

DOI: [10.32702/2307-2105-2019.4.40](https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.4.40)

УДК 519.86

С. П. Кобець,

*кандидат економічних наук, доцент кафедри економічної теорії та економічної кібернетики
Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, м. Полтава
ORCID: 0000-0003-3632-1175*

А. О. Лузіна,

*Студентка Полтавського національного технічного університету
імені Юрія Кондратюка, м. Полтава
ORCID: 0000-0002-9744-1763*

ЗАСТОСУВАННЯ АДАПТИВНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЧИСТОГО ДОХОДУ ВІД РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОДУКЦІЇ

S. Kobets

PhD in Economics, Associate Professor at the Department of Economic Theory and Economic Cybernetics, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Ukraine

A. Luzina

student, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Ukraine

APPLICATION OF ADAPTIVE MODELS FOR FORECASTING A NET SALES

У статті розкрито сутність адаптивних моделей прогнозування, надано їх класифікацію, зазначена важливість застосування даних методів для коротко- та середньострокового прогнозування соціально-економічних процесів.

Авторами на основі статистичних даних за 16 періодів (з 2002р. по 2017р.) розроблено короткостроковий прогноз рівня чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) ПрАТ «Полтавамаш» за допомогою адаптивних моделей Брауна, Хольта та Хольта-Вінтерса. Всі розрахунки проводилися у табличному редакторі Microsoft Excel.

У статті також розкрито алгоритм побудови адаптивних моделей Брауна, Хольта та Хольта-Вінтерса для розрахунку прогнозних значень чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) (тис.грн) ПрАТ «Полтавамаш» на 2018-2020 роки у MS Excel. Усі моделі перевірені на адекватність та є адекватними до статистичних даних. З результатів розрахунків прогнозних значень чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) ПрАТ «Полтавамаш», отриманих за допомогою адаптивних моделей Брауна, Хольта та Хольта-Вінтерса видно, що вони відрізняються, це підтверджує доцільність комплексного використання зазначених моделей.

The article is devoted to research of problems concerning the application of adaptive models for forecasting net sales.

The objective of the article is to disclosure the essence of adaptive forecasting models, to disclose their classification and, on the basis of statistical data, to carry out a comprehensive forecast of net sales of industrial enterprise through adaptive models.

The authors prognosticated the net sales of the Private Joint-Stock Company "Poltavamash". For this purpose, the actual data concerning the net sales of this enterprise for the period from 2002 to 2017 was used.

In order to obtain a comprehensive forecast, the adaptive Brown model, the adaptive Holt model and the adaptive Holt-Winters model are used by the authors. All calculations made in Microsoft Excel.

Brown's adaptive model is used, as a rule, for short-term forecasting of economic processes. It reflects the development not only of a linear trend, but also of a random process that does not have a tendency. The adaptive Holt's model is a modification of Brown's model. This model also takes into account the presence of a trend. To control the level and inclination of the Holt's model, two smoothing factors are introduced: the smoothing coefficients of the α series and the β trend. The Holt-Winters model involves the allocation of seasonal components. It has a big advantage - the possibility of forecasting economic indicators for the medium term. This model is a three-parameter model of the forecast - it takes into account the smoothed exponential series, the trend and seasonality.

The article describes the algorithm of constructing an adaptive Brown's model, an adaptive Holt's model and an adaptive Holt-Winters model using Microsoft Excel.

The resulting models are tested for adequacy and are adequate to the statistics and can be used for forecasting.

The authors determined that the forecast value of net sales of Poltavamash, obtained using the adaptive Brown's model, adaptive Holt's model and adaptive Holt Winters model, is different, which confirms the expediency of the complex use of these models.

The research found that the adaptive Holt-Winters model is the most accurate. The forecast error is 3,831%. In the long run, correction factors can be used to take into account prediction accuracy indicators when determining weighted average forecast values.

Ключові слова: адаптивні моделі прогнозування; модель Брауна; модель Хольта; модель Хольта-Вінтерса; чистий дохід від реалізації продукції.

Key words: adaptive prediction models; Brown's model; Holt's model; Holt-Winters model; net sales.

