

УДК 658.5

**Прокопенко Ірина Вікторівна**

*студентка*

*кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

## **ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДУ ХОЛЬТА-ВІНТЕРСА ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНІВ ФІНАНСОВИХ ПОКАЗНИКІВ**

***Анотація.** В даній статті описана оптимізація методу Хольта-Вінтерса для прогнозування станів фінансових показників підприємства.*

***Ключові слова:** метод Хольта-Вінтерса, прогнозування, модифікація методу Хольта-Вінтерса.*

Експоненційне згладжування використовується в усьому світі тому, що це простий, швидкий та, що не менш важливо, недорогий метод. Експоненціальні методи згладжування - це клас методів, які формують прогнози за простими формулами, враховуючи тенденції та сезонні ефекти даних. Особливо доречно використовувати такі методи прогнозування для передбачення станів наступних фінансових показників:

- Стан фінансових коштів на розрахункових рахунках;
- Стан коштів в касі;
- Баланс підприємства (тобто його доходи та витрати);
- Оплати за продукцію;
- Витрати грошових коштів;
- Витрати на виробництво.

Метод Хольта-Вінтерса оцінює три параметри згладжування, які пов'язані зі злагодженим експоненційним рядом, трендом та сезонністю. В

свою чергу сезонні варіації можуть мати або адитивну, або мультиплікативну форму. Мультиплікативна версія використовується ширше і в середньому працює краще, ніж добавка ([1]; звичайно, якщо ряд даних містить деякі значення, рівні нулю, мультиплікативний метод Хольта-Вінтерса не може бути використаний). Проблемою, яка впливає на всі експоненціальні методи згладжування, є вибір параметрів згладжування та початкових значень, щоб прогнози краще вписувались у дані часових рядів.

Метою статті є вдосконалення методу прогнозування Хольта-Вінтерса задля зменшення похибки прогнозування. З результатів отриманих для тестових даних (тестові дані взяті з тестового комплексу продукту MASTER бухгалтерія, для якого власне і розробляється оптимізований метод прогнозування) видно, що запропонований метод є ефективнішим, ніж звичайний метод прогнозування Хольта-Вінтерса.

### **Метод Хольта-Вінтерса та його оптимізація**

Метод прогнозування Хольта-Вінтерса – це 3-параметрична модель прогнозу, яка враховує:

- Злагоджений експоненційний ряд;
- Тренд;
- Сезонність.

Рішення щодо того, який метод краще використовувати (адитивний чи мультиплікативний) залежить від характеристик часових рядів:

- Адитивний метод застосовується, коли сезонний компонент є постійним;
- Мультиплікативний метод використовується, коли розмір сезонного компонента пропорційний рівню тенденції. [2]

Іншими словами: якщо часовий ряд представлений на графіку, у разі адитивної сезонності серія демонструє постійні сезонні коливання незалежно від рівня змінної  $L_t$ ; у разі мультиплікативної сезонності розмір

сезонних коливань змінюється в залежності від загальної середньої величини змінної  $L_t$ .

### Метод Хольта-Вінтерса

Для прогнозування методом Хольта-Вінтерса необхідно виконати наступні кроки:

**КРОК 1.** Обчислення експоненційно-злагодженого ряду.

**КРОК 2.** Визначення значення тренду.

**КРОК 3.** Оцінка сезонності.

**КРОК 4.** Формування прогнозу. [3]

Розглянемо детальніше ці кроки.

Обчислення експоненційно-злагодженого ряду:

$$L_t = \alpha(Y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (1)$$

Визначення значенню тренду:

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (2)$$

Оцінка сезонності:

$$S_t = \gamma(Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (3)$$

Формування прогнозу на  $m$  періодів вперед:

$$F_{t+m} = L_t + b_t m + S_{t-s+m} \quad (4)$$

де  $L_t$  – злагоджена величина на період  $t$ ,

$Y_t$  – спостережувана величина (поточне значення ряду),

$b_t$  – оцінка тенденції часових рядів за час  $t$ ,

$S_t$  – оцінка сезонності в часі  $t$ ,

$\alpha, \beta, \gamma$  – параметри згладжування на інтервалі  $[0;1]$ ,

$m$  – кількість періодів, на які потрібно спрогнозувати,

$s$  – тривалість сезонності.

