

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГУ  
ЗАПАСНИХ ЧАСТИН ДЛЯ СТАНЦІЙ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ  
АВТОМОБІЛІВ З УРАХУВАННЯМ ВТРАЧЕНИХ ПРОДАЖІВ**

*Хаврук В.О.*, Національний транспортний університет, Київ, Україна, khavruk@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4686-4109

**MATHEMATICAL MODEL OF FORECASTING AND DEFINITION  
OF THE SIZE OF SPARE PARTS FOR AUTOMOTIVE SERVICE  
STATIONS WITH CONSIDERATION OF LOSS OF SALES**

*Khavruk V.O.*, National Transport University, Kyiv, Ukraine, khavruk@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4686-4109

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ОБЪЁМА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ СТАНЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО  
ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ С УЧЕТОМ УПУЩЕННЫХ ПРОДАЖ**

*Хаврук В.А.*, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, khavruk@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4686-4109

**Постановка проблеми.** Підвищення ефективності функціонування станцій технічного обслуговування автомобілів (СТОА) є актуальним комплексним питанням. Одним із напрямів підвищення ефективності СТОА є удосконалення системи управління запасами запасних частин (деталей для автомобілів). При цьому першочергове значення має аналіз діяльності СТОА за минулий період часу, а до уваги необхідно брати: фактичні обсяги реалізації і запити на запчастини, появу нових моделей автомобілів, конкурентну політику на автосервісному ринку і т.д.

Повністю врахувати всі випадкові чинники, які впливають на обсяги реалізації запчастин в умовах СТОА неможливо, але на початкових етапах удосконалення системи управління запасами СТОА доцільно розробити математичну модель визначення потреби в запасних частинах (з/ч).

**Аналіз літературних джерел** свідчить, що проблема управління запасами запчастин в СТОА є важливою, з однієї сторони в роботі СТОА досить часто виникають випадки незадоволеного запиту на запчастини через їх відсутність безпосередньо в складі і як наслідок, тривалим процесом доставки «під клієнта»; а з іншої сторони розширення номенклатури складських запасів призводить до значного обсягу «заморожених» коштів і великих складських площ. Отже, за таких умов, необхідно здійснювати наближене прогнозування обсягів і номенклатури запасних частин. Таке прогнозування, як правило, є короткостроковим (1-2 роки), а формалізація виконується шляхом розробки відповідних математичних моделей.

Проблему управління запасами в умовах СТОА розглянули в дослідженнях зокрема: Агафонов О. В. [1], Буянов В. В. [2], Грішин О. С. [3], Таджикиєв А. А. [4] та ін.

Як показують дослідження, розробка математичних моделей визначення потреби в запчастинах базується на статистичних даних щодо обсягів реалізації запчастин до певних моделей автомобілів за певний період часу. З однієї сторони такий підхід «наближає» математичну модель до реального попиту на конкретні запчастини на конкретну модель автомобіля, а з іншої сторони втрачається «універсальність» моделі.

Зважаючи на це, необхідно розглянути загальнотеоретичні основи математичної моделі для визначення потреби в запасних частинах в умовах СТОА.

**Метою статті** є аналіз математичної моделі прогнозування та визначення обсягу запасних частин для станцій технічного обслуговування автомобілів з урахуванням втрачених продажів.

**Головний розділ.** Для визначення потреби СТОА в запасних частинах пропонується використати дані фактичної витрати деталей. Фактична витрата з/ч, що реалізовується через послуги СТОА можна визначити за період часу  $T$  таким чином [1, с. 60]:

$$Q_{СТОА} = \sum_{t=1}^T q_{СТОА_t}, \quad (1)$$

де  $q_{СТОА_t}$  – фактична щоденна витрата запасної частини на СТОА, шт.;  $T$  – період часу, днів.

Якщо при СТОА існує магазин з реалізації запасних частин і відділ замовлень, то формула набуває вигляду [1, с. 60]:

$$Q_{СТОА} = \sum_{t=1}^T (q_{СТОА_t} + q_{маг_t} + q_{зам_t}), \quad (2)$$

де  $q_{маг_t}$  – фактична щоденна реалізація запасної частини через магазин, що діє при сервісній станції, шт.;  $q_{зам_t}$  – фактична щоденна реалізація запасної частини через відділ замовлення, що існує при СТОА, шт.