Постановка проблеми. На даному етапі розвитку економічних явищ і процесів на рівні підприємства та галузей спостерігається значна динаміка більшості економічних показників, що супроводжується коливальною складовою, тому накопичені дані статистичних спостережень стають некорисними. Сьогодні як ніколи є актуальною проблема підвищення якості коротко- та середньострокового прогнозування соціально-економічних процесів. У такому випадку доцільно використовувати сучасний напрям статистичного аналізу та прогнозування часових рядів, заснований на невеликій кількості «свіжих» даних, здатний адаптуватися до зміни процесу – адаптивне моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Засновниками засад використання апарату адаптивного моделювання соціально-економічних процесів були Г. Браун [1, с. 468], А. Тейл, С. Вейдж [2, с. 198-206], П. Вінтерса [3, с. 324-342]. Надалі методологічним і практичним дослідженнями виробничих процесів, прогнозуванням економічних показників підприємства на основі адаптивного моделювання займаються чимало закордонних та вітчизняних учених, зокрема: Т. С. Клебанова, В. М. Геєць, Н. А. Кізима, В. В. Давніс, В. Тінякова, Н. В. Климович та інші. Більшість авторів визначали сфери та методи можливого застосування адаптивних моделей в основному для рішення загальних кібернетичних або технічних завдань.

У сучасних умовах мінливості економіки та високої конкуренції важливим аспектом успішної діяльності підприємства є розробка обґрунтованих прогнозів його фінансових показників. Цю тему у своїх статтях розкрили такі автори, як Закаблук Г.О., метою дослідження якої є аналіз динаміки та короткострокове прогнозування доходів і витрат машинобудівного підприємства за допомогою адаптивної моделі Хольта-Уінтерса. [4, с. 51-55], Ткаченко І.С. [5, с. 84-94] Т. С. Клебанова та О. О. Рудаченко відмічають, що адаптивні моделі прогнозування одновимірних часових рядів є одними з найбільш перспективних напрямків, тому широко використовуються для прогнозування діагностичних показників фінансової діяльності підприємств [6, с. 143-148].

Слід зауважити, що науковці у своїх публікаціях зазвичай використовують одну адаптивну модель для прогнозування економічних показників, але для отримання більш комплексного прогнозу доцільно використати

три-чотири різних адаптивних моделі. Тому, що порівнюючи і враховуючи результати декількох моделей, можна отримати більш точний прогноз. Також є потреба в розробці алгоритму побудови адаптивних моделей для розрахунку прогнозних значень за допомогою MS Excel.

Отже, попри велику кількість статей присвяченій даній темі, проблема використання адаптивних моделей при прогнозуванні результатів фінансової діяльності промислових підприємств, на даний час, залишається актуальною.

Формування цілей статті. Цілями статті є розкриття сутності, розкриття їх класифікації та, на основі статистичних даних, здійснення комплексного прогнозування чистого доходу від реалізації продукції промислового підприємства за допомогою адаптивних моделей.

Виклад основного матеріалу. Адаптивні моделі прогнозування – це моделі дисконтування даних, що здатні швидко пристосовувати свою структуру і параметри до зміни умов. Інструментом прогнозу в адаптивних моделях, як і в кривих зростання, є математична модель з єдиним фактором «час». [7, с. 120].

Адаптивні методи та моделі застосовуються для широкого кола задач, зокрема для прогнозування показників фондового ринку, грошових потоків, змін щоденних залишків на складах, крамницях. За допомогою цих методів можна проводити аналіз сезонних явищ.

Розглянемо класифікацію адаптивних моделей (рис. 1).



Рис. 1. Класифікація адаптивних моделей

З рис. 1 видно, що адаптивні моделі поділяються на лінійні та сезонні. Лінійні адаптивні моделі враховують лише трендову складову, до таких моделей належать модель Брауна, модель Хольта.

Сезонні моделі, окрім тренду, дозволяють врахувати й сезонну складову часового ряду. Сезонні поділяють на чотири групи: модель лінійного зростання з мультиплікативною сезонністю, яка також відома як модель Вінтерса; експоненціальне зростання з мультиплікативною сезонністю; лінійне зростання з адитивною сезонністю; експоненціальне зростання з адитивною сезонністю. Адитивні сезонні моделі здатні показувати відносно постійне сезонне коливання, а мультиплікативні враховують коливання, що динамічно змінюються залежно від тренду.

Оскільки, соціально-економічні процеси дуже різноманітні, тому для дослідження та прогнозування їх показників використовують спеціальні моделі для короткострокового та середньострокового прогнозування.

У випадку короткострокового прогнозування задача полягає у тому, щоб «спіймати» останні за часом відхилення від тенденцій, які склалися, відхилення, які викликані короткостроковими діями деяких факторів. Після того, як дія цих випадкових факторів припиниться, показники соціально-економічної системи знову повернуться до тієї траєкторії, по якій вони рухалися у попередній час.

У випадку середньочасового прогнозування задача стоїть інакше – немає сенсу враховувати поточні короткострокові коливання та відхилення від тенденції, що склалася – вони найближчим часом припиняться. Є сенс «спіймати» неминучі зміни, що намітилися в останні моменти спостережень, та, враховуючи їх, відредагувати прогнозну модель.

