

МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НА ЗАМІННІ ЧАСТИНИ

Розглянуто основні види попиту, розкрито класифікацію нерегулярного попиту, описано метод віднесення попиту до одного з видів нерегулярного попиту. Здійснено аналіз існуючих кількісних методів прогнозування попиту. Наведено і проаналізовано метод Кростона як основний інструмент прогнозування попиту на замінні частини. Здійснено огляд існуючих модифікацій методу Кростона. Описано процес вибору оптимального значення ваги згладжування α , розглянуто методи визначення рівня похибок у процесі прогнозування, сформовано і зображено основні фактори впливу на процес і прогнозування попиту.

The basic types of demand are considered, the classification of intermittent demand is exposed, the method of taking demand to one of the types of intermittent demand is described. The analysis of existent quantitative methods of demand forecasting is carried out. The Croston's method is represented and analysed, as a basic tool of spare parts demand forecasting. The review of existent Croston's modifications is carried out. The process of optimal smoothing weight α value selection is described, the methods of computing level errors in the process of forecasting are considered, the main factors of influence to the process and demand forecasting are formed and represented.

Ключові слова: логістика, замінні частини, прогнозування попиту, модель Кростона.

Постановка проблеми. Для успішного функціонування будь-якого підприємства необхідним є задоволення потреб споживачів. Чим вища спроможність задоволення потреб, тим вища ймовірність успішності функціонування. Зазвичай, основними вимогами споживача до пропонованого товару є його висока якість, доступна ціна, відповідність заявленим властивостям, високий рівень сервісу, пропонованого разом із товаром тощо. Вимоги щодо рівня сервісу включають точність, безпечність доставки вантажу, вчасність, готовність, короткий термін виконання замовлення, гнучкість у постачанні. Задоволення перелічених вище умов споживача як до товару, так і до сервісу є ключовим фактором конкурентоспроможності підприємства за умов глобалізації ринків. Неврахування хоча б однієї із умов може спричинити втрату клієнта.

За умов світової економічної кризи створення товару, який відповідатиме вимогам клієнта щодо високої якості, доступної ціни, можливості короткого часу доставки, постійної наявності у магазині чи на складі є надзвичайно важким завданням, і вимагає збалансованості в управлінні товарним асортиментом, виробничим процесом тощо. Для підприємств, які спеціалізуються на виробництві і торгівлі замірними частинами, даний процес є ще важчим, оскільки замірні частини є специфічним товаром і характеризуються нерегулярним попитом, прогнозування якого є трудомістким і витратним процесом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання оптимізації управління товарним асортиментом, проблеми в управлінні асортиментом замірних частин, прогнозування попиту з використанням моделей експоненційного згладжування, ковзної середньої, моделей, які враховують напрямки трендів і явища сезонності, властивостей видів попиту, зокрема і видів характерних для замірних частин, вирішення проблем оптимальних складських запасів розглядаються у працях багатьох зарубіжних та вітчизняних науковців. Так, у працях Еверетте С., Гарднера Дж. [1], Фаам Х. [2], Ханк Д. [3], Крикавський Є.В., Косар Н.С., Мних О.Б. [4] досліджуються основні методи прогнозування, здійснюється висвітлення їх особливостей та сфер застосування. У працях Костенко А., Хіндман Р. [5], Бронникової Т.С. та Чернявського А.Г. [6] аналізуються можливі види попиту та здійснюється огляд характерного для замірних частин нерегулярного попиту. Праці таких науковців, як Варгезе В. [7], Юан Х. [8], Прет Д. [9], Смарт Ч. [10], Леонард М., Ельшаймер Б. [11] здійснюють огляд методів прогнозування нерегулярного попиту, їх порівняння та оцінку, наводять можливості аналізу досліджуваних об'єктів виходячи з отриманих прогнозів. У роботах таких вчених, як Шенстон Л., Хіндман Р. [12], Пойнтер Р. та Сані Б. [13] досліджено особливості методу Кростона, його сильні і слабкі сторони, оцінено можливі похибки у прогнозних значеннях обчислених цим методом, висвітлено існуючі модифікації методу та зображено шляхи зменшення похибок у наведених модифікаціях.

Формулювання цілей статті. Метою цієї роботи є огляд існуючих, за частотою виникнення, видів попиту, аналіз їх відмінностей, висвітлення найефективніших методів прогнозування попиту та особливостей їх застосування, розкриття характерних ознак нерегулярного попиту та методів ідентифікації його видів, висвітлення методів прогнозування нерегулярного попиту, зображення місця прогнозування у процесі управління товарним асортиментом.

Виклад основного матеріалу. Попит є одним із основних елементів будь-якого ринку, який вказує на очікування споживачів, їхні потреби і вимоги. Аналізуючи попит, можна сформулювати загальну картину взаємовідносин «споживач-виробник», яка може відображати ступінь задоволеності споживача, рівень орієнтації виробника на потреби споживачів, тісноту та тривалість взаємовідносин, тощо. Висвітлення основних параметрів попиту, зображення тенденцій можливе шляхом встановлення існуючого виду попиту. Відповідно до споживчої поведінки виділяють такі види попиту [6, с. 6]: від'ємний, відсутній, скритий,

спадаючий, нерегулярний, повноцінний, надмірний, нерациональний попит. Основні властивості наведених видів попиту та методи їх прогнозування розглянуто у табл. 1.

Таблиця 1

Види попиту та їхні характерні особливості

| Вид попиту | Метод прогнозування | Характеристика попиту |
|----------------|--|---|
| Від'ємний | Можливе застосування: - простої наївної моделі (у випадку обмежених фінансових і часових ресурсів); | Пропонований виробником товар або послуга не користується попитом, його придбання за можливості уникається та інколи здійснюється плата з метою уникнення даного товару чи послуги. Рідко зустрічається серед замінних частин до автомобілів. Можливий за умови усвідомлення споживачем явних переваг іншого товару. |
| Відсутній | - простої моделі усереднення; - моделі прогнозу за середньою величиною приросту (можливе використання у випадку прослідковування трендових явищ); | Споживач попри можливість не купує даний товар в силу незнання про його існування або незацікавленості у ньому. Притаманний замінним частинам до автомобілів, які уже досить довгий час не випускаються і рідко використовуються. |
| Скритий | - моделі на основі ковзної та подвійної ковзної середньої; - моделі експоненційно зваженої середньої; - методу Холта (використовується у випадку існування тренда; вимагає відповідних знань та більших затрат часу); | Проявляється існуванням попиту, проте неможливістю його задоволення в силу певних причин (відсутність товару, обмеження на продаж, вартість тощо). Властивий значній кількості замінних частин вищого цінового діапазону (ексклюзивні замінні частини), замінним частинам, розповсюдження яких заборонене на даній території тощо. |
| Спадаючий | - моделі на основі ковзної та подвійної ковзної середньої; - моделі експоненційно зваженої середньої; - методу Холта (використовується у випадку існування тренда; вимагає відповідних знань та більших затрат часу); | Попит, який проявляє тенденцію до зниження з причин насичення товаром, змін уподобань тощо. Даний вид попиту існує на всі види замінних частин до автомобілів, які уже досить довгий період не виготовляються, а також на автомобілі, кількість яких у використанні зменшується. Також виникає за умов зміни технологій виробництва або конструкції замінних частин тощо. |
| Повноцінний | | Існує за умов задоволеності виробників рівнем існуючого попиту, характеризується стабільністю або зростанням. Притаманний замінним частинам до автомобілів, які є новинками на ринку або ж нещодавно почали виготовлятися (1-3 роки). |
| Надмірний | - методу Вінтерса (використовується за наявності припущення про сезонний характер даних) | Характеризується вищим рівнем попиту, ніж існуюча пропозиція. Може бути викликано важкодоступністю ринків збуту, очікуваннями зміни ціни на замінні частини, погіршенням якості виробництва тощо. |
| Нерациональний | | Проявляється у вигляді попиту на шкідливі для здоров'я або заборонені товари. Притаманний замінним частинам, які використовуються, зазвичай, з ціллю модернізації автомобіля понад допустимі технічні норми. |
| Нерегулярний | Нестійкий | Просте та подвійне експоненційне згладжування |
| | Стрибокподібний | Метод Кростона та його модифікації |
| | Згладжений | |
| | Хаотичний | |
| | Попит викликаний сезонною потребою, форс-мажорними обставинами тощо. Даний вид попиту характерний, зазвичай, для замінних частин і агрегатів усіх груп: двигун, трансмісія, ходова частина, механізм керування, кузов та інші. | |