Для ініціалізації адитивного методу потрібні початкові значення змінної  $L_t$ , оцінка тренду  $b_t$  та оцінка сезонності  $S_t$ . Для визначення початкових оцінок потрібен принаймні один цілий сезон даних (тобто  $s$

даних). Ініціалізація змінної  $L_s$  обчислюється за допомогою наступної формули:

$$L_s = \frac{1}{s}(Y_1 + Y_2 + \dots + Y_s) \quad (5)$$

Для ініціалізації тренду більше підходить, якщо ми використовуємо цілі два сезони (тобто дані  $2s$ ):

$$b_s = \frac{1}{s} \left( \frac{Y_{s+1} - Y_1}{s} + \frac{Y_{s+2} - Y_2}{s} + \dots + \frac{Y_{s+s} - Y_s}{s} \right) \quad (6)$$

Сезонні індекси обчислюються як різниця між спостережуваним значенням та оцінкою змінної  $L_s$ :

$$S_1 = Y_1 - L_s, S_2 = Y_2 - L_s, \dots, S_s = Y_s - L_s \quad (7)$$

Найбільшими перевагами методу є низькі витрати, швидкий розрахунок та простота. Крім того, доведено, що цей метод (щодо витрат і самого розрахунку) і порівнянні із більш складними методами (наприклад, Бокс-Дженкінс); в деяких випадках результати, отримані за допомогою методу Хольта-Вінтерса, були навіть кращими, ніж більш складні методи ([4]).

### Оптимізований метод Хольта-Вінтерса

Єдина різниця між звичайним методом Хольта-Вінтерса та його вдосконаленим методом полягає в рівнянні для розрахунку рівня (1); всі інші рівняння - щодо сезонності ( $S_t$ ), тенденції ( $b_t$ ), прогнозу ( $F_t + m$ ) та ініціалізації методу - залишаються такими ж, як і при адитивному методі (2 – 7). Покращений метод прогнозування Хольта-Вінтерса для злагодженої величина на період  $t$  подано з рівнянням:

$$L_t = \alpha Y_t - S_{t-s} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (8)$$

У вдосконаленому методі Хольта-Вінтерса, на відміну від адитивного методу Хольта-Вінтерса, параметру згладжування присвоюється лише спостережуване значення  $Y_t$ , а не сезонність  $S_{t-s}$ .

Оптимізований метод Хольта-Вінтерса також належить до експоненціальних методів згладжування, який призначає експоненційно зменшення ваг у міру того, як спостереження старіють. Іншими словами, останнім спостереженням надається порівняно більша вага у прогнозуванні, ніж попереднім. За допомогою цього методу параметри згладжування також приймають значення для інтервалу  $[0; 1]$ . Чим вище значення параметра згладжування, тим нижче при згладжуванні.

### Розрахунки та результати прогнозування

Для дослідження було використано дані продукту MASTER бухгалтерія за період з 31.10.2017 року до 31.12.2020 року та розбито їх поквартально (рисунок 1).