Для короткострокового прогнозування економічних процесів, як правило, застосовують адаптивну модель Брауна, яка показує розвиток не лише лінійної тенденції, але й випадкового процесу, що не має тенденції, а також у вигляді мінливої параболічної тенденції. Відповідно розрізняють моделі нульового, першого та другого ступенів виду:

$$\begin{aligned}
Y(t+k) &= A_0; \\
Y(t+k) &= A_0 + A_1k; \\
Y(t+k) &= A_0 + A_1k + A_2k^2,
\end{aligned}
\tag{1}$$

де t – поточний час; k – час упередження.

Модель нульового порядку описує процеси, які не мають тенденції розвитку, вони мають лише один параметр. Модель першого порядку має два коефіцієнти A_0 – значення, близьке до останнього рівня, воно представляє закономірну складову даного рівня, A_1 – цей коефіцієнт визначає приріст, що сформувався до кінця періоду спостереження, він показує швидкість росту на більш ранніх етапах. Модель другого порядку показує мінливу параболічну тенденцію, а також має коефіцієнт A_2 – оцінка поточного приросту або прискорення.

Ступінь моделі визначається апріорно з попереднього аналізу часового ряду та законів розвитку процесу, що прогнозується.

Розглянемо і ще одну лінійну модель, яка є модифікацією моделі Брауна – адаптивна модель Хольта. Ця модель враховує наявність тренду. Якщо присутня тенденція до зростання або спадання часового ряду, то разом з оцінкою поточного рівня ряду (як у простому експоненційному згладжуванні) потрібно виділити тренд. Для управління рівнем та нахилом у моделі Хольта вводиться два коефіцієнти згладжування – коефіцієнти згладжування ряду α та тренду β .

Отже, щоб здійснити прогноз економічних показників на основі адаптивної моделі Хольта потрібно дотримуватися відповідного алгоритму: спочатку необхідно розрахувати експоненційно-згладжений ряд, далі визначається значення тренду, і насамкінець – робиться прогноз.

Модель Хольта використовується лише для рядів, коли є данні за не повний цикл і сезонна компонента ще не виявлена. Цю модель розвинув вчений Вінтерс, який додав у модель Хольта сезонність.

Модель Хольта-Вінтерса завдяки виділенню сезонної компоненти має велику перевагу – можливість прогнозування економічних показників на середньостроковий термін. Дана модель є трьохпараметричною моделлю прогнозу – вона враховує згладжений експоненціальний ряд, тренд і також сезонність.

Найбільш пристосованим методом до будь-якого часового ряду є метод Тейла-Веджа. Найкращий результат цей метод дає, коли часовий ряд досліджуваного показника відповідає тенденції, що описується експоненціальним трендом із мультиплікативною врахованою сезонністю. Метод Тейла-Веджа досить простий у застосуванні. Перед використанням адитивної моделі значення рівнів часового ряду замінюють їхніми логарифмами й тим самим перетворюють експоненціальний тренд на лінійний і водночас — мультиплікативну сезонність на адитивну. В результаті адитивна модель має вигляд

$$y_t = a_{0t} + s_t + \varepsilon_t; \tag{2}$$

$$a_{0t} = a_{0t-1} + \alpha_{1t} \tag{3}$$

де a_{0t} – рівень ряду, після вилучення сезонних коливань;

α_{1t} – адитивний коефіцієнт зростання;

s_t – адитивний коефіцієнт сезонності;

ε_t – випадкова компонента.

Прогноз, зроблений на момент часу t на τ кроки вперед, розраховують за формулою:

$$\hat{y}_t(\tau) = \hat{a}_{0t} + \tau \cdot \hat{\alpha}_{1t} + s_{t-m+\tau} \tag{4}$$

Нами здійснено прогнозування доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) Приватного акціонерного товариства «Полтавамаш». Використано фактичні данні щодо доходу від реалізації продукції за період з 2002 по 2017 рр., які взяті з сайту smida.gov.ua.

Для отримання комплексного прогнозу нами використана адаптивна модель Брауна, адаптивна модель Хольта та адаптивна модель Хольта-Вінтерса. Всі розрахунки проводилися у табличному редакторі Microsoft Excel.