Виділяють також й інші види попиту. Так, наприклад, залежно від критерію поділ здійснюється на індивідуальний, ринковий і сумарний; за рівнем охоплення товарного асортименту – мікро- та макропити; по мірі задоволення: задоволений і незадоволений попит тощо. Окрім цього, попит на замінні частини, який характеризується нерегулярністю, також поділяють на такі види [2, с. 906, 14, с. 11, 15, с. 411, 16, с. 474]:

1. Нестійкий (erratic).
2. Стрибокподібний (intermittent).
3. Згладжений (smooth).
4. Хаотичний (lumpy).

Аналіз нерегулярного попиту проводиться шляхом аналізу двох його основних складових: середньої величини інтервалів між існуючими моментами виникнення попиту та середньої величини варіації попиту. Для якісного аналізу нерегулярного попиту необхідним є визначення його виду. Віднесення до відповідного виду здійснюють відносно результатів проведеного розрахунку двох параметрів: ADI (Average interdemand interval) – середньої величини інтервалів між моментами виникнення попиту та CV^2 (Squared coefficient of variation) – квадрату коефіцієнту варіації попиту. ADI та CV^2 розраховуються за такими формулами [15, с. 410]:

$$ADI = \frac{\sum_{i=1}^N q_i}{N}, \quad (1)$$

$$CV^2 = \left(\frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (d_i - \bar{d})^2}{N}}}{\bar{d}} \right)^2, \quad (2)$$

де q_i – величина інтервалу у i -й період між моментом зникнення і моментом появи попиту;

i – індекс попиту – це індекс невід’ємних значень попиту;

N – кількість моментів, коли попит становив > 0 ;

d_i – фактичний обсяг попиту за i -й момент часу;

\bar{d} – середня величина додатніх значень попиту.

Величина \bar{d} розраховується наступним чином [4, с. 410]:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{N}. \quad (3)$$

Як свідчать дослідження [2, с. 906] точці $A (1,32; 0,49)$ характерні властивості будь-якого із перелічених видів нерегулярного попиту. Значення вищі або нижчі точки A як по осі абсцис, так і по осі ординат характерні для відповідних видів нерегулярного попиту, зображених на рис. 1. Згладжений (smooth) попит характеризується низькою ймовірністю виникнення, зазвичай, йому характерні нульові значення, коли ж він виникає величина попиту є досить незначною.

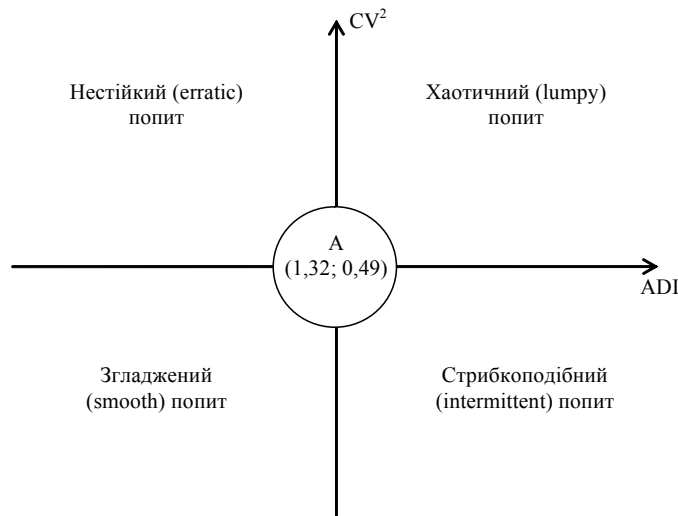


Рис. 1. Види нерегулярного попиту та поділ їх відповідно до величини варіації та частоти виникнення попиту

Даний вид попиту знаходиться нижче обох координат точки $ADI < A, CV^2 < A$. Несгійкий (erratic) попит також рідко виникає, попри це, у момент виникнення йому притаманний високий рівень варіації. Значення параметру: $ADI < A$ та $CV^2 > A$. Стрибкоподібний (intermittent) попит знаходиться нижче точки A по осі y та вище точки A по осі x ($ADI > A$ та $CV^2 < A$), що свідчить про низький рівень варіації у момент виникнення, та високий рівень частоти виникнення даного попиту. Хаотичний (lumpy) попит є найбільш динамічним із всіх видів нерівномірного попиту. Значення параметрів ADI та $CV^2 > A$ вказує на високий рівень як варіацій величини попиту, так і на його високу частоту виникнення. Для замінних частин притаманний кожен із перелічених видів. Віднесення до того чи іншого виду залежить від типу замінної частини, її функціональних і якісних властивостей, терміну напрацювання на відмову, умов експлуатації, періоду виготовлення частин тощо.

Для ефективного управління номенклатурою замінних частин окрім віднесення асортиментних позицій до відповідних видів як нерегулярного так і інших видів попиту необхідним є також на основі інтеграції ABC, XYZ, FSN та VED аналізів виявити та проранжувати асортимент замінних частин за вартісною характеристикою, стабільністю попиту, оборотністю (інтенсивністю продаж) та критичністю у

споживанні. Наведений характер ранжування дасть змогу для підприємства сконцентрувати увагу на найбільш важливих асортиментних позиціях. На рис. 2 зображено можливі варіанти груп заміних частин після інтеграції наведених вище аналізів асортиментних позицій. Окрім цього наведено, у яких саме групах превалюють ті чи інші заміні частини до автомобіля. Всі заміні частини були поділені на шість видів (в залежності від характеру, складу ремонтних робіт, функціональних властивостей заміної частини): двигун, трансмісія, механізми керування, ходова частина, кузов та інші (входять всі інші заміні частини, які не увійшли у перераховані вище види).

