49725,6	1,088101	45699,42	47142,49	51295,80635		0,969389187	2465547,99	121958763,4
9	41164,4	0,929728	44275,72	50139,03	46615,68352		0,883059024	29716492	384344033,4
10	50031,4	0,987774	50650,64	53135,57	52485,94858		0,953234177	6024808,73	115298076
11	55158,8	0,994396	55469,65	56132,11	55817,54873		0,988198179	433949,884	31475400,64
12	62212,6	1,088101	57175,37	59128,66	64337,97189		0,966965513	4517205,66	2083709,091
13	55841,8	0,929728	60062,48	62125,2	57759,56478		0,966797451	3677821,74	24278227,8
14	58895,6	0,987774	59624,56	65121,74	64325,57607		0,915586048	29484640,1	3509980,393
15	64711,26	0,994396	65075,95	68118,28	67736,54571		0,955337467	9152353,65	15540671,46
16	76929,4	1,088101	70700,58	71114,82	77380,13742		0,994175024	203164,222	261155484,6
17	68415,6	0,929728	73586,65	74111,37	68903,44603		0,99291986	237993,751	58469051,46
18	69361,2	0,987774	70219,69	77107,91	76165,20355		0,910667822	46294464,3	73824282,65
19	74952	0,994396	75374,4	80104,45	79655,5427		0,94095147	22123313,9	201154817,9
20	89850,2	1,088101	82575,21	83100,99	90422,30295		0,993672988	327301,791	845710716,5
21	89131,8	0,929728	95868,64	86097,53	80047,32729		1,11348877	82527644,4	804443082,2
22	95012,6	0,987774	96188,58	89094,08	88004,83104		1,079629367	49108825,8	1172617692
23	97300,8	0,994396	97849,15	92090,62	91574,53969		1,062531139	32790057,2	1334565531
24	102669,2	1,088101	94356,28	95087,16	103464,4685		0,992313608	632451,968	1755618869
25					91190,09095			387064988	11428670850
26					99843,22972			16127707,8	
27					103492,2579	Ст.пом.		4015,93175	R^2
28					116505,1891	крит		2,07	0,966132

Рис.2. Результати моделювання часового ряду

Побудована мультиплікативна модель, згідно з даними Рис.3, є придатною для моделювання динаміки досліджуваного процесу. Адекватність побудованої моделі доведена коефіцієнтом детермінації, значення якого 96%.

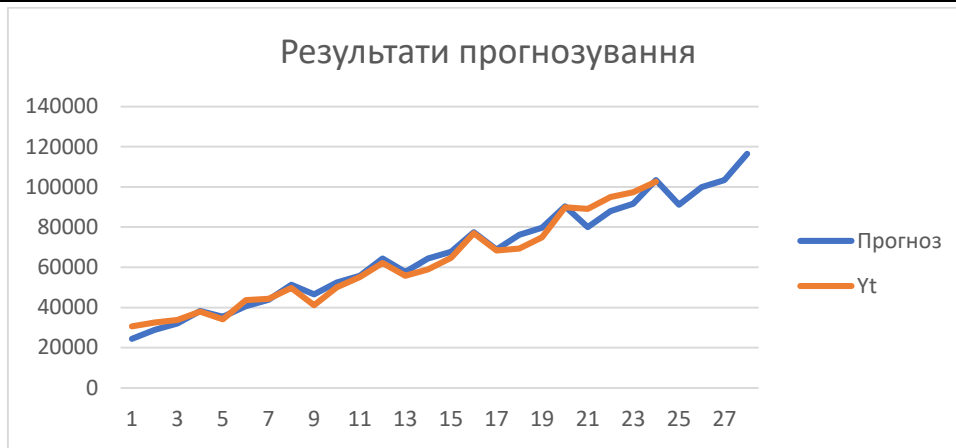


Рис.3. Прогноз за мультиплікативною моделлю

Для автоматизації обчислень прогнозів розроблено віконний додаток обчислення прогнозу на основі адитивної та мультиплікативної моделі часового ряду для Windows у середовищі Visual Studio Community 2022, з використанням додаткової платформи .NET Framework. Для розробки була використана мова програмування С# [7].

Проект містить низку форм та два класи для розрахунків:

Form1.cs – стартова форма програми, з якої ми можемо обрати яку модель використовувати далі;

AdditiveForm.cs – форма для роботи з адитивною моделлю, містить реалізацію введення даних, їх подальшу обробку, створення прогнозу;

MultiplicativeForm.cs – форма для роботи з мультиплікативною моделлю, структура реалізації аналогічна до адитивної моделі;

CalculateAdditiveModel.cs – клас з методами для розрахунків згідно адитивної моделі;

CalculateMultiplicativeModel.cs – клас з методами для розрахунків згідно мультиплікативної моделі.