Номенклатура деталей, що зберігається на складі дилерської СТОА, налічує  $n$ -у кількість найменувань, тому витрата по усій номенклатурі становить [1, с. 60]:

$$Q_{СТОА} = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T (q_{СТОА_{it}} + q_{маг_{it}} + q_{зам_{it}}), \quad (3)$$

Визначена фактична витрата запасних частин на СТОА, проте, отримана ізольована система не має зворотних зв'язків із споживачами і не реагує на зміни попиту і ситуацію на ринку. Для забезпечення зворотного зв'язку методики, що розробляється, з потребою клієнтів СТОА в запасних частинах, пропонується враховувати незадоволені заявки (попит). При обліку незадоволених вимог в запасних частинах працівники СТОА повинні дотримуватися наступних правил і послідовність дій:

1) Впродовж робочого дня, співробітники СТОА повинні реєструвати звернення клієнтів і виникнення вимог в запасних частинах, відсутніх на складі. При цьому, у разі виникнення потреби в запасній частині і її наявності на складі підприємства, клієнт відмовляється від купівлі, то така вимога не повинна враховуватися;

2) Співробітник фірми зобов'язаний точно визначити з/ч (її заводський, каталожний номери) і внести її в список.

В результаті обсяг незадоволеного попиту по одному найменуванню запасної частини за період роботи СТОА  $T$  становитиме [1, с. 61]:

$$Q_{вт.пр.} = \sum_{t=1}^T q_{вт.пр._t}, \quad (4)$$

де  $q_{вт.пр._t}$  – втрачені продажі запасної частини за день роботи СТОА, шт.

Але потреба в запасній частині і її реалізація можуть значно відрізнятись навіть у разі постійної наявності цієї деталі на складі підприємства. Клієнт СТОА може просто відмовитися від купівлі цієї деталі з різних причин: дорожняча, незадовільна якість, погане обслуговування, відношення з боку персоналу фірм і т.д. Тому у формулу (4) вводиться додатковий коефіцієнт, який відбиває ймовірність придбання (купівлі) запасної частини клієнтом автосервісного підприємства. Ймовірність придбання запасної частини може бути підрахована, виходячи із співвідношення кількості куплених деталей цього найменування до загального числа вимог для цього найменування в однаковий інтервал часу. А тому, ймовірність придбання запасної частини клієнтом може бути представлена як [1, с. 62]:

$$k_{куп} = \frac{\sum_{t=1}^T (q_{СТОА_t} + q_{маг_t} + q_{зам_t})}{\sum_{t=1}^T (q_{зв.СТОА_t} + q_{зв.маг_t} + q_{зв.зам_t})}, \quad (5)$$

де  $k_{куп}$  – ймовірність купівлі запасної частини;  $q_{СТОА_t}$ ,  $q_{маг_t}$ ,  $q_{зам_t}$  – загальний обсяг продажів запасної частини на СТОА, в магазині та у відділі замовлення, шт.;  $q_{зв.СТОА_t}$ ,  $q_{зв.маг_t}$ ,  $q_{зв.зам_t}$  – загальна кількість вимог на запасну частину з боку власників автомобілів на СТОА, в магазині та у відділі замовлення, шт.

Проте, визначити  $k_{куп}$  за формулою (5) можна тільки у тому випадку, якщо запасна частина обов'язково постійно наявна на складі і потреба в ній  $\sum_{t=1}^T (q_{зв.СТОА_t} + q_{зв.маг_t} + q_{зв.зам_t})$  повністю задоволена. А так, як однією з умов реєстрації вимоги в запасній частині як втраченого продажу, є її відсутність на складі підприємства, формула (5) знаходження ймовірності купівлі з/ч неприйнятна. Для визначення  $k_{куп}$  використовується метод експертних оцінок.

Отже, втрачені продажі запасної частини за період роботи СТОА  $T$  можна визначити як:

$$Q_{вт.пр.} = \sum_{t=1}^T k_{куп} \cdot q_{вт.пр_t}, \quad (6)$$

Для усієї номенклатури запасних частин  $n$ , втрачені продажі становитимуть:

$$Q_{\Sigma вт.пр.} = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T k_{куп_i} \cdot q_{вт.пр_t}, \quad (7)$$

де  $k_{куп_i}$  – ймовірність купівлі клієнтом СТОА для  $i$ -го найменування запасної частини.