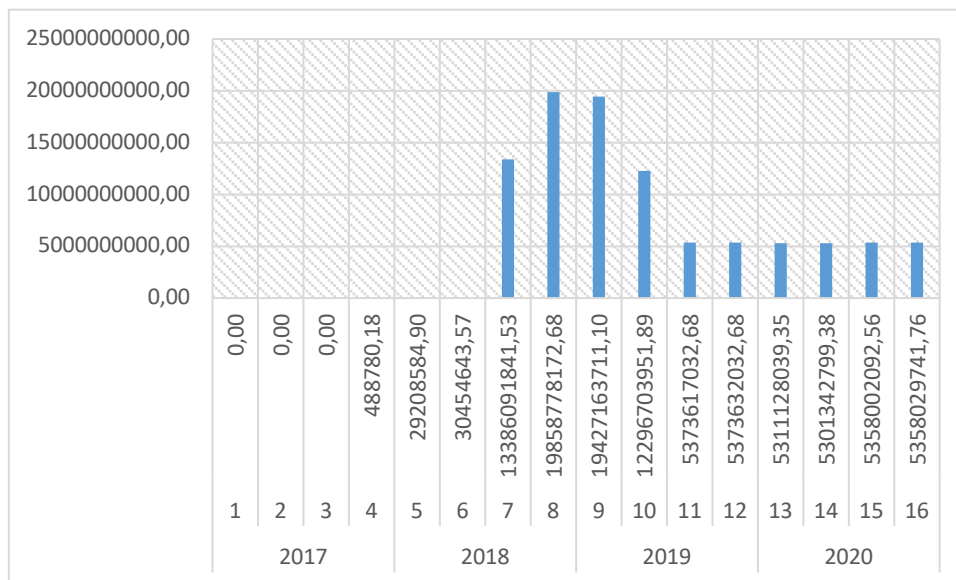


Рис. 1. Дані для дослідження

Нехай параметри згладжування матимуть наступні значення  $\alpha = 0,049877, \beta = 0,36112, \gamma = 0,001$ . А тривалість сезонності становитиме  $s = 4$ .

Результати прогнозування методом Хольта-Вінтерса представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Результати прогнозування методом Хольта-Вінтерса**

| Рік  | T  | $Y_t$          | $L_t$         | $b_t$         | $S_t$    | $F_t$          | $E^2$                    |
|------|----|----------------|---------------|---------------|----------|----------------|--------------------------|
| 2017 | 1  | 0              |               |               | 1,00     |                |                          |
|      | 2  | 0              |               |               | 1,00     |                |                          |
|      | 3  | 0              |               |               | 1,00     |                |                          |
|      | 4  | 488780,18      |               |               | 24378,12 |                |                          |
| 2018 | 5  | 29208584,90    | 1488363,02    | 534298,61     | 1,02     | 513158,30      | 823427507608327,00       |
|      | 6  | 30454643,57    | 3440763,39    | 1046403,52    | 1,01     | 30696947,92    | 58711396113,50           |
|      | 7  | 13386091841,53 | 671921463,06  | 242070276,54  | 1,02     | 33895406,96    | 178281149627413000000,00 |
|      | 8  | 19858778172,68 | 1858900852,33 | 583295855,33  | 1,01     | 14058013304,59 | 33648873054860600000,00  |
| 2019 | 9  | 19427163711,10 | 3289355906,69 | 889221985,29  | 1,02     | 21717679025,01 | 5246460403247230000,00   |
|      | 10 | 12296703951,89 | 4583485665,27 | 1035442280,38 | 1,01     | 22716519617,79 | 108572558511338000000,00 |
|      | 11 | 5373617032,68  | 5606692573,04 | 1031023842,62 | 1,02     | 16880189617,16 | 132401212641818000000,00 |
|      | 12 | 5373632032,68  | 6574667678,69 | 1008255682,73 | 1,01     | 10980309605,72 | 31434833407993400000,00  |
| 2020 | 13 | 5311128039,35  | 7469613025,94 | 967337054,38  | 1,02     | 11948299711,37 | 44052047803840500000,00  |
|      | 14 | 5301342799,38  | 8280555395,76 | 910859805,89  | 1,01     | 12780741065,29 | 55941398420043700000,00  |
|      | 15 | 5358002092,56  | 9000216055,82 | 841813970,35  | 1,02     | 13581898195,14 | 67632467106099500000,00  |
|      | 16 | 5358029741,76  | 9618381543,78 | 761050030,39  | 1,01     | 14358218148,38 | 81003391354580800000,00  |

Середньоквадратична похибка методу Хольта-Вінтерса становить  $MSE = 78388817682131100000,00$ .