Програмна реалізація алгоритму обчислення прогнозу

Для виконання задачі, були запрограмовані наступні методи:

GenerateData(), *SaveData()* – методи для генерації відповідної кількості полів для вводу даних та їх збереження для подальших розрахунків;

FillFirstTable() – заповнює першу таблицю з розрахунками оцінок сезонних компонент, використовуючи методи з відповідного класу, які генерують відповідні поля, в яких коригуються сезонні компоненти;

FillSecondTable() – заповнює другу таблицю з розрахунками значень згідно тренду, на основі цих розрахунків, виводяться коефіцієнт детермінації, САО, СООП та будується графік прогнозу.

Інтерфейс користувача та функціонал інтерактивних елементів

При запуску програми, відкривається стартова форма, на якій ми можемо ознайомитися з функціоналом програми, також обрати, яку саме модель необхідно використати для побудови прогнозу.

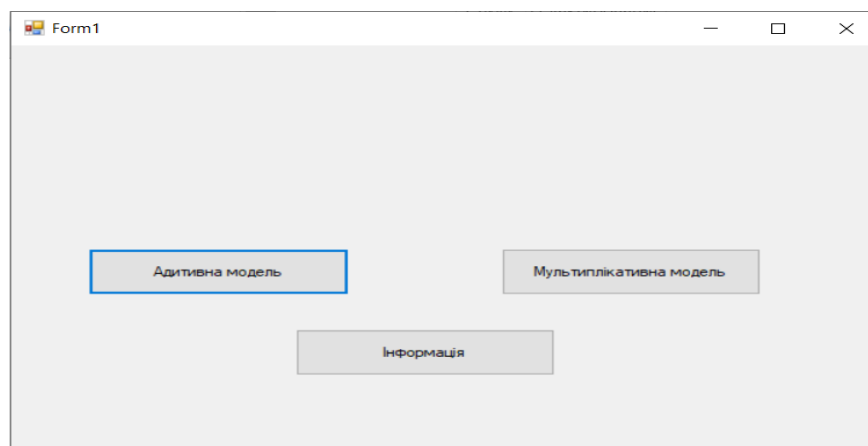


Рис. 4 Стартова форма функціоналу програми

Далі користувач задає кількість елементів часового ряду, яку треба ввести за допомогою *NumericUpDown*, після вводу даних та натисканні на кнопку «Таблиця ковзного середнього», дані зберігаються, обраховуються оцінки сезонної компоненти та виводяться в першу таблицю.

Потім користувач натискає кнопку «Коригування» для обчислення та виводу скоригованих сезонних компонент.

Після натискання на кнопку «Таблиця моделі», формується друга таблиця, в якій обраховуються та виводяться коефіцієнти лінійного тренду, коефіцієнт детермінації, CAO, COOP, будується графік вхідних даних з лінією тренду.

Після всіх розрахунків, користувач обирає інтервал для прогнозування і після натискання на відповідну кнопку, формуються та виводяться прогнози.

Фінальна презентація роботи розробленого додатку представлена на Рис. 5.