Таким чином, повна потреба СТОА в запасних частинах по усій номенклатурі з урахуванням втрачених продажів становитиме [1, с. 63]:

$$Q_{СТОА} = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T (q_{СТОА_t} + q_{маг_t} + q_{зам_t} + k_{куп_i} \cdot q_{вт.пр_t}) \quad (8)$$

Потреба і попит на запасні частини нерівномірні впродовж року, тому СТОА, що використовують у своїй роботі метод визначення потреби за реальною витратою [4] або змішаним методом [2], намагаються брати до уваги потребу за аналогічний період попередніх років роботи. Таким чином, з'являється можливість компенсації впливу сезонної варіації потреби в запасних частинах.

Проте, окрім сезонної варіації існують сталі тенденції щодо розвитку попиту на запасні частини. Такі тенденції фахівці в області економіки називають трендом (від англійського «trend» – тенденція) [5, с. 14; 6, с. 13]. За допомогою моделей розвитку ринку і попиту на запасні частини можна отримати короткостроковий або оперативний прогноз. При цьому, в моделі прогнозування розвитку потреби в запасних частинах на СТОА окремо наявні значення загального розвитку ринку і сезонної варіації.

При побудові прогнозу розрізняють моделі з адитивною і мультиплікативною компонентою. Цю відмінність необхідно враховувати при побудові тренду.

Моделлю з адитивною компонентою називається така модель, в якій варіація значень змінної в часі описується якнайкраще шляхом складання окремих компонент.

Для випадку прогнозування потреби в запасних частинах найбільш доцільно використати мультиплікативну модель, в якій значення сезонної компоненти не є константою, а являє собою певну частку трендового значення.

Вибір на користь мультиплікативної моделі зроблений з міркування того, що зі збільшенням чисельності певної марки (моделі) автомобіля і зростання попиту на запчастини, коливання сезонного попиту також збільшуються, а при зменшенні попиту на деталі спостерігається зворотна ситуація.

Отже, потреба в запасних частинах для мультиплікативної моделі визначатиметься за формулою:

$$Q_{прог.попит} = Y \cdot S, \quad (9)$$

де  $Q_{прог.попит}$  – значення прогнозованого попиту на запасні частини, шт.;  $Y$  – трендове значення;  $S$  – сезонна варіація.

Для зміни трендового значення був обраний параболічний закон. Для неуніфікованих деталей це парабола другого порядку, для уніфікованих деталей більш високого порядку. Взагалі значення порядку параболи для уніфікованої з/ч можна вибрати, як [1, с. 64]:

$$n = m + 1, \quad (10)$$

де  $n$  – порядок параболи;  $m$  – кількість моделей автомобілів, на які встановлюється ця деталь.

Необхідно намагатися апроксимувати тренд попиту на запасні частини параболою якомога меншого порядку, оскільки це зменшує складність обчислень. Часто деякі недосвідчені фахівці приймають періодичну сезонну хвилю (зростання або падіння попиту) за коливання тренду і пропонують для вирішення завдань але для прогнозування використати параболу більш високого порядку недоцільно. Так що рекомендується використати для встановлення типу тенденції інші

простіші моделі тренду, але на досить короткому проміжку часу 2-3 роки. Найчастіше використовується лінійна модель.

Отже, для неуніфікованих деталей приймається параболічна модель другого порядку, яка має вигляд [1, с. 65]:

$$\hat{y}_i = a + b \cdot t_i + c \cdot t_i^2, \quad (11)$$

де  $\hat{y}_i$  – рівень тренду для періоду або моменту з номером;  $a$  – вільний член рівняння, рівний середньому рівню тренду для періоду(моменту) з нульовим номером;  $b$  – середня абсолютна зміна за прийняту одиницю часу;  $c$  – прискорення лінії тренду.

Для уніфікованих з/ч обирається лінійна модель або окремий випадок параболічної моделі другого порядку з параметром  $c = 0$ . Отже, рівняння тренду для прогнозування потреби в уніфікованій з/ч буде мати вигляд [1, с. 65]:

$$\hat{y}_i = a + b \cdot t_i, \quad (12)$$

де  $b$  – головний параметр лінійного тренду – його константа – середня абсолютна зміна за прийняту одиницю часу.