Здійснено прогнозування доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) ПрАТ «Полтавамаш» за допомогою адаптивної моделі Брауна. Алгоритм побудови моделі першого ступеня має такий вигляд:

1. За кількома першими точками методом найменших квадратів знайдемо значення параметрів лінійної моделі:

$$Y_p(t) = A_0 + A_1t. \tag{5}$$

2. Використовуючи отримані параметри, знаходиться прогнозоване значення:

$$Y_p(t+k) = A_0(t) + A_1(t)k, \quad k = 1. \tag{6}$$

3. На третьому етапі знаходиться похибка прогнозування:

$$e(t+k) = Y(t+k) - Y_p(t+k). \quad (7)$$

4. Відповідно до похибки змінюються значення параметрів моделі:

$$\begin{aligned} A_0(t+1) &= A_0(t) + A_1(t) + \alpha^2 e(t); \\ A_1(t+1) &= A_1(t) + \alpha^2 e(t), \end{aligned} \quad (8)$$

де α – коефіцієнт дисконтування даних, $0 < \alpha < 1$ (експериментальним шляхом встановлено, що доцільно обрати $0,1 \leq \alpha \leq 0,3$).

5. За моделлю з виправленими параметрами знаходиться прогноз на наступний крок та повернемося до п.3, якщо $t < N$ (тобто час навчання моделі ще не завершився), при $t \geq N$ будемо використовувати отримані значення як прогнозне, не змінюючи параметрів моделі.

6. Точковий прогноз доповнюється інтервальним:

$$\Delta Y = t_\alpha S_Y \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{3(n+2k-1)^2}{n(n^2-1)}}, \quad (9)$$

де t_α – значення критерію Стьюдента; S_Y – середньоквадратичне відхилення прогнозного показника; n – число спостережень ряду.

7. Розраховується похибка отриманого прогнозу, розрахунок здійснюється за такою формулою:

$$\sigma_{y_{t+L}}^* = \sigma_y \sqrt{\frac{\alpha}{(2-\alpha)^5} \cdot \left[1 - 4(1-\alpha) + 5(1-\alpha)^2 + 2\alpha(4-3\alpha)t + 2\alpha^2 L^2 \right]}, \quad (10)$$

де σ_y – середня квадратична похибка, розрахована за відхиленням емпіричних значень ознаки від теоретичних, отриманих за рівнянням лінійного тренду, тобто за наступною формулою

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_{t+L}^*)^2}{n-k}} \quad (11)$$

де $(n-k)$ – число степенів вільності, що визначається залежно від довжини вихідного часового ряду (n) та числа параметрів рівняння тренду k ; L – кількість рівнів упередження.

На рисунку 2 зображено розрахунок прогнозних значень чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) (тис.грн) ПрАТ «Полтавамаш» за допомогою адаптивної моделі Брауна на 2018-2020 роки у MS Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	Роки	Рівні	Вихідні дані, Yt	A0	A1	Прогнозоване значення, Yp	Похибка прогнозування, e	(Yt-Yp)^2		A1	A0	коефіцієнт дисконтування	верхня межа інтервального прогнозу	нижня межа інтервального прогнозу	похибка прогнозу
1															
2	2002	1	10031,70	4482,46	2339,51	6821,97	3209,73	10302391,22		2339,51	4482,46	0,3	21063,17	-7419,24	679,27
3	2003	2	12403,30	7110,84	2628,38	12367,61	35,69	1274,01		316,401915	3059,4609	табл.	26608,81	-1873,60	
4	2004	3	12434,50	9742,44	2631,59	17637,22	-5202,72	27068302,73		0,79613429	5834,1631	2,145	31878,43	3396,01	
5	2005	4	14135,40	11905,79	2163,35	20559,19	-6423,79	41265021,82		54,6726575	14	середньоквадратична похибка, S	34800,39	6317,98	
6	2006	5	21069,40	13491,00	1585,21	21417,04	-347,64	120854,20		1860918311	476524419	5762,001	35658,25	7175,83	
7	2007	6	14474,90	15044,92	1553,92	24368,45	-9893,55	97882237,35				довірчий інтервал	38609,65	10127,24	
8	2008	7	22991,00	15708,42	663,50	20352,94	2638,06	6959384,81				14241,208	34594,14	6111,73	
9	2009	8	17241,00	16609,35	900,93	23816,77	-6575,77	43240781,65					38057,98	9575,56	
10	2010	9	23842,00	16918,46	309,11	19700,43	4141,57	17152573,44					33941,64	5459,23	
11	2011	10	26661,00	17600,31	681,85	24418,80	2242,20	5027453,93					38660,01	10177,59	
12	2012	11	25052,00	18483,95	883,65	28204,08	-3152,08	9935577,18					42445,28	13962,87	
13	2013	12	23212,00	19083,91	599,96	26283,44	-3071,44	9433756,86					40524,65	12042,23	
14	2014	13	28407,00	19407,44	323,53	23613,35	4793,65	22979114,48					37854,55	9372,14	
15	2015	14	35857,00	20162,40	754,96	30731,84	5125,16	26267259,33					44973,05	16490,63	
16	2016	15	50102,00	21378,63	1216,22	39621,99	10480,01	109830617,87					53863,20	25380,78	
17	2017	16	51978,00	23538,05	2159,43	58088,85	-6110,85	37342532,44					72330,06	43847,65	
18	2018	17				60248,28		464809133,31					74489,49	46007,07	
19	2019	18				62407,70							76648,91	48166,50	
20	2020	19				64567,13							78808,34	50325,92	