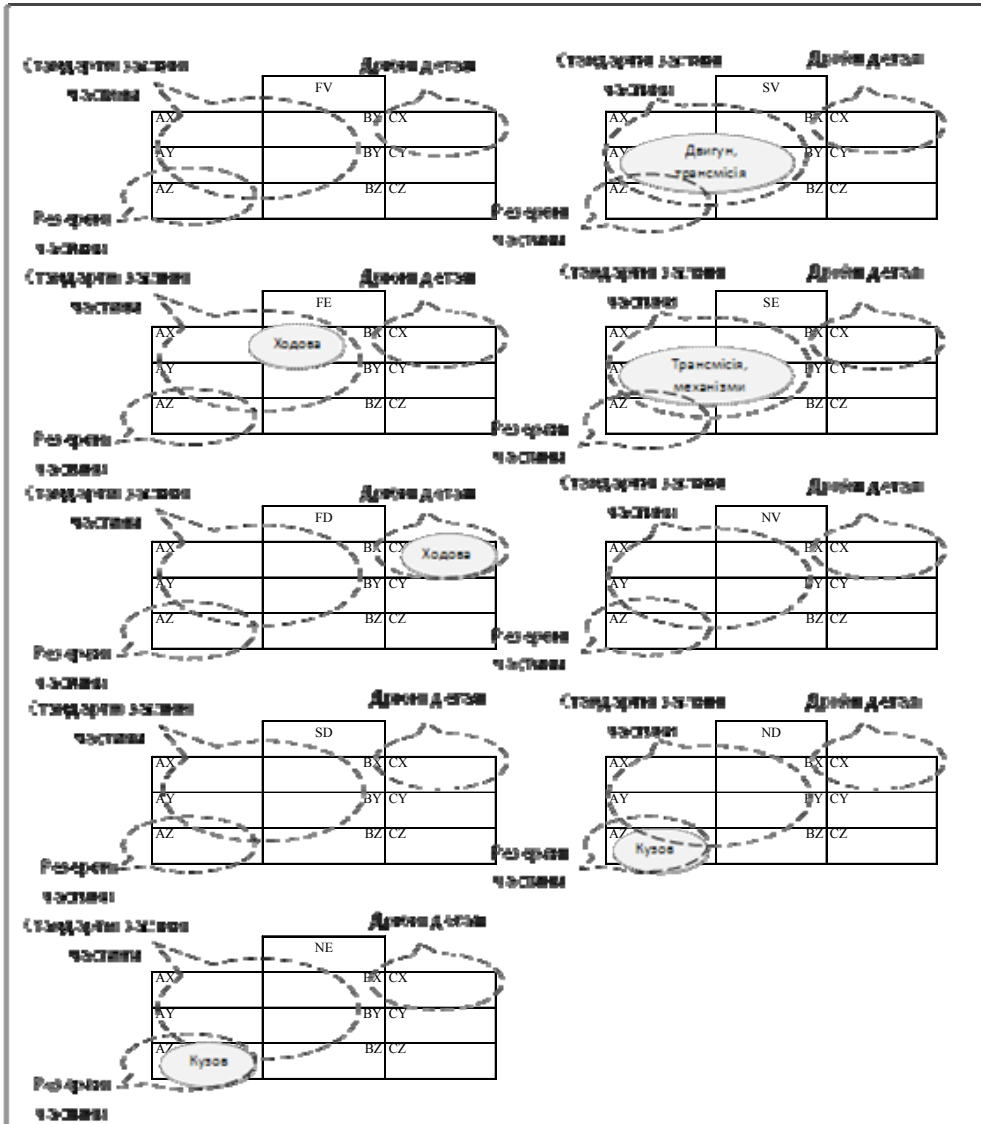


Рис. 2. Варіанти груп заміних частин після інтеграції ABC, XYZ, FSN та VED аналізів

Кожне підприємство, яке здійснює виробництво і складування товарів стикається із проблемою оптимізації складських запасів – формування достатнього для задоволення потреб споживачів асортименту та кількості товарів за мінімальних витрат на їх складування. Досягнення ж оптимальних показників можливе шляхом правильного визначення майбутнього попиту на товари. Прогнозування попиту є трудомістким, витратним, а основне складним, стосовно точності визначення, процесом. Для підприємств, товари яких характеризуються нерегулярним попитом (зазвичай підприємств, які здійснюють виготовлення заміних частин) прогнозування становить ще більшу проблему, оскільки не завжди очевидна наявність певного тренду, оскільки попит на заміні частини спричинюється форс-мажорними обставинами.

Прогнозування попиту на основі існуючих даних є одним із основних завдань будь-якого маркетингового відділу на підприємстві. Існує велика кількість методів прогнозування, які загалом поділяють на якісні, кількісні і комбіновані. Кількісні методи дають найбільш точний прогноз, проте й характеризуються важкістю у реалізації і вимагають наявності відповідних знань у відповідальній за прогноз людини. Основні кількісні методи прогнозування та їх короткий опис наведено у табл. 2 [3, с. 138, 4, с. 155]:

Основні кількісні методи прогнозування

| Назва моделі | Формула розрахунку | Короткий опис моделі | Пояснення складових формул |
|---|---|--|--|
| Проста найвна модель | $\hat{Y}_{t+1} = Y_t$ | Прогноз будується на припущенні, що майбутнє значення є ідентичним попередньому періоду | Y_t - значення об'єкта у досліджуваній період t ; \hat{Y}_{t+1} - прогноз значення об'єкта на момент часу $t+1$ (на наступний період від періоду дослідження); |
| | $\hat{Y}_{t+1} = Y_t + (Y_t - Y_{t-1})$ | Дана модель адаптує попередню формулу до можливого існування тренду | |
| Проста модель усереднення | $\hat{Y}_{t+1} = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t Y_i$ | Даний вид моделі припускає, що тенденція попередніх періодів може бути інтерпретована і на майбутні періоди | |
| Модель прогнозу за середньою величиною приросту | $\hat{x}_t = \frac{Y_{t+1}}{Y_t} * 100$ $x = \frac{\sum_{i=1}^{t-1} x_i}{(t-1)}$; $\hat{Y}_{t+1} = \frac{Y_t * x}{100}$ | Застосовується у випадку постійно зростаючого або спадного тренду | \hat{x}_t - відсоток приросту у період t ; x - середня величина приросту (у відсотках); Y_t - значення об'єкта у досліджуваній період t ; |
| Модель на основі ковзної середньої | $\hat{Y}_{t+1} = \frac{(Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2} + \dots + Y_{t-k+1})}{k}$ | Враховує інформацію про об'єкт тільки із певної вибраної кількості попередніх даних | k - число прогнозних даних використаних при підрахунку; |
| Модель на основі подвійної ковзної середньої | $M_t = \hat{Y}_{t+1} = \frac{(Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2} + \dots + Y_{t-k+1})}{k}$ $M'_t = \frac{(M_t + M_{t-1} + M_{t-2} + \dots + M_{t-k+1})}{k}$ $a_t = M_t + (M_t - M'_t) = 2M_t - M'_t$ $b_t = \frac{2}{k-1}(M_t - M'_t)$ $\hat{Y}_{t+p} = a_t + b_t p$ | Застосування моделі проводиться у кілька етапів: 1) здійснюється прогноз на майбутній період використовуючи усереднення наперед визначеної кількості попередніх даних; 2) даний прогноз тим же методом знову усереднюється (формула визначення M'_t) 3) обчислюються коефіцієнти та проводиться прогноз на вказаний період p . | p - кількість майбутніх періодів, на які необхідно зробити прогноз; a_t та b_t - коефіцієнти періоду t ; \hat{Y}_t - прогноз значення об'єкта на момент часу t (останній прогноз); α - вага, значення якої знаходиться у межах: $0 \leq \alpha \leq 1$; |
| Модель експоненційно зваженої середньої | $\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + (1-\alpha)\hat{Y}_t$ | Полягає у згладжуванні за допомогою ваги α останніх значень ряду, присвоюючи старішим значенням меншу вагу | |
| Метод Холта | $L_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$ $\hat{Y}_{t+p} = L_t + pT_t$ | Даний метод дає можливість проаналізувати існуючий тренд даних і врахувати його тенденцію у майбутньому прогнозі | L_t - експоненційно зважена величина ряду у момент t ; α - вага для даних ряду: $0 \leq \alpha \leq 1$; β - вага для даних тренду: $0 \leq \beta \leq 1$; T_t - величина оцінки тренду; \hat{Y}_{t+p} - прогноз значення об'єкта на момент часу $t+p$ (на p періодів вперед); |
| Метод Вінтерса | $L_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1-\alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$ $S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1-\gamma)S_{t-s}$ $\hat{Y}_{t+p} = (L_t + pT_t)S_{t-s+p}$ | Метод є модифікацією попереднього і застосовується з метою врахування фактора сезонності у прогнозі. Для цього окрім ваг для даних ряду (α) та ваг для даних тренду (β) застосовується вага для даних про сезонність (γ). Вона застосовується для згладжування даних про сезонність за допомогою чого знаходиться коефіцієнт сезонності (S_t). Даний коефіцієнт у процесі прогнозування коректує дані з поправкою на сезонність | γ - вага для даних про сезонність: $0 \leq \gamma \leq 1$; S_t - величина оцінки сезонності; s - тривалість періоду сезонності; |