Величина параметрів  $a$  і  $b$  для лінійної моделі тренду визначається за методом найменших квадратів шляхом прирівнювання часткових перших похідних функції

$$f(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bt_i)^2 \text{ до нуля, тобто: } \frac{\partial f}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bt_i) \cdot (-1) = 0;$$

$$\frac{\partial f}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bt_i) \cdot (-1) = 0.$$

Після алгебраїчних перетворень отримують систему двох рівнянь за методом найменших квадратів для прямої [1, с. 66; 6, с. 6; 7, с. 35]:

$$\begin{cases} na + b \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n y_i \\ a \sum_{i=1}^n t_i + b \sum_{i=1}^n t_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i t_i \end{cases} \quad (13)$$

Вирішуючи ці рівняння з двома невідомими за даними фактичного тимчасового ряду, а в нашому випадку за обсягами потреби запасних частин в певний аналізований період часу, отримують значення  $a$  і  $b$  відповідно. Якщо номери періодів (моментів) часу відраховуються від початку ряду так, що перший період (момент) позначений номером  $t = 1$ , то вільний член  $a$  є рівнем тренду для попереднього періоду (моменту), а не першого в ряді, як часто помилково вважають. Для першого періоду рівень тренду  $\hat{y}_1$  рівний  $a + b$ , для другого  $\hat{y}_2 = a + 2b$  і т.д.

Проте доцільніше початок відліку часу перенести в середину ряду, тобто при непарному  $n$  – на період (момент) з номером  $(n+1)/2$ , а при парному числі рівня ряду на середину між періодом  $n/2$  та  $(n+1)/2, +1$ . У останньому випадку усі номери періодів будуть дробовими. При нумерації періодів часу точно від середини ряду половина номерів  $t_i$  будуть від'ємними числами (аналогічно рокам для нашої

ери), а половина – додатними, тобто  $\sum_{i=1}^n t_i = 0$ . У такому разі система складатиметься з двох рівнянь з одним невідомим в кожному [1, с. 66]:

$$\begin{cases} na = \sum_{i=1}^n y_i \\ b \sum_{i=1}^n t_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i t_i \end{cases}, \quad (14)$$

звідки:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i^2} \quad (15)$$

Знаменник у формулі (15) при нумерації періодів від середини ряду обчислюється усно при  $n < 10$  або за формулою [1, с. 66]:

$$\sum_{i=\frac{n+1}{2}}^{\frac{n+1}{2}} t_i^2 = \frac{n^3 - n}{12} \quad (16)$$

Для параболічного тренду застосовується також метод найменших квадратів три часткові похідні функції  $f(a, b, c) = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ : прирівнюються до нуля і після перетворення отримуємо систему трьох рівнянь з трьома невідомими [1, с. 67]:

$$\begin{cases} na + b \sum_{i=1}^n t_i + c \sum_{i=1}^n t_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i \\ a \sum_{i=1}^n t_i + b \sum_{i=1}^n t_i^2 + c \sum_{i=1}^n t_i^3 = \sum_{i=1}^n y_i t_i \\ a \sum_{i=1}^n t_i^2 + b \sum_{i=1}^n t_i^3 + c \sum_{i=1}^n t_i^4 = \sum_{i=1}^n y_i t_i^2 \end{cases} \quad (17)$$

При перенесенні початку відліку періодів (моментів) часу в середину ряду суми непарних номерів таких періодів  $\sum t_i$  і  $t_i^3$  перетворюються на нуль. При цьому друге рівняння перетворюється в рівняння з одним невідомим, звідки:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i t_i^2}{\sum_{i=1}^n t_i^2} \quad (18)$$

Рівняння утворюють систему двох рівнянь з двома невідомими [1, с. 68]:

$$\begin{cases} na + c \sum_{i=1}^n t_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i \\ c \sum_{i=1}^n t_i^2 = + c \sum_{i=1}^n t_i^4 = \sum_{i=1}^n y_i t_i^2 \end{cases} \quad (19)$$

в якій  $\sum_{i=1}^n t_i^2 = \frac{n^3 - n}{12}$ ,  $\sum_{i=1}^n t_i^4 = \frac{3n^5 - 10n^3 + 7n}{240}$ .

Таким чином, вирішивши систему рівнянь, отримують параметри рівняння параболічного тренду.

Отже, після вибору і розрахунку основної моделі прогнозування тимчасових рядів (тренду реалізації запасних частин) слід розглянути сезонну компоненту. Саме коливання є дуже важливим предметом статистичного дослідження тимчасових рядів.

Важливість коливання багатогранне [8, с. 107-108]:

1) Воно дозволяє встановити теоретичні передумови, що є причинами коливань і виявити шляхи впливу на них.

2) На основі параметрів коливання його можна прогнозувати або враховувати як чинник похибки прогнозу, тобто зробити прогноз більш надійним і точним.

3) На основі параметрів і прогнозів коливань можна розрахувати резерви, страховий запас деталей, необхідний для подолання негативних наслідків коливання рівнів.