Результати прогнозування модифікованим методом Хольта-Вінтерса представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

**Результати прогнозування модифікованим методом Хольта-Вінтерса**

| Рік  | T  | $Y_t$          | $L_t$          | $b_t$          | $S_t$    | $F_t$          | $E^2$                    |
|------|----|----------------|----------------|----------------|----------|----------------|--------------------------|
| 2017 | 1  | 0              |                |                | 1,00     |                |                          |
|      | 2  | 0              |                |                | 1,00     |                |                          |
|      | 3  | 0              |                |                | 1,00     |                |                          |
|      | 4  | 488780,18      |                |                | 24375,29 |                |                          |
| 2018 | 5  | 29208584,90    | 1912869,87     | 687597,27      | 1,01     | 31121454,77    | 3659071135460,63         |
|      | 6  | 30454643,57    | 28617428,58    | 10082842,39    | 1,00     | 59072072,15    | 818957218740722,00       |
|      | 7  | 13386091841,53 | 687013815,63   | 244201829,64   | 1,02     | 14073105657,16 | 471987982870783000,00    |
|      | 8  | 19858778172,68 | 13476908238,69 | 4774702338,97  | 1,00     | 33335686411,37 | 181627055674031000000,00 |
| 2019 | 9  | 19427163711,10 | 15300696023,77 | 3709068075,27  | 1,01     | 34727859734,87 | 234111298811763000000,00 |
|      | 10 | 12296703951,89 | 15547446878,81 | 2458756080,70  | 1,00     | 27844150830,70 | 241723104449403000000,00 |
|      | 11 | 5373617032,68  | 9615280437,96  | -571373860,28  | 1,02     | 14988897470,64 | 92453617900546100000,00  |
|      | 12 | 5373632032,68  | 5916493223,09  | -1700745370,89 | 1,00     | 11290125255,77 | 35004892058847500000,00  |
| 2020 | 13 | 5311128039,35  | 6986431811,03  | -700195979,68  | 1,01     | 12297559850,38 | 48810229450189000000,00  |
|      | 14 | 5301342799,38  | 5975912281,73  | -812260019,92  | 1,00     | 11277255081,11 | 35711527598981200000,00  |
|      | 15 | 5358002092,56  | 6075915717,85  | -482823440,67  | 1,02     | 11433917810,41 | 36916751810393300000,00  |
|      | 16 | 5358029741,76  | 5816745123,54  | -402057924,79  | 1,00     | 11174774865,30 | 33834523832258700000,00  |

Середньоквадратична похибка модифікованого методу Хольта-Вінтерса становить  $MSE = 61517934651454600000,00$ .

Таким чином, робимо висновок, що модифікований метод Хольта-Вінтерса працює точніше на 27% в порівнянні зі звичайним методом Хольта-Вінтерса, що означає, що він краще підходить для прогнозування станів фінансових показників підприємства.

### **Література**

1. Bermúdez, J.D., Segura, J.V. and Vercher, E., 2006. A decision support system methodology for forecasting of time series based on soft computing. *Computational Statistics & Data Analysis*, 51, 177-191.
2. Chatfield, C., 1978. The Holt-Winters Forecasting Procedure. *Journal of the Royal Statistical Society*, 27(3), 264-279.
3. Прогноз по методу експоненціального сглаживання с трендом и сезонностью Хольта-Винтерса. URL: <https://4analytics.ru/prognozirovanie/prognoz-po-metodu-eksponencialnogo-sglajvaniya-s-trendom-i-sezonnostyu-xolta-vintersa.html> (дата звернення: 31.03.2020)
4. Makridakis, S. and Hibon, M., 1979. Accuracy of forecasting: An empirical investigation. *Journal of the Royal Statistical Society*, 142(2), 97–145.