Попри велику кількість перерахованих методів прогнозування та їхню відносну ефективність під час прогнозування стабільного та сезонного попиту застосування їх в умовах нерегулярного попиту є нерациональним. Використання зазначених методів призводить до великої кількості викривлень у прогнозі

відносно реальних величин. Внаслідок цього необхідним є використання альтернативних методів прогнозування адаптованих спеціально для попиту характерного замінним частинам. Одним із основних методів прогнозування нерегулярного попиту є метод Кростона [17, с. 117]. Особливість даного методу полягає у прогнозуванні з використанням відокремленого аналізу додатніх розмірів попиту та інтервалів між двома позитивними попитамі застосовуючи при цьому просте експоненційне згладжування. Оновлення даних про попит здійснюється тільки після виникнення його нового позитивного значення. Високий рівень точності прогнозу за даним методом спричинений саме відособленим експоненційним згладженням розмірів та інтервалів між двома додатніми попитамі. Розрахунок згладжених величин та згладжених інтервалів між двома ненульовими попитамі здійснюється за допомогою таких формул [2, с. 908]:

$$Z_t = (1 - \alpha)Z_{t-1} + \alpha D_t, \quad (4)$$

$$P_t = (1 - \alpha)P_{t-1} + \alpha Q_t, \quad (5)$$

де Z_t – це згладжений прогноз розміру попиту на період t ;

D_t – розмір ненульового (позитивного) попиту у період t ;

P_t – це згладжений прогноз розміру інтервалу між двома позитивними попитамі у період t ;

Q_t – розмір інтервалу між двома додатніми попитамі у період t ;

α – вага згладжування для розміру попиту та розміру інтервалу між двома позитивними попитамі визначається в межах $[0; 1]$;

Після визначення згладжених значень розміру попиту та інтервалу між двома позитивними попитамі здійснюють розрахунок прогнозного значення за наступною формулою:

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{Z_t}{P_t}. \quad (6)$$

Метод Кростона є ефективним засобом прогнозування попиту на товари з нерегулярною структурою споживання. Проте йому притаманні й ряд недоліків, які призводять до неточностей у підрахунках. Часткове виправлення даних похибок можливе шляхом використання модифікацій методу Кростона. Так, наприклад, Синтетос і Бойлан [18, с. 490] виділяють три основні модифікації методу:

– виправлений метод Кростона:

$$\hat{Y}_{t+1} = Z_t \frac{1}{P_t c^{P_t-1}}; \quad (7)$$

– метод зменшення похибок:

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{Z_t}{P_t} - \left(\frac{\alpha}{2 - \alpha} Z_t \frac{(P_t - 1)}{P_t^2} \right); \quad (8)$$

– метод апроксимації:

$$\hat{Y}_{t+1} = (1 - \frac{\alpha}{2}) \frac{Z_t}{P_t}. \quad (9)$$

Усі названі методи підрахунку прогнозного значення розміру попиту за одиницю часу базуються на використанні корекції, яка зменшує величину похибок пов'язаних із класичним методом Кростона.

Окрім виділених методів заслуговують на увагу також:

– метод Левена і Зегерштедта:

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha \frac{Z_t}{P_t} + (1 - \alpha) \hat{Y}_t; \quad (10)$$

– метод Шейла:

$$\hat{Y}_{t+1} = \left(1 - \frac{\alpha}{2 - \alpha} \right) \frac{Z_t}{P_t}; \quad (11)$$

– метод Тойнтера і Сані:

$$\hat{Y}_{t+1} = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{Z_t}{P_t + \frac{\alpha}{2}} \quad (12)$$

Вибір оптимального значення α як для моделей Кростона і його модифікацій так і загалом для моделей побудованих на експоненційному згладжуванні створює передумови для підвищення точності прогнозу. Процес вибору оптимального значення α можна поділити на такі етапи:

1. Послідовний розрахунок прогнозних значень попиту певного i -о періоду із поступовою зміною ваги згладжування α від 0,1; 0,2; 0,3; ... до 0,9.

2. Здійснення розрахунку середньоквадратичної похибки (Mean squared error – MSE) обчислених прогнозних значень із реальними даними.

3. Вибір тієї ваги згладжування, за якої середньоквадратична похибка становила найменше значення.

Для наочного зображення рівня неточності прогнозу та можливості порівняння, а отже й вибору найоптимальнішого методу прогнозування, доцільним є визначення рівня похибок у здійсненому прогнозі. Найпростіший метод розрахунку похибки прогнозу наведено у наступній формулі [3, с. 110]:

$$e_t = Y_t - \hat{Y}_t, \quad (13)$$

де e_t – похибка прогнозу за період t ;

Y_t – поточне значення досліджуваного об'єкта у час t ;

\hat{Y}_t – прогнозне значення досліджуваного об'єкта у час t ;

Одним із варіантів виявлення величини похибки є усереднене абсолютне відхилення (Mean Absolute Deviation – MAD). Розраховується за формулою:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^t |Y_i - \hat{Y}_i|. \quad (14)$$

Для більш явного зображення розміру відхилення прогнозу від фактичних даних застосовують метод середньоквадратичної похибки (Mean Squared Error – MSE). Даний метод завдяки піднесенню кожного відхилення від реальних значень до квадрату створює більш значне і наочне зображення присутньої помилки. Формула розрахунку має такий вигляд:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^t (Y_i - \hat{Y}_i)^2. \quad (15)$$

Для виявлення похибки у процентному відношенні застосовують метод середньої (Mean Absolute Percentage Error – MAPE) та середньої абсолютної (Mean Percentage Error – MPE) процентної похибки:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^t \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i}, \quad (16)$$

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^t \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)}{Y_i}. \quad (17)$$

Наведені методи визначення похибок у прогнозі уможливають наочне виділення неявних або мало помітних, тим не менш, важливих для аналізу неточностей прогнозування, які можуть слугувати підґрунтям для подальших досліджень поведінки та характеру попиту, його структури, та застосування більш складних і точних методів прогнозування.