Для розрахунку сезонної компоненти застосовується метод корекції рівняння тренду реалізації запасних частин при асиметричній сезонній хвилі, або метод представлення синусоїдальних коливань у формі тригонометричних рівнянь Фур'є. Як показали дослідження [1, с. 99], обсяги реалізації запасних частин на СТОА важко представити у вигляді синусоїдальних гармонік. Тому для розрахунку сезонної компоненти, обраний метод корекції рівняння тренду при асиметричній сезонній хвилі. Суть цього методу полягає в десезоналізації даних отриманих в результаті аналізу потреби в запасних частинах. Так, спочатку, рік ділиться на рівні проміжки  $n$ , які, як правило, дорівнюють кількості замовлень запасних частин з центрального складу. Як правило, бажано прийняти кількість замовлень до найбільш зручного для обчислення кількості (проміжку в часі), наприклад, раз на

місяць, раз на тиждень, раз на квартал.

Якщо аналізований період дорівнює 1 року, що складається з  $n$ -рівних інтервалів роботи СТОА, то середній обсяг продажів за інтервал становитиме [1, с. 69]:

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{m=1}^n Q_{СТОА_m}}{n} \quad (20)$$

де  $Q_{СТОА_m}$  – обсяг потреби в запасній частині впродовж  $m$ -го періоду;  $n$  – кількість періодів роботи підприємства.

Для  $t$ -го періоду роботи СТОА значення сезонної компоненти становитиме у відсотках [1, с. 70]:

$$S_{івідс} = 100 \cdot \left( \frac{Q_{\Sigma СТОА_t} \cdot n}{\sum_{m=1}^n Q_{СТОА_m}} - 1 \right) \quad (21)$$

де  $Q_{\Sigma СТОА_t}$  – обсяг потреби в запасних частинах в  $i$ -й період.

Для розрахунку сезонних компонент вибирається період часу більш тривалий ніж 1 рік, тоді для  $k$ -років роботи СТОА середнє значення сезонної компоненти становитиме [1, с. 70]:

$$\bar{S}_t = \frac{\sum_{y=1}^k \left( \frac{Q_{\Sigma СТОА_{ty}} \cdot n}{\sum_{m=1}^n Q_{СТОА_m}} \right)}{k} \quad (22)$$

де  $\bar{S}_t$  – середнє значення сезонної компоненти для  $t$ -го періоду;  $k$  – кількість років, за які виконувався аналіз;  $Q_{\Sigma СТОА_{ty}}$  – обсяг потреби в запасних частинах в  $t$ -й період  $y$ -го року.

Якщо значення сезонної компоненти необхідно виразити у відсотках, тоді [1, с. 71]:

$$\bar{S}_{івідс} = \sum_{y=1}^k \frac{100}{k} \left( \frac{Q_{\Sigma СТОА_{ty}} \cdot n}{\sum_{m=1}^n Q_{СТОА_m}} - 1 \right) \quad (23)$$

Отже, якщо з/ч є неуніфікованою, то прогнозована потреба в ній СТОА на  $t$ -й період становитиме [1, с. 70]:

$$Q_{\text{прог.поп.шт}} = Y \cdot \bar{S}_t = (a + bt + ct^2) \cdot \frac{\sum_{y=1}^k \left( \frac{Q_{\Sigma СТОА_{ty}} \cdot n}{\sum_{m=1}^n Q_{СТОА_m}} \right)}{k} \quad (24)$$

**Висновки.** Таким чином, отримана залежність  $Q_{\text{прог.поп.шт}}$  дає змогу спрогнозувати потребу в запасних частинах для СТОА і враховує втрачені продажі ( $k_{\text{куп}}$  – ймовірність купівлі запасної частини), сезонні коливання попиту. Для проведення розрахунків за формулою (24) необхідне використання ЕОМ.

Подальші дослідження проблеми оптимізації складських запасів в умовах СТОА необхідно проводити шляхом апробації та уточнення математичної моделі. Для цього необхідно забезпечити реалізацію моделі на програмному рівні та можливість враховувати додаткові випадкові фактори попиту на запасні частини.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Агафонов А. В. Определение потребности дилерских станций технического обслуживания автомобилей в запасных частях и повышение эффективности управления запасами: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / Агафонов Алексей Валентинович. – М., 2003. – 221 с.

2. Буянов В. В. Исследование некоторых вопросов повышения эффективности технического обслуживания легковых автомобилей: автореф. дис. на соиск. учен. степ. к. т. н.: спец. 05.594 / В. В. Буянов. – М., 1973. – 24 с.