Рис. 2. Розрахунок прогнозних значень чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) (тис.грн) ПрАТ «Полтавамаш» за допомогою адаптивної моделі Брауна на 2018-2020 роки у MS Excel

Похибка моделі становить – 679,27. Коефіцієнт дисконтування даних було прийнято 0,3.



Рис. 3. Графічне зображення динаміки чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) (тис.грн) ПрАТ «Полтавамаш» та прогноз на 2018-2020 рр. за допомогою адаптивної моделі Брауна

Результати перевірки моделі на адекватність надано у таблиці 1.

**Таблиця 1.
Показники перевірки моделі на адекватність**

Показник	Значення
Коефіцієнт детермінації	0,796
Коефіцієнт кореляції	0,892
Критерій Фішера (розр.)	54,673
Критерій Фішера (критичне значення)	4,543
Залишкова дисперсія	5762,001
Критерій Стьюдента	2,145

Отримані значення показників перевірки моделі на адекватність підтверджують, що отримана модель є адекватною до статистичних даних та її можна застосовувати для прогнозування. Коефіцієнт детермінації, який дорівнює 0,796 вказує на скільки отримані спостереження підтверджують модель. Значення коефіцієнту має бути якомога ближче до 1. Обраховані критерії Фішера та Стьюдента також вказують на адекватність моделі. Отже, прогнозне значення чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг), визначене за допомогою методу Брауна на 2018 рік становить 60248,28 тис. грн., на 2019 рік становить 62407,70 тис. грн., на 2020 рік становить 64567,13 тис. грн.

Здійснено прогнозування доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) ПрАТ «Полтавамаш» за допомогою моделі Хольта. Алгоритм реалізації моделі наступний:

1. Здійснюється експоненційне згладження часового ряду за наступною формулою:

$$L_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (12)$$

де L_t – згладжена величина на поточний період; α – коефіцієнт згладжування ряду; y_t – поточне значення ряду; L_{t-1} – згладжена величина за попередній період; T_{t-1} – значення тренду за попередній період.

Коефіцієнт згладжування ряду α задається вручну та знаходиться у діапазоні від 0 до 1.

Для першого періоду на початку даних експоненційно-згладжений ряд дорівнює першому значенню ряду $L_1 = Y_1$

2. Визначається значення тренду:

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot T_{t-1} \quad (13)$$

де T_t – значення тренду за поточний період; β – коефіцієнт згладжування тренду; L_t – експоненційно-згладжена величина за поточний період; L_{t-1} – експоненційно-згладжена величина за попередній період; T_{t-1} – значення тренду за попередній період.

Коефіцієнт згладжування ряду β задається вручну і знаходиться у діапазоні від 0 до 1.

Значення тренду для першого періоду дорівнює 0. ($T_1 = 0$).

3. Прогноз за методом Хольта на p періоди вперед дорівнює:

$$\hat{Y}_{t+p} = L_t + pT_t, \quad (14)$$

де \hat{Y}_{t+p} – прогноз за методом Хольта на p період; L_t – експоненційно-згладжена величина за останній період; p – порядковий номер періоду, на який робимо прогноз; T_t – тренд за останній період.

На рисунку 4 зображено розрахунок прогнозних значень чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг)(тис.грн) ПрАТ «Полтавамаш» за допомогою адаптивної моделі Хольта на 2018-2020 роки у MS Excel.