З метою встановлення найефективнішого методу прогнозування для різних видів нерегулярного попиту пропонується наступні чотири приклади (відповідно для кожного з видів нерегулярного попиту):

Приклад 1: Нехай аналізований часовий ряд становить 24 місяці. Припустимо, що попит на замінні частини у цей період становив:

Таблиця 3

Попит на змінні частини за 24 місяці

| Місяць (t) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|-------------------------|---|---|----|---|---|---|---|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Попит (D _t) | 0 | 0 | 19 | 0 | 0 | 0 | 4 | 18 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 19 | 0 | 0 | 0 | 5 | 4 | 5 |

Провівши розрахунок параметрів ADI та CV^2 , були отримані значення 2,67 та 0,45 відповідно, що є властивим для стрибкоподібного виду нерегулярного попиту. У табл. 4 наведено основні результати розрахунків прогнозних значень попиту на 25 місяців з використанням розглянутих вище модифікацій методу Кростона. Значення α прийнято в розмірі 0,08, а значення $c = 100$.

Таблиця 4

Розрахунок параметрів ADI та CV^2

| | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
|--------------------|----|------|------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|-----|
| SES ¹ | Yt | 0 | 0 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,4 | 2,7 | 3,9 | 3,6 | 3,3 | 3 | 2,8 | 2,6 | 2,6 | 2,4 | 2,2 | 3,5 | 3,3 | 3 | 2,8 | 2,9 | 3 | 3,2 | |
| | Zt | 0 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,7 | 3 | 4,1 | 4,1 | 4,1 | 4,1 | 4,1 | 4,1 | 4 | 4 | 4 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,1 | 5,1 | | |
| Кростон | Pt | 0 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 1 | 1 | 1 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | | |
| | Qt | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | 1 | | |
| | Yt | 0 | 0 | 6,3 | 6,3 | 6,3 | 6,3 | 3,2 | 5,2 | 6,8 | 6,8 | 6,8 | 6,8 | 6,8 | 6,8 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 3,7 | 3,7 | 3,8 |
| | Yt | 0 | 0 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0 | 3,02 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 0 | 0 | 0 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0 | 5,13 | 5,12 | |
| ВипК ² | Yt | 0 | 0 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 3,1 | 5 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 3,5 | 3,5 | 3,6 | |
| SBA ³ | Yt | 0 | 0 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 3,3 | 5,4 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 3,6 | 3,6 | 3,7 | |
| BR ⁴ | Yt | 0 | 0 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 3 | 5 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 3,5 | 3,5 | 3,6 | |
| Shale ⁵ | Yt | 0 | 0 | 0,5 | 1 | 1,4 | 1,8 | 1,9 | 2,2 | 2,5 | 2,9 | 3,2 | 3,5 | 3,7 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4,1 | 4,1 | 4 | 4 | 4 | |
| L&S ⁶ | Yt | 0 | 0 | 7,3 | 7,3 | 7,3 | 7,3 | 3,3 | 5,4 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 3,6 | 3,6 | 3,7 | |
| TS ⁷ | Yt | 0 | 0 | 15,3 | 10,7 | 20,7 | 16 | 11,2 | 7,8 | 15,7 | 11 | 7,7 | 30,6 | 66,4 | 46,5 | 32,5 | 39,6 | 58,9 | 41,2 | 35,5 | 26,3 | 19,6 | 13,7 | 12,9 | 9 | 6,3 |
| Кростон | Zt | 15,3 | 15,3 | 23,9 | 18,2 | 18,2 | 18,2 | 23 | 23 | 23 | 41,3 | 73,9 | 73,9 | 73,9 | 68,5 | 79,2 | 79,2 | 62 | 44,9 | 32,6 | 32,6 | 26,1 | 26,1 | 26,1 | | |
| | Pt | 0,6 | 0,6 | 1,02 | 1,01 | 1,01 | 1,01 | 1,61 | 1,61 | 1,61 | 2,02 | 1,71 | 1,71 | 1,71 | 2,1 | 1,77 | 1,77 | 1,84 | 1,58 | 1,41 | 1,41 | 1,28 | 1,28 | 1,28 | | |
| | Qt | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | | |
| | Yt | 0 | 25,5 | 25,5 | 23,4 | 18 | 18 | 18 | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 20,4 | 43 | 43 | 43 | 32,6 | 44,7 | 44,7 | 33,7 | 28,3 | 23,1 | 23,1 | 20,3 | 20,3 | 20,3 | |
| ВипК ² | Yt | 0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 18,2 | 18,2 | 18,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73,9 | 73,9 | 73,9 | 0 | 79,2 | 79,2 | 0,3 | 44,9 | 32,6 | 32,6 | 26,1 | 26,1 | 26,1 | |
| SBA ³ | Yt | 0 | 21,7 | 21,7 | 19,9 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 12,1 | 12,1 | 12,1 | 17,3 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 27,7 | 38 | 38 | 28,6 | 24 | 19,6 | 19,6 | 17,3 | 17,3 | 17,3 | |
| BR ⁴ | Yt | 0 | 28,5 | 28,5 | 23,4 | 17,9 | 17,9 | 17,9 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 18,5 | 39,8 | 39,8 | 39,8 | 29,6 | 41,2 | 41,2 | 31 | 26,4 | 21,9 | 21,9 | 19,5 | 19,5 | 19,5 | |
| Shale ⁵ | Yt | 0 | 7,7 | 13 | 16,1 | 16,7 | 17,1 | 17,4 | 16,4 | 15,8 | 15,3 | 16,8 | 24,7 | 30,2 | 34 | 33,6 | 36,9 | 39,2 | 37,6 | 34,8 | 31,3 | 28,8 | 26,3 | 24,5 | 23,2 | |
| L&S ⁶ | Yt | 0 | 28,9 | 28,9 | 23,4 | 17,9 | 17,9 | 17,9 | 13,4 | 13,4 | 13,4 | 18,7 | 40 | 40 | 40 | 29,8 | 41,5 | 41,5 | 31,2 | 26,5 | 22 | 22 | 19,5 | 19,5 | 19,5 | |
| TS ⁷ | Yt | 0 | 28,9 | 28,9 | 23,4 | 17,9 | 17,9 | 17,9 | 13,4 | 13,4 | 13,4 | 18,7 | 40 | 40 | 40 | 29,8 | 41,5 | 41,5 | 31,2 | 26,5 | 22 | 22 | 19,5 | 19,5 | 19,5 | |

¹ SES – simple exponential smoothing (просте експоненційне згладжування);

² ВипК – виправлений метод Кростона;

³ SBA – Syntetos-Boylan approximation (метод апроксимації запропонований авторами Синтетос і Бойлан);

⁴ BR – Bias reduction (метод зменшення помилок);

⁵ Shale – метод Шейла;

⁶ L&S – Leven & Segerstedt (метод Левена і Зегерштедта);

⁷ TS – метод Тойнтера і Сані.