3. Гришин А. С. Разработка методики прогнозирования потребности предприятий автосервиса в запасных частях: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / Гришин Александр Сергеевич. – М., 2005. – 153 с.

4. Таджикибаев А. А. Прогнозирование потребности в запасных частях для автомобилей, принадлежащих населению: (На примере СТО): автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Таджикибаев Абдунаби Абдурахманович. – М., 1979. – 16 с.

5. Дуброва Т. А. Статистические методы прогнозирования в экономике: учеб. пособ. / Т. А. Дуброва, М. Ю. Архипова. – М., 2004. – 136 с.

6. Практикум по эконометрике: учеб, пособ. / [Елисева И. И., Курышева С. В., Гордеенко Н. М. и др.]; под ред. И. И. Елисейевой. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 192 с.

7. Магнус Я. Р. Эконометрика. Начальный курс: учеб. / Я. Р. Магнус, П. К. Катыхов, А. Л. Пересецкий – [6-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Дело, 2004. – 576 с.

8. Афанасьев В. Н. Анализ временных рядов и прогнозирование: учеб. / В. Н. Афанасьев, М. М. Юзбашев. Изд-во 2-е, перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2010. – 320 с.

## REFERENCES

1. Agafonov A. V. (2003). Opredelenie potrebnosti dilerskikh stantsiy tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtomobiley v zapasnykh chastyakh i povysheniye effektivnosti upravleniya zapasami. Diss [Determining the need for dealer car maintenance stations in spare parts and improving the efficiency of inventory management. Diss]. Moscow [in Russian].

2. Buyanov V. V. (1973). Issledovanie nekotorykh voprosov povysheniya effektivnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya legkovykh avtomobiley. Avtoreferat Diss. [Research of some issues of increasing the efficiency of maintenance of cars. Author's abstract.]. Moscow [in Russian].

3. Grishin A. S. (2005). Razrabotka metodiki prognozirovaniya potrebnosti predpriyatiy avtoservisa v zapasnykh chastyakh. Diss [Development of methods for forecasting the needs of car service enterprises in spare parts Diss]. Moscow [in Russian].

4. Tadzhibaev A. A. (1979). Prognozirovaniye potrebnosti v zapasnykh chastyakh dlya avtomobiley, prinadlezhashchikh naseleniyu: (Na primere STO). Avtoreferat Diss. [Forecasting the need for spare parts for cars owned by the population: (On the example of Autoservice stations). Author's abstract.]. Moscow [in Russian].

5. Dubrova T. A., Arkhipova M. YU. (2004). Statisticheskie metody prognozirovaniya v ekonomike [Statistical methods of forecasting in the economy]. Moscow [in Russian].

6. Eliseeva I. I., Kuryшева S. V., Gordienko N. M., Babaeva I. V., Kosteeva T. V., Makhaylov B. A. (2002). Praktikum po ekonometrike [Workshop on Econometrics]. Moscow, Finansy i statistika Publ. [in Russian].

7. Magnus YA. R., Katyshev P. K., Peresetskiy A. L. (2004). Ekonometrika [Econometrics]. Moscow, Delo Publ. [in Russian].

8. Afanasyev V. N., Yuzbashev M. M. (2010). Analiz vremenykh ryadov i prognozirovaniye [Time series analysis and forecasting]. Moscow, Finansy i statistika; INFRA-M Publ. [in Russian].

## РЕФЕРАТ

Хаврук В.О. Математична модель прогнозування та визначення обсягу запасних частин для станцій технічного обслуговування автомобілів з урахуванням втрачених продажів / В. О. Хаврук // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Економічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 2 (47).

В статті розглядається порядок формування математичної моделі прогнозування та визначення обсягу запасних частин з урахуванням втрачених продажів на основі фактичних витрат для ремонтів і реалізацій через торгівлю.

Об'єкт дослідження – система управління запасами станцій технічного обслуговування автомобілів.

Мета роботи – провести дослідження математичної моделі прогнозування та визначення обсягу запасних частин з урахуванням втрачених продажів і з'ясувати основні її складові.

Метод дослідження – аналіз та формалізація: кількісних показників запасів автомобільних частин, методики формування складових і параметрів математичної моделі.

Встановлено, що методологія побудови математичної моделі припускає формалізацію основних процесів витрат автомобільних запасних частин. Математична модель включає витрати запасних частин: 1) на ремонті автомобілів; 2) через реалізацію запасної частини в магазині, що діє при сервісній станції.