▲	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1			$\alpha=$	0,6	$\beta=$	0,7	Для оцінки точності прогнозу				Оцінка точності прогнозу для 6 рівнів					
2	рік	продажі, грн.	L_t експоненційно-згладжений ряд	T_t значення тренду	p, номер періоду для прогнозу	прогноз за методом Хольта	прогноз на 1 період аналізу	похибка моделі	відхилення похибки	Точність прогнозу	номер періоду	прогноз на 3 періоди аналізу	похибка моделі	відхилення похибки	Точність прогнозу	Ряд з моделлю прогнозу
3	2002	10031,7	10031,7	0			10031,7			94,417%					82,456%	10031,7
4	2003	12403,3	11454,66	996,07			10031,7	2371,60	0,037							10031,7
5	2004	12434,5	12440,99	989,25			12450,732	-16,23	0,000							12450,732
6	2005	14135,4	13853,34	1285,42			13430,24736	705,15	0,002							13430,24736
7	2006	21069,4	18697,14	3776,29			15138,75761	5930,64	0,079							15138,75761
8	2007	14474,9	17674,31	416,91			22473,43152	-7998,53	0,305							22473,43152
9	2008	22991	21031,09	2474,81			18091,21784	4899,78	0,045							18091,21784
10	2009	17241	19746,96	-156,44			23505,90088	-6264,90	0,132							23505,90088
11	2010	23842	22141,41	1629,18			19590,51572	4251,48	0,032							19590,51572
12	2011	26661	25504,83	2843,15			23770,58506	2890,41	0,012							23770,58506
13	2012	25052	26370,39	1458,84			28347,98707	-3295,99	0,017		3	14442,876	10609,1	0,179		28347,98707
14	2013	23212	25058,89	-480,40			27829,2333	-4617,23	0,040		3	15408,75648	7803,24	0,113		27829,2333
15	2014	28407	26875,60	1127,57			24578,49381	3828,51	0,018		3	17709,59495	10697,4	0,142		24578,49381
16	2015	35857	32715,47	4426,18			28003,17061	7853,83	0,048		3	30026,00846	5830,99	0,026		28003,17061
17	2016	50102	44917,86	9869,53			37141,64968	12960,55	0,067		3	18925,02831	31177	0,387		37141,64968
18	2017	51978	53101,76	8689,59			54787,38844	-2809,39	0,003		3	28455,52836	23522,5	0,205		54787,38844
19					1	61791,34										61791,34
20					2	70480,93										70480,93
21					3	79170,51										79170,51

Рис. 4. Розрахунок прогнозних значень чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) (тис.грн) ПрАТ «Полтавамаш» за допомогою адаптивної моделі Хольта на 2018-2020 рр. у MS Excel

Визначено похибку моделі як різницю між фактичними даними та прогнозом на цей період, а також точність прогнозу, яка становить 94,417% при коефіцієнті згладжування ряду $\alpha=0,6$; $\beta=0,7$ (послідовно перебираючи коефіцієнти α та β від 0 до 1 із кроком 0,1, було знайдено таке сполучення, яке дає максимальне значення точності прогнозу).

За результатами обчислень було побудовано графіки фактичного ряду, експоненційно-згладженого ряду та ряду з моделлю прогнозу на три роки (рис. 5).



Рис. 5. Графічне зображення динаміки чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) (тис.грн) ПрАТ «Полтавамаш» та прогноз на 2018-2020 рр. за допомогою адаптивної моделі Хольта

Отже, прогнозні значення чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) становлять: на 2018 рік - 61791,34 тис. грн.; 2019 рік - 70480,93 тис. грн.; 2020 рік - 79170,51 тис. грн.

Здійснено прогнозування доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) ПрАТ «Полтавамаш» за допомогою моделі Хольта-Вінтерса. Алгоритм побудови моделі має такий вигляд:

1. Будується експоненційно-згладжений часовий ряд:

$$L_t = \alpha \cdot Y_t / S_{t-s} + (1 - \alpha) \cdot (L_{t-1} - T_{t-1}) \quad (15)$$

де L_t – згладжена величина на поточний період; α – коефіцієнт згладження ряду; S_{t-s} – коефіцієнт сезонності попереднього періоду; Y_t – поточне значення ряду (наприклад, об'єм продаж); L_{t-1} – згладжена величина за попередній період; T_{t-1} – значення тренду за попередній період.

Коефіцієнт згладжування α задається вручну та знаходиться у діапазоні від 0 до 1.

Для першого періоду на початку даних експоненційно-згладжений ряд дорівнює першому значенню ряду $L_1 = Y_1$.

Сезонність у першому та другому періоді S_{t-s} дорівнює 1.

2. Визначається значення тренду:

$$T_t = \beta \cdot (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot T_{t-1} \quad (16)$$

де T_t – значення тренду на поточний період; β – коефіцієнт згладжування тренду; L_t – експоненційно-згладжена величина за поточний період; L_{t-1} – експоненціально-згладжена величина за попередній період; T_{t-1} – значення тренду за попередній період.

Коефіцієнт згладжування β задається вручну і знаходиться у діапазоні від 0 до 1.

Значення тренду для першого періоду дорівнює 0 ($T_1 = 0$).