Здійснивши розрахунок середньоквадратичної похибки (MSE) для кожного з наведених методів нами було встановлено, що за умов існуючого стрибкоподібного попиту найбільш точний прогноз можливо здійснити за допомогою методу Левена і Зегерштедта.

Приклад 2: Нехай аналізований часовий ряд становить 24 місяці. Попит на заміні частини у цей період становив:

Таблиця 5

Попит на змінні частини за 24 місяці

| Місяць (t) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|-------------------------|---|----|---|----|---|---|---|----|---|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Попит (D _t) | 0 | 51 | 0 | 44 | 5 | 0 | 0 | 34 | 0 | 0 | 84 | 150 | 0 | 0 | 56 | 104 | 0 | 22 | 5 | 4 | 0 | 11 | 0 | 0 |

Провівши розрахунок параметрів ADI та CV^2 були отримані значення 1,75 та 0,84 відповідно, що є властивим для хаотичного виду нерегулярного попиту. У табл. 6 наведено основні результати розрахунків прогнозних значень попиту на 25 місяців з використанням розглянутих вище модифікацій методу Кростона. Значення α прийнято в розмірі 0,3, а значення $c = 100$.

Таблиця 6

| | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|--------------------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SES | Yt | 0 | 15,3 | 10,7 | 20,7 | 16 | 11,2 | 7,8 | 15,7 | 11 | 7,7 | 30,6 | 66,4 | 46,5 | 32,5 | 39,6 | 58,9 | 41,2 | 35,5 | 26,3 | 19,6 | 13,7 | 12,9 | 9 | 6,3 |
| | Zt | 15,3 | 15,3 | 23,9 | 18,2 | 18,2 | 18,2 | 23 | 23 | 23 | 41,3 | 73,9 | 73,9 | 73,9 | 68,5 | 79,2 | 79,2 | 62 | 44,9 | 32,6 | 32,6 | 26,1 | 26,1 | 26,1 | |
| Кростон | Pt | 0,6 | 0,6 | 1,02 | 1,01 | 1,01 | 1,01 | 1,61 | 1,61 | 1,61 | 2,02 | 1,71 | 1,71 | 1,71 | 2,1 | 1,77 | 1,77 | 1,84 | 1,58 | 1,41 | 1,41 | 1,28 | 1,28 | 1,28 | |
| | Qt | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | Yt | 0 | 25,5 | 25,5 | 23,4 | 18 | 18 | 18 | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 20,4 | 43 | 43 | 43 | 32,6 | 44,7 | 44,7 | 33,7 | 28,3 | 23,1 | 23,1 | 20,3 | 20,3 | 20,3 |
| | Yt | 0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 18,2 | 18,2 | 18,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73,9 | 73,9 | 73,9 | 0 | 79,2 | 79,2 | 0,3 | 44,9 | 32,6 | 32,6 | 26,1 | 26,1 | 26,1 |
| SBA ³ | Yt | 0 | 21,7 | 21,7 | 19,9 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 12,1 | 12,1 | 12,1 | 17,3 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 27,7 | 38 | 38 | 28,6 | 24 | 19,6 | 19,6 | 17,3 | 17,3 | 17,3 |
| BR ⁴ | Yt | 0 | 28,5 | 28,5 | 23,4 | 17,9 | 17,9 | 17,9 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 18,5 | 39,8 | 39,8 | 39,8 | 29,6 | 41,2 | 41,2 | 31 | 26,4 | 21,9 | 21,9 | 19,5 | 19,5 | 19,5 |
| Shale ⁵ | Yt | 0 | 7,7 | 13 | 16,1 | 16,7 | 17,1 | 17,4 | 16,4 | 15,8 | 15,3 | 16,8 | 24,7 | 30,2 | 34 | 33,6 | 36,9 | 39,2 | 37,6 | 34,8 | 31,3 | 28,8 | 26,3 | 24,5 | 23,2 |
| L&S ⁶ | Yt | 0 | 28,9 | 28,9 | 23,4 | 17,9 | 17,9 | 17,9 | 13,4 | 13,4 | 13,4 | 18,7 | 40 | 40 | 40 | 29,8 | 41,5 | 41,5 | 31,2 | 26,5 | 22 | 22 | 19,5 | 19,5 | 19,5 |
| TS ⁷ | Yt | 0 | 28,9 | 28,9 | 23,4 | 17,9 | 17,9 | 17,9 | 13,4 | 13,4 | 13,4 | 18,7 | 40 | 40 | 40 | 29,8 | 41,5 | 41,5 | 31,2 | 26,5 | 22 | 22 | 19,5 | 19,5 | 19,5 |

Розрахунок середньоквадратичної похибки (MSE) для кожного з наведених методів дав змогу виявити, що за умов існуючого хаотичного попиту найбільш точний прогноз можливо здійснити за допомогою методу Шейла.

Приклад 3: Нехай аналізований часовий ряд становить 24 місяці. Попит на замінні частини у цей період становив:

Таблиця 7

Попит на змінні частини за 24 місяці

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|---|---|----|---|---|---|----|---|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Місяць (t) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| Попит (D _t) | 0 | 2 | 5 | 44 | 5 | 0 | 5 | 34 | 0 | 5 | 84 | 150 | 0 | 4 | 56 | 104 | 54 | 22 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Провівши розрахунок параметрів ADI та CV^2 були отримані значення 1,25 та 1,36 відповідно, що є властивим для нестійкого виду нерегулярного попиту. У табл. 8 наведено основні результати розрахунків прогнозних значень попиту на 25 місяців з використанням розглянутих вище модифікацій методу Кростона. Значення α прийнято в розмірі 0,26, а значення $c = 100$.