З'ясовано, що для врахування втрачених продажів запасних частин необхідно чітко здійснювати реєстрацію запитів клієнтів із зазначенням заводських каталожних номерів запчастин, їх кількості. При цьому, у разі виникнення потреби в запасній частині і її наявності на складі підприємства, клієнт відмовляється від купівлі, то така вимога не враховується як незадоволена.

Виконана побудова математичної мультиплікативної моделі прогнозування та визначення обсягу запасних частин з урахуванням втрачених продажів в якій значення сезонної компоненти не є константою, а являє собою певну частку трендового значення.

Розглянуті та наведені формули для визначення потреби в запасних частинах в мультиплікативній моделі на основі параболічного, лінійного трендів попиту та сезонної варіації.

Обґрунтована важливість сезонної компоненти в математичній моделі прогнозування – вона є чинником похибки прогнозування, дає змогу з'ясувати причини коливань та розраховувати страховий запас деталей. Для розрахунку сезонної компоненти представлений метод корекції рівняння тренду при асиметричній сезонній хвилі.

Результати статті можуть бути використані для підвищення ефективності управління запасами як на станціях технічного обслуговування автомобілів так і будь-яких суб'єктів підприємницької діяльності, у випадку, коли виникає проблема незадоволеного попиту споживачів.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – уточнення моделі визначення обсягу запасних частин шляхом дослідження сезонних коливань попиту та вивчення основних тенденцій розвитку автосервісних послуг і наявного модельного ряду автомобілів, їх вікового складу.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ДЕТАЛЬ, ЗАПАСНА ЧАСТИНА, ЙМОВІРНІСТЬ, КІЛЬКІСТЬ, МОДЕЛЬ, ОБСЯГ, ПЕРІОД, ПОПИТ, ПОТРЕБА, ПРОГНОЗ, ПРОДАЖ, РЕАЛІЗАЦІЯ, РІВНЯННЯ, РЯД, СЕЗОННА ВАРІАЦІЯ, ТЕНДЕНЦІЯ, ТРЕНД.

## ABSTRACT

Khavruk V.O. Mathematical model of forecasting and definition of the size of spare parts for automotive service stations with consideration of loss of sales. Visnyk National Transport University. Series «Economic sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 2 (47).

The article deals with the order of formation of the mathematical model of forecasting and determination of the volume of spare parts, taking into account lost sales on the basis of actual expenses for repairs and sales through trade

Object of research – system of inventory management of car maintenance stations

Purpose of the study – to carry out research of mathematical model of forecasting and determination of spare parts volume taking into account lost sales and to find out the main components of it.

Method of the study – the analysis and formalization: quantitative indicators of automobile parts reserves, methods of forming components and parameters of a mathematical model.

It is established that the methodology of constructing a mathematical model involves the formalization of the main processes of the cost of automotive spare parts. The mathematical model includes the costs of spare parts: 1) for repairs of cars; 2) through the sale of a spare part in a shop operating at a service station.

It was found out that in order to take into account the lost sales of spare parts, it is necessary to clearly register customer inquiries, indicating the factory catalogs of spare parts numbers, their number. In this case,



in case of the need for a spare part and its presence in the warehouse of the enterprise, the client refuses to purchase, then such a requirement is not taken into account as dissatisfied.

The construction of a mathematical multiplicative model of prediction and determination of the amount of spare parts based on lost sales in which the value of the seasonal component is not a constant, but represents a certain proportion of the trend value.

The formulas for determining the need for spare parts in a multiplicative model based on parabolic, linear trends of demand and seasonal variation are considered and given.

The importance of the seasonal component in the mathematical model of forecasting is substantiated; it is a factor of forecasting error, it allows to find out the causes of fluctuations and to calculate the insurance stock of parts. To calculate the seasonal component, a method of correction of the trend equation with an asymmetric seasonal wave is presented.

The results of the article can be used to increase the efficiency of inventory management at both technical maintenance stations of cars and any subjects of entrepreneurial activity, in the case when there is a problem of dissatisfied consumer demand.

Forecast assumptions about the object of study – the specification of the model for determining the volume of spare parts by studying the seasonal fluctuations in demand and studying the main trends in the development of car service services and the existing model range of cars, their age composition.

**KEYWORDS:** DETAIL, SPARE PARTS, PROBABILITY, QUANTITY, MODEL, VOLUME, PERIOD, DEMAND, NEED, FORECAST, SALE, IMPLEMENTATION, EQUATION, SERIES, SEASONAL VARIATION, TREND.