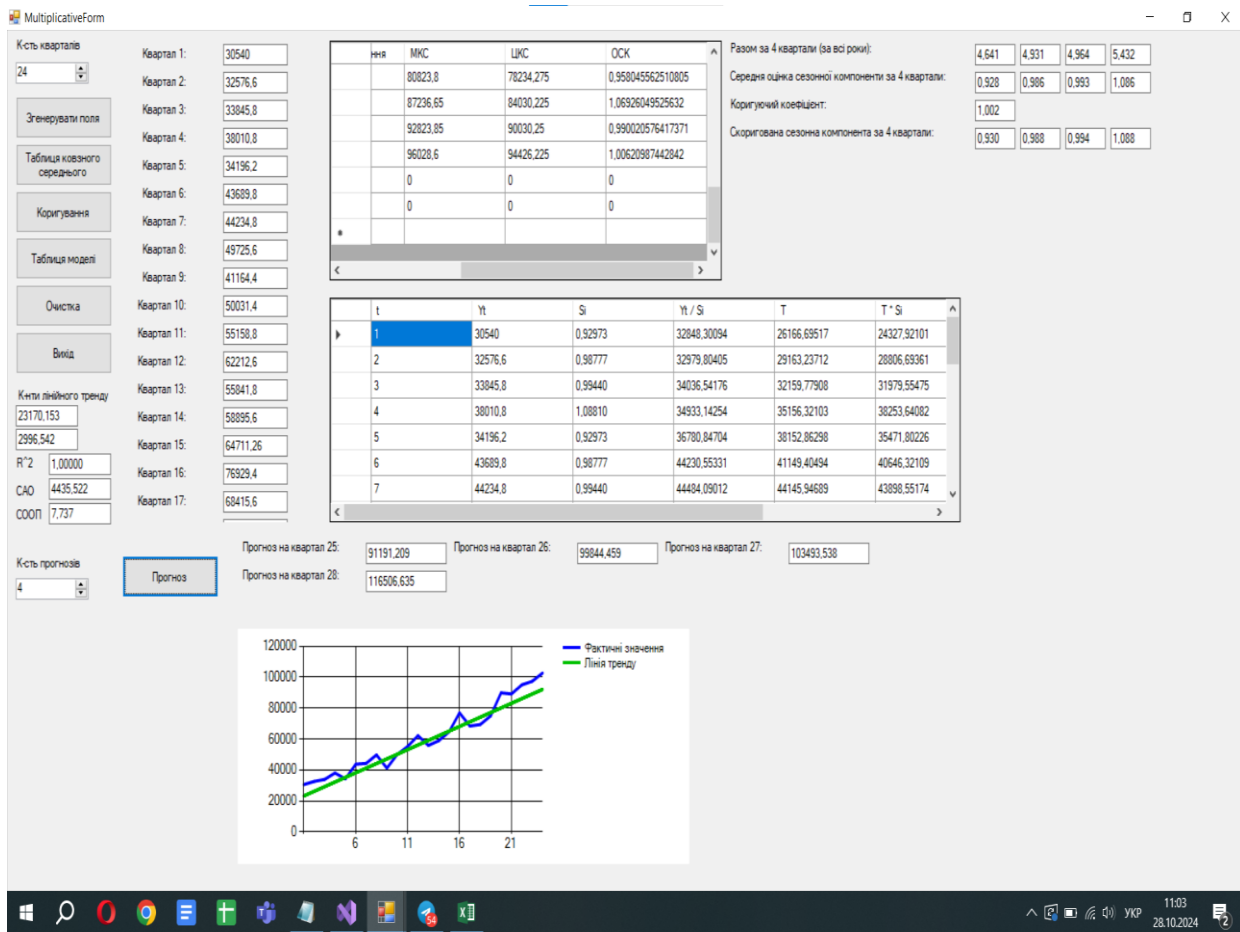


Рис.5. Заключна демонстрація можливостей програми

Побудова діапазону вірогідних значень

Діапазон вірогідних значень (інтервал оцінок або довірчий інтервал) для побудованого прогнозу – це діапазон значень, в межах якого ми очікуємо, що знаходиться справжнє значення прогнозованого показника з певною ймовірністю. Він є важливим інструментом статистичного аналізу, оскільки дозволяє оцінити точність і надійність нашого результату. Інтервал оцінок наскільки точно наш прогноз відображає реальну ситуацію. Чим вужчий інтервал, тим точніший прогноз.

Для побудови діапазону вірогідних значень прогнозу обчислюємо стандартну помилку прогнозу.

$$SEF = \sqrt{\frac{\sum(y_t - \hat{y}_t)^2}{N}}$$

де SEF – стандартна помилка прогнозу, y_t - заданий ряд спостережень, \hat{y}_t – ряд, отриманий за моделлю, N – кількість спостережень. SEF= 4015,93.

Розрахунок довірчого інтервалу:

нижня границя прогнозу: прогноз – t * SEF

верхня границя прогнозу: прогноз + t * SEF,

де t знаходиться з таблиці розподілу Стюдента: обираємо $\alpha = 0.05$ і оскільки ряд має 22 рівні, кількість степеней волі 22, критичне значення $t = 2,07$.

нижня границя прогнозу: 91190,09 - 2,07 * 4015,93 = 82877,11

верхня границя прогнозу: 91190,09 + 2,07 * 4015,93 = 99503,07

Отже, з ймовірністю 95% ми можемо стверджувати, що фактичні продажі наступного кварталу будуть перебувати в інтервалі від 82877,11 до 99503,07 одиниць.

Висновки

Розроблено програмний продукт для прогнозування об'єму доходів від реалізації виробленої продукції фермерського господарства. Оскільки заданий ряд варіабельний та має сезонний ефект, то для прогнозування обрано мультиплікативну модель часового ряду. Доведена адекватність побудованої моделі за розрахованим коефіцієнтом детермінації. Побудовано прогноз та довірчий інтервал для прогнозу на квартал вперед.

Метою подальших досліджень є розробка алгоритму автоматичного вибору між адитивною та мультиплікативною моделлю часового ряду, що забезпечить оптимальне прогнозування за конкретних умов.