3. Оцінюється сезонність:

$$S_t = q \cdot Y_t / L_t + (1 - q) \cdot S_{t-s} \quad (17)$$

де S_t – коефіцієнт сезонності для поточного періоду; q – коефіцієнт згладження сезонності; Y_t – поточне значення ряду (наприклад, об'єм продаж); L_t – згладжена величина за поточний період; S_{t-s} – коефіцієнт сезонності за той же період у попередньому сезоні.

Коефіцієнти сезонності для першого сезону (року) дорівнює 1.

4. Робиться прогноз на p періоди вперед :

$$\hat{Y}_{t+p} = (L_t + p \cdot T_t) \cdot S_{t-s+p} \quad (18)$$

де \hat{Y}_{t+p} – прогноз за методом Хольта-Вінтерса на p періоди вперед; L_t – експоненційно-згладжена величина за останній період; p – порядковий номер періоду, на який робимо прогноз; T_t – тренд за останній період; S_{t-s+p} – коефіцієнт сезонності на цей же період в останньому сезоні.

Для підбору коефіцієнтів згладженого ряду, тренду та сезонності α, β, q при яких прогноз буде максимально точним, необхідно послідовно перебрати усі значення α, β, q у діапазоні від 0 до 1 та знайти таке поєднання, при якому точність прогнозу буде максимально наближеною до 100%.

На рисунку 6 відображено розрахунок прогнозних значень чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) (тис.грн) ПрАТ «Полтавамаш» за допомогою адаптивної моделі Хольта-Вінтерса на 2018-2020 роки у MS Excel.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2			Коефіцієнт сезонності для 1 року =		1						
3			alfa	beta	q						
			0,2	0,5	0,5						
4	Рік	Продажі, грн.	Експоненціально-згладжений ряд, Lt	Значення тренда, Tt	Коефіцієнт сезонності попереднього періоду, St-s	Період прогнозу, p	Прогноз за методом Хольта $\hat{Y}_{t+p} = Lt + p \cdot Tt$	Прогноз для оцінки моделі	Похибка моделі	Відхилення похибки моделі від прогнозної моделі	Точність прогнозу
5	2002	10031,7	10031,7		1			10031,70	0,00	0,000	96,169%
6	2003	12403,3	10506,02	237,16	1,09			10031,70	2371,60	0,037	
7	2004	12434,5	11081,444	406,292	1,11			10743,18	1691,32	0,019	
8	2005	14135,4	12017,2688	671,0584	1,14			11487,74	2647,66	0,035	
9	2006	21069,4	14364,54176	1509,16568	1,30			12688,33	8381,07	0,158	
10	2007	14474,9	15593,94595	1369,284936	1,12			15873,71	-1398,81	0,009	
11	2008	22991	18168,78471	1972,061847	1,19			16963,23	6027,77	0,069	
12	2009	17241	19560,87725	1682,077191	1,04			20140,85	-2899,85	0,028	
13	2010	23842	21762,76355	1941,981748	1,07			21242,95	2599,05	0,012	
14	2011	26661	24295,99624	2237,607218	1,08			23704,75	2956,25	0,012	
15	2012	25052	26237,28276	2089,446872	1,02			26533,60	-1481,60	0,003	
16	2013	23212	27303,78371	1577,973909	0,93			28326,73	-5114,73	0,049	
17	2014	28407	28786,80609	1530,498147	0,96			28881,76	-474,76	0,000	
18	2015	35857	31425,24339	2084,467723	1,05			30317,30	5539,70	0,024	
19	2016	50102	36828,16889	3743,696611	1,21			33509,71	16592,29	0,110	
20	2017	51978	42853,0924	4884,310061	1,21			40571,87	11406,13	0,048	
21	2018					1	50160,39296	50160,39			
22	2019					2	63440,28113	63440,28			
23	2020					3	69539,90479	69539,90			

Рис. 6. Розрахунок прогнозних значень чистого доходу від реалізації продукції (тис.грн) ПрАТ «Полтавамаш» за допомогою адаптивної моделі Хольта-Вінтерса на 2018-2020 роки у MS Excel

Визначено похибку моделі як різницю між фактичними даними та прогнозом на цей період, а також точність прогнозу, яка становить 96,169% при коефіцієнті згладжування ряду $\alpha=0,2$; $\beta=0,5$. Послідовно перебираючи коефіцієнти α та β від 0 до 1 із кроком 0,1, було знайдено таке сполучення, яке дає максимальне значення точності прогнозу.

За результатами обчислень було побудовано графіки фактичного ряду, експоненційно-згладженого ряду та ряду з моделлю прогнозу на три роки (рис. 7).