Таблиця 8

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|-----|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| SES | Yt | 0 | 0,5 | 1,7 | 12,7 | 10,7 | 7,9 | 7,2 | 14,1 | 10,5 | 9 | 28,5 | 60,1 | 44,5 | 34 | 39,7 | 56,4 | 55,8 | 47 | 36,1 | 27,7 | 20,5 | 15,2 | 11,2 | 8,3 |
| | Zt | 0,5 | 1,7 | 12,7 | 10,7 | 10,7 | 9,2 | 15,7 | 15,7 | 12,9 | 31,4 | 62,2 | 62,2 | 47,1 | 49,4 | 63,6 | 61,1 | 50,9 | 39 | 29,9 | 29,9 | 29,9 | 29,9 | 29,9 | |
| Кростон | Pt | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | |
| | Qt | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Yt | 0 | 1 | 2,6 | 17,2 | 13,3 | 13,3 | 8,3 | 14,4 | 14,4 | 9,7 | 25,3 | 52,9 | 52,9 | 33,8 | 38,3 | 52,4 | 52,7 | 45,6 | 35,9 | 28,1 | 28,1 | 28,1 | 28,1 | 28,1 |
| ВипК | Yt | 0 | 0,003 | 1,68 | 12,6 | 10,6 | 10,6 | 0,04 | 15,6 | 15,6 | 0,06 | 31,3 | 62,2 | 62,2 | 0,23 | 49,4 | 63,5 | 61,1 | 50,9 | 38,9 | 29,8 | 29,8 | 29,8 | 29,8 | 29,8 |
| SBA | Yt | 0 | 0,9 | 2,3 | 15 | 11,5 | 11,5 | 7,2 | 12,5 | 12,5 | 8,5 | 22 | 46 | 46 | 29,4 | 33,3 | 45,6 | 45,9 | 39,7 | 31,2 | 24,4 | 24,4 | 24,4 | 24,4 | 24,4 |
| BR | Yt | 0 | 1,1 | 2,8 | 18,1 | 13,7 | 13,7 | 8,1 | 14,2 | 14,2 | 9,4 | 24,6 | 51,7 | 51,7 | 32,4 | 37 | 51 | 51,7 | 44,9 | 35,4 | 27,8 | 27,8 | 27,8 | 27,8 | 27,8 |
| Shale | Yt | 0 | 0,9 | 2,2 | 14,6 | 11,3 | 11,3 | 7 | 12,3 | 12,3 | 8,3 | 21,5 | 45 | 45 | 28,8 | 32,6 | 44,6 | 44,9 | 38,8 | 30,5 | 23,9 | 23,9 | 23,9 | 23,9 | 23,9 |
| L&S | Yt | 0 | 0,3 | 0,9 | 5,1 | 7,2 | 8,8 | 8,7 | 10,2 | 11,3 | 10,9 | 14,6 | 24,6 | 31,9 | 32,4 | 34 | 38,7 | 42,4 | 43,2 | 41,3 | 37,9 | 35,3 | 33,4 | 32,1 | 31 |
| TS | Yt | 0 | 1,2 | 2,8 | 18,2 | 13,8 | 13,8 | 8,1 | 14,2 | 14,2 | 9,4 | 24,6 | 51,7 | 51,7 | 32,5 | 37,1 | 51 | 51,7 | 44,9 | 35,5 | 27,8 | 27,8 | 27,8 | 27,8 | 27,8 |

Розрахунок середньоквадратичної похибки (MSE) дав змогу виявити, що за умов існуючого нестійкого попиту найбільш точний прогноз можливо здійснити за допомогою методу простого експоненційного згладжування.

Приклад 4: Нехай аналізований часовий ряд становить 24 місяці. Попит на замінні частини у цей період становив:

Таблиця 9

Попит на змінні частини за 24 місяці

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Місяць (t) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| Попит (D _t) | 0 | 2 | 5 | 8 | 5 | 0 | 5 | 3 | 0 | 5 | 6 | 4 | 0 | 4 | 2 | 1 | 1 | 3 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Провівши розрахунок параметрів ADI та CV^2 були отримані значення 1,25 та 0,21 відповідно, що є властивим для згладженого виду нерегулярного попиту. У табл. 10 наведено основні результати розрахунків прогнозних значень попиту на 25 місяців з використанням розглянутих вище модифікацій методу Кростона. Значення α прийнято в розмірі 0,21, а значення $c = 100$.

Таблиця 10

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|-----|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| SES | Yt | 0 | 0,4 | 1,4 | 2,8 | 3,2 | 2,6 | 3,1 | 3,1 | 2,4 | 3 | 3,6 | 3,7 | 2,9 | 3,1 | 2,9 | 2,5 | 2,2 | 2,4 | 2,9 | 3,1 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1,2 |
| | Zt | 0,4 | 1,4 | 2,8 | 3,2 | 3,2 | 3,6 | 3,5 | 3,5 | 3,8 | 4,3 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 3,7 | 3,1 | 2,7 | 2,8 | 3,2 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | |
| Кростон | Pt | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 1 | 1 | 1 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | |
| | Qt | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Yt | 0 | 1 | 2,6 | 4,3 | 4,5 | 4,5 | 3,7 | 3,5 | 3,5 | 3,2 | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 3,2 | 3 | 2,6 | 2,3 | 2,5 | 2,9 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 |
| ВипК | Yt | 0 | 0,002 | 1,38 | 2,77 | 3,23 | 3,23 | 0,01 | 3,48 | 3,48 | 0,01 | 4,26 | 4,2 | 4,2 | 0,02 | 3,7 | 3,14 | 2,69 | 2,75 | 3,22 | 3,38 | 3,38 | 3,38 | 3,38 | 3,38 |
| SBA | Yt | 0 | 0,9 | 2,3 | 3,9 | 4,1 | 4,1 | 3,3 | 3,2 | 3,2 | 2,9 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 2,8 | 2,7 | 2,4 | 2,1 | 2,2 | 2,6 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,8 |
| BR | Yt | 0 | 1,2 | 2,8 | 4,6 | 4,8 | 4,8 | 3,7 | 3,5 | 3,5 | 3,1 | 3,6 | 3,7 | 3,7 | 3,1 | 2,9 | 2,6 | 2,3 | 2,4 | 2,9 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 |
| Shale | Yt | 0 | 0,9 | 2,3 | 3,8 | 4 | 4 | 3,2 | 3,1 | 3,1 | 2,8 | 3,2 | 3,3 | 3,3 | 2,8 | 2,6 | 2,3 | 2,1 | 2,2 | 2,6 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,8 |
| L&S | Yt | 0 | 0,2 | 0,7 | 1,5 | 2,1 | 2,6 | 2,8 | 3 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,4 | 3,3 | 3,2 | 3 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 3 | 3 | 3 | 3,1 |
| TS | Yt | 0 | 1,2 | 2,8 | 4,7 | 4,8 | 4,8 | 3,7 | 3,5 | 3,5 | 3,1 | 3,6 | 3,7 | 3,7 | 3,1 | 2,9 | 2,6 | 2,3 | 2,4 | 2,9 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 |

Розрахунок середньоквадратичної похибки (MSE) дав змогу виявити, що за умов існуючого згладженого попиту найбільш точний прогноз можливо здійснити за допомогою методу Шейла.

Попри отримані результати, додатково нами було проведено аналіз декількох часових рядів, які містили різну структуру даних. Результатом дослідження стало підтвердження ефективності простого експоненційного згладжування за умов нестійкого попиту. Однак, із зміною структури даних (їхньої щільності на певних проміжках часу, варіації тощо) у прикладах з іншими видами попиту було встановлено, що ефективність модифікацій методу Кростона може змінюватись на користь як однієї, так й іншої модифікації. Проте у переважаючій більшості випадків ефективність змінювалась на користь або методу Шейла, або ж методу Левена і Зегерштедта.

Метод Кростона і його модифікації у порівнянні з іншими методами прогнозування побудованими на технології експоненційного згладжування дають можливість більш точно прогнозувати попит на товари, яким властива нерегулярність споживання, а отже створюють передумови для більш оптимального управління товарним асортиментом.

У процесі аналізу попиту та прогнозування його майбутніх значень, окрім розмірів та інтервалів між двома невід'ємними попитомі слід також враховувати й інші властивості, які здатні скоригувати можливу майбутню його поведінку. Основні фактори впливу, які необхідно враховувати під час вибору моделі прогнозування та проведення безпосереднього прогнозування попиту наведені на рис. 3.