Прогнозування часових рядів з сезонною компонентою вимагає розуміння як статистичних методів, так і особливостей конкретної задачі. Оптимізація бізнесу неможлива без ретельного аналізу даних. Правильний вибір методів дослідження та їх коректна інтерпретація є ключовими факторами для прийняття ефективних управлінських рішень.

Література

1. Кузнєцова Н. В., Бідюк П.І. Моделі і методи коротко- і середньострокового прогнозування фінансових процесів [Електронний ресурс] / Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 334 с. URL <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/63943>
2. Шапран, Є. М. Прогнозування прибутковості підприємства ресторанного бізнесу та чинників впливу на його фінансові показники / Є. М. Шапран, О. А. Сергієнко, О. Б. Білоцерківський // Науковий вісник Ужгородського національного університету: серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство / Вип. 30. – 2020. С. 218–223. <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2020-30-42>
3. Кущенко О.І. Аналітичне моделювання будівельного бізнесу / О.І. Кущенко, К.І. Даниленко // Економіка та суспільство М. 2019. – Вип.20. - С.738-744 URL <https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/06/Ekonomika-i-suspilstvo-20-2019.pdf>
4. Ткачова О.К. Аналіз та прогнозування ЗЕД на основі дослідження сезонних коливань. Приазовський економічний вісник. Вип. 2(02). 2007. С. 176-180. URL http://pev.kpu.zp.ua/journals/2017/2_02_uk/2_02_2017.pdf#page=176
5. В. Ковбаса. Систематизація економіко-математичних методів фінансового прогнозування. К. КНЕУ – 2024р. С. 173-180 URI https://eco-science.net/wp-content/uploads/2024/08/8.24._topic_Vladyslav-A.-Kovbasa-173-180.pdf
6. Лисенко О. Порівняння методів короткострокового прогнозування для сезонного виробничого процесу. *Socio-Economic Relations in the Digital Society*, 2019, № 2 (32), С.104–111. [https://doi.org/10.18371/2221-755x2\(32\)2018150462](https://doi.org/10.18371/2221-755x2(32)2018150462)
7. Ю. Грицьок, Т. Рак. Програмування мовою C++, Львів, Вид-во ЛДУ БЖД, 2011, 292 С. URL <https://xn--e1ajqk.kiev.ua/wp-content/uploads/2019/12/Griczyuk-C.pdf>

References

1. Kuznietsova, N. V., Bidiuk P.I. (2023) *Modeli i metody korotko- i serednostrokovoho prohnozuvannia finansovykh protsesiv* [Models and methods of short- and medium-term forecasting of financial processes]. Kyiv, KPI im. Ihoria Sikorskoho . – 334 c. [in Ukrainian] URI <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/63943>
2. Ye. M. Shapran, O. A. Serhienko, O. B. Bilotserkivskiyi (2020) Forecasting the profitability of a restaurant business and factors affecting its financial performance. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu : seriia: Mizhnarodni ekonomichni vidnosyny ta svitove hospodarstvo*, 30, 218–223. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2020-30-42>
3. Kushchenko O.I., Danylenko K.I. (2019). Analytical modeling of construction business *Ekonomika ta suspilstvo*, 20, 738-744. [in Ukrainian] URL <https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/06/Ekonomika-i-suspilstvo-20-2019.pdf>
4. Tkachova O.K. (2007) Analysis and forecasting of foreign economic activity based on the study of seasonal fluctuations. *Pryazovskiyi ekonomichnyi visnyk*. 2(02), 176-180. [in Ukrainian] URL http://pev.kpu.zp.ua/journals/2017/2_02_uk/2_02_2017.pdf#page=176
5. V. Kovbasa (2024) Systematization of economic and mathematical methods of financial forecasting, *Finance, banking and insurance*, 173-180 [in Ukrainian] URI https://eco-science.net/wp-content/uploads/2024/08/8.24._topic_Vladyslav-A.-Kovbasa-173-180.pdf
6. Lysenko, O (2019). Comparison of short-term forecasting methods for a seasonal production process, *Socio-Economic Relations in the Digital Society*, 2 (32), С.104–111. [https://doi.org/10.18371/2221-755x2\(32\)2018150462](https://doi.org/10.18371/2221-755x2(32)2018150462) [in Ukrainian]
7. Yu. Hrytsiuk, T. Rak. *Prohramuvannia movoiu C++* (2011) [Programming in the C++ language]. Lviv: LDU BZhD. [in Ukrainian] URL <https://xn--e1ajqk.kiev.ua/wp-content/uploads/2019/12/Griczyuk-C.pdf>