Рис. 7. Графічне відображення динаміки чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг)(тис.грн) ПрАТ «Полтавамаш» та прогноз на 2018-2020 рр. за допомогою адаптивної моделі Хольта-Вінтерса

Було визначено прогнозні значення чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) на 2018 рік – 50160,4 тис. грн., 2019 рік – 63440,28 тис. грн., 2020 рік – 69539,9 тис. грн.

На основі отриманих результатів, складемо таблицю порівняння.

**Таблиця 2.
Порівняння отриманих результатів**

Роки прогнозу	Прогнозне значення чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг), тис.грн			Середнє прогнозне значення
	Модель Брауна	Модель Хольта	Модель Хольта-Вінтерса	
2018	60 248,28	61 791,34	50 160,4	57 376
2019	62 407,7	70 480,93	63 440,28	65 442,97
2020	64 567,13	79 170,51	69 539,9	71 092,51

З табл. 2 видно, що прогнозні значення чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) ПрАТ «Полтавамаш», отриманні за допомогою адаптивних моделей Брауна, Хольта та Хольта-Вінтерса відрізняються, що підтверджує доцільність комплексного використання зазначених моделей.

Слід зазначити, що адаптивна модель Хольта-Вінтерса, за показником точності прогнозу є найбільш точною. Похибка прогнозу складає 3,831 %. В перспективі можна використати коригувальні коефіцієнти для врахування показників точності прогнозу при визначенні середньозважених прогнозних значень.

Висновки. Отже, в ході дослідження розкрито сутність адаптивних моделей прогнозування, надано їх класифікацію, розроблено короткостроковий прогноз рівня чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) ПрАТ «Полтавамаш» за допомогою адаптивних моделей Брауна, Хольта та Хольта-Вінтерса.

Також було розкрито алгоритм побудови адаптивних моделей Брауна, Хольта та Хольта-Вінтерса для розрахунку прогнозних значень чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) у MS Excel. Усі моделі є адекватними до статистичних даних.

Література.

1. Brown, G. Robert, Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series / G. Robert Brown. – N.Y.: Dover Phoenix Editions, 2004. – 468 p.
2. Theil H., Wage S., Some observations on adaptive forecasting / H. Theil, S. Wage // Management Science. – 1964. – Vol. 10. – № 2. – P. 198-206.
3. Winters, P. R. Forecasting sales by exponentially weighted moving averages / P. R. Winters // Management Science. – 1960. – Vol. 6. – № 3. – P. 324-342.
4. Закаблук Г. О., Прогнозування доходів та витрат машинобудівного підприємства на основі методу Хольта-Вінтерса / Г.О. Закаблук // Економіка та держава. – 2018. – № 6. – С. 51 – 55.

5. Ткаченко І. С. Економіко-математичне моделювання фінансового результату підприємства / І. С. Ткаченко, О.В. Проскурів // *Економіка: реалії часу*. — 2017. — № 3 (31). — С. 84—94.
6. Клебанова Т. С. Прогнозування показників фінансової діяльності підприємства житлово-комунального господарства за допомогою адаптивних моделей / Т. С. Клебанова, О. О. Рудаченко // *Бізнес-інформ*. — 2015. — № 1. — С.143—148.
7. Семяновський В.М. *Методи соціально-економічного прогнозування: Навч. посіб.* — К.: Бізнес Медіа Консалтинг, - 2011. — 300 с.

References.

1. Brown, G. Robert (2004), *Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series*, Dover Phoenix Editions, New York, USA
2. Theil H., Wage S. (1964), “Some observations on adaptive forecasting”, *Management Science*, vol. 10, pp. 198-206.
3. Winters, P. R. (1960), “Forecasting sales by exponentially weighted moving averages”, *Management Science*, vol. 6, pp. 324-342.
4. Zapabluk, G.O. (2018), “Prediction of Income and Expenses of Machine-Building Enterprise on the basis of the Holt-Winters”, *Ekonomika ta derzhava*, vol. 6, pp. 51-55.
5. Tkachenko, I. S. (2017), “Economic-mathematical modeling of the financial result of the enterprise”, *Ekonomika: realii chasu*, vol. 3, pp. 84-94.
6. Klebanova, T. C. and Rudachenko, O.O. (2015), “Forecasting of indicators of financial activity of the enterprise of housing and communal services using adaptive models”, *Biznes-inform*, vol. 1, pp. 143-148.
7. Semyanovsky V.M. (2011), *Metody` social`no-ekonomichnogo prognovuvannya: Navch. posib* [Methods of Socio-Economic Forecasting: Teaching. Manual], Biznes Media Konsalting, Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 08.04.2019 р.