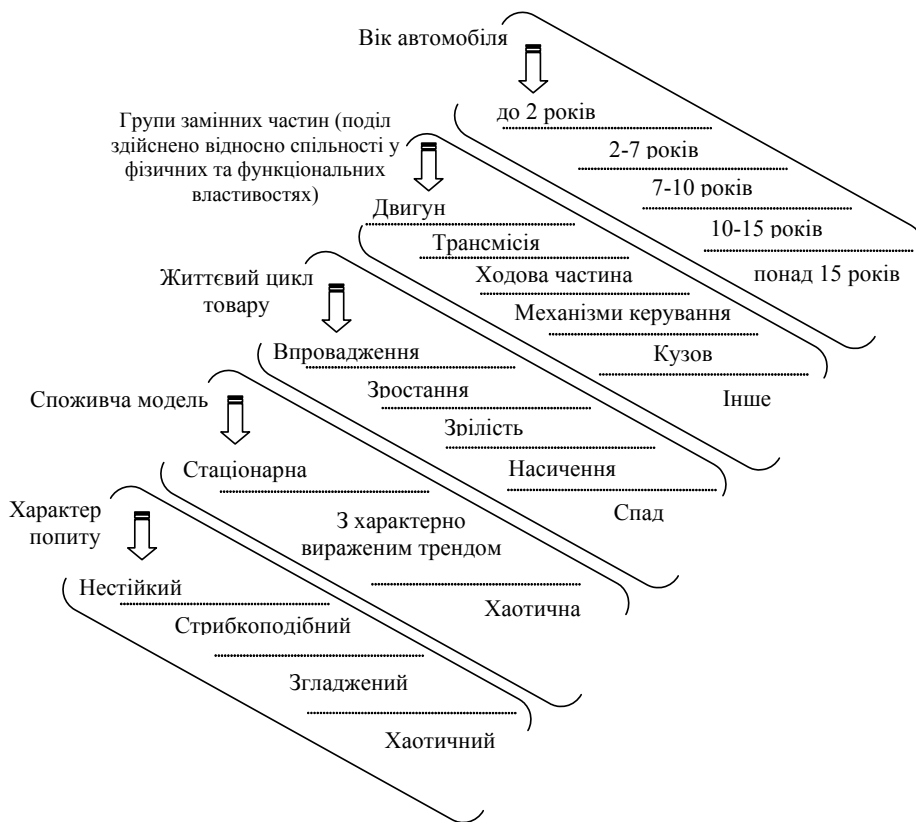


Рис. 3. Фактори впливу на процес і методи прогнозування попиту

Врахування зображених на рис. 3 факторів сприяє вибору необхідної моделі прогнозування та допомагає сформулювати коректну оцінку отриманих даних, а невеликі значення наведених вище методів оцінки похибок у прогнозі свідчатимуть про правильність вибору моделі для проведення прогнозу.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Кожне підприємство стикається із проблемою оцінки майбутнього рівня попиту на свої товари у короткостроковій чи довгостроковій перспективі. Причиною цього є бажання мінімізувати свої витрати на складування продукції, тобто виготовляти стільки товарів, скільки потребує на даному етапі, на певному ринку споживач. Особливо актуальним дане питання є для підприємств, спеціалізованих на виробництві заміних частин, попит на які є зазвичай нерегулярним та важко прогнозованим. Для вирішення даної проблеми було запропоновано застосування спеціалізованого методу прогнозування попиту на заміні частини та його модифікації, які найоптимальніше враховують особливості нерегулярного попиту. Проведений аналіз часових рядів з різною структурою попиту дав можливість виявити, що найбільш ефективним методом прогнозування нестійкого попиту є використання простого експоненційного згладжування. Для всіх інших видів залежно від характеру та структури попиту, найбільшу ефективність показують саме модифікації методу Кростона. Вибір однієї окремо взятої

модифікації не можливий, оскільки їхня ефективність змінюється на користь інших із зміною структури даних. Проте у більшості випадків найефективнішими виявились саме методи Шейла та Левена і Зегерштедта.

Шляхи виявлення сезонності попиту, методи нормування статистичних даних як передумова здійснення коректного прогнозування, висвітлення значення прогнозування попиту на замінні частини для підприємств автомобілебудівної галузі, висвітлення можливостей скорочення термінів поставок за рахунок коректного прогнозування попиту, оптимізація рівня спеціалізації підприємства, раціоналізація вибору постачальника замічних частин можуть слугувати темами подальших наукових досліджень.

Література

1. Everette S., Gardner, Jr. Exponential smoothing: the state of the art – part 2 // Bauer college of business. – Houston. – 2005. – 81p.
2. Pham H. Springer handbook of engineering statistics // Springer verlag. – 2006. – 1120p.
3. Ханк Д. Бизнес-прогнозирование / Д. Ханк, А. Райтс, Д. Учичерн. – [7-е изд.]. – К. : Вильямс, 2003. – 656 с.
4. Маркетингові дослідження / [Крикавський Є. В., Косар Н.С., Мних О.Б., Сорока О.А.]. – Львів : Інтеллект-Захід, 2004. – 288 с.
5. Kostenko A., Hyndman R. A note on the categorization of demand patterns // robjhyndman.com/papers/idcat.pdf. – 2006. – 4p.
6. Бронникова Т. С. Маркетинг / Т. С. Бронникова, А. Г. Чернявский. – Таганрог, 1999. – 103 с.
7. Vijith Varghese, Manuel Rossetti A Meta Forecasting Methodology for Large Scale Inventory Systems with Intermittent Demand // Department of Industrial Engineering. – Fayetteville. – 2009. - 6p.
8. Yuan X., Cai T. New forecasting algorithms for intermittent demands // SIMTech technical reports. – Volume 9, number 4. – 2008. – 233p.
9. Pratt D., DeYong C. Forecasting and Inventory Planning for Parts with Intermittent Demand - A Case Study // Oklahoma State University. – Stillwater. – 2003. – 5p.
10. Smart C. Accurate Intermittent Demand Forecasting for Inventory Planning: New Technologies and Dramatic Results // APICS, International Conference and Exposition. - Nashville. – 2002. 9p.
11. Michael Leonard, Bruce Elsheimer Small Improvements Causing Substantial Savings - Forecasting Intermittent Demand Data Using SAS® Forecast Server // SAS Institute Inc. – New York. – 2008. – 15p.
12. Shenstone L., Hyndman R. Stochastic models underlying Croston's method for intermittent demand forecasting // Department of econometrics and business statistics, Monash university. – Working paper 1, 2003. – 18p.
13. Teunter R., Sani B. On the bias of Croston's forecasting method // Lancaster University Management School. – 2006. – 12p.
14. Howard A., Eaves C. Forecasting for the ordering and stockholding of consumable spare parts // Department of Management Science. - The Management School, Lancaster University. – 2002. – 355p.
15. Manzini R., Pham H., Reqattieri A., Ferrari E. Maintenance for industrial systems // Springer verlag. – 2009. – 479p.
16. Boylan J., Syntetos A., Karakostas G. Classification for forecasting and stock control: a case study // Journal of the operational research society. – № 59. – 2008. – 473–481 p.
17. Lawrence K., Geurts M. Advances in business and management forecasting // Elsevier. – First edition 2008. – 312 p.
18. Kobbacy K., Murthy P. A complex system maintenance handbook // Springer verlag. – 1 edition 2008. – 657 p.

Надійшла 09.10.2010