#### **РЕФЕРАТ**

Хаврук В.А. Математическая модель прогнозирования и определения объема запасных частей для станций технического обслуживания автомобилей с учетом упущенных продаж / В. А. Хаврук // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Экономические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 2 (47).

В статье рассматривается порядок формирования математической модели прогнозирования и определения объема запасных частей с учетом упущенных продаж на основе фактических затрат для ремонта и реализации через торговлю.

Объект исследования – система управления запасами станций технического обслуживания автомобилей.

Цель работы – произвести исследования математической модели прогнозирования и определения объема запасных частей с учетом упущенных продаж и выяснить основные ее составляющие.

Метод исследования – анализ и формализация: количественных показателей запасов автомобильных частей, методики формирования составляющих и параметров математической модели.

Установлено, что методология построения математической модели предполагает формализацию основных процессов расходов автомобильных запасных частей. Математическая модель включает расходы запасных частей: 1) на ремонт автомобилей; 2) через реализацию запасной части в действующем магазине при сервисной станции.

Выяснено, что для учета упущенных продаж запасных частей необходимо четко осуществлять регистрацию запросов клиентов с указанием заводских каталожных номеров запчастей, их количества. При этом, в случае возникновения потребности в запасных части и ее наличии на складе предприятия, клиент отказывается от покупки, то такое требование не учитывается как недовольна.

Выполнено построение математической мультипликативной модели прогнозирования и определения объема запасных частей с учетом упущенных продаж в которой значение сезонной компоненты не является константой, а представляет собой определенную долю трендового значения.

Рассмотрены и наведены формулы для определения потребности в запасных частях в мультипликативной модели на основе параболического, линейного трендов спроса и сезонной вариации.

Обоснована важность сезонной компоненты в математической модели прогнозирования – она является фактором погрешности прогнозирования, позволяет выяснить причины колебаний и

рассчитывать страховой запас деталей. Для расчета сезонной компоненты представлен метод коррекции уравнения тренда при асимметричной сезонной волны.

Результаты статьи могут быть использованы для повышения эффективности управления запасами как на станциях технического обслуживания автомобилей, так и любых субъектов предпринимательской деятельности, в случае, когда возникает проблема неудовлетворенного спроса потребителей.

Прогнозные предположения по развитию объекта исследования – уточнение модели определения объема запасных частей путем исследования сезонных колебаний спроса и изучение основных тенденций развития автосервисных услуг и имеющегося модельного ряда автомобилей, их возрастного состава.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ДЕТАЛЬ, ЗАПАСНАЯ ЧАСТЬ, ВЕРОЯТНОСТЬ, КОЛИЧЕСТВО, МОДЕЛЬ, ОБЪЕМ, ПЕРИОД, СПРОС, ПОТРЕБНОСТЬ, ПРОГНОЗ, ПРОДАЖА, РЕАЛИЗАЦИЯ, УРАВНЕНИЕ, РЯД, СЕЗОННАЯ ВАРИАЦИЯ, ТЕНДЕНЦИЯ, ТРЕНД.

#### **АВТОР**

Хаврук Володимир Олександрович, Національний транспортний університет, асистент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: khavruk@gmail.com, тел.+380950187190, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к.410.

#### **AUTHOR**

Khavruk Volodymyr, National Transport University, assistant to chair of technical operation of cars and autoservice, e-mail: khavruk@gmail.com, tel.+380950187190, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, of. 410.

#### **АВТОР**

Хаврук Владимир Александрович, Национальный транспортный университет, ассистент кафедры технической эксплуатации автомобилей и автосервиса, e-mail: khavruk@gmail.com, тел.+380950187190, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленко 1, к. 410.

#### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Брегіда Федір Миколайович, кандидат технічних наук, ДП «ДЕРЖАВТОТРАНСПРОЕКТ», завідувач Відділу дослідження та нормативно-правового забезпечення у сфері технічної експлуатації дорожніх транспортних засобів, e-mail: to@insat.org.ua, тел.+380442010806, Україна, 03113, м. Київ, пр. Перемоги 57, к.714.

Бондаренко Євген Валентинович, доктор економічних наук, Національний транспортний університет, професор кафедри економіки, e-mail: kaf-ekonomika\_ntu@bigmir.net, тел.+380442803016, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к.313.

#### **REVIEWER:**

Brehida Fedir, Candidate of Science (Engineering), DP «DERGAUTOTRANSNDIPROJECT», Head of Department of research and is standard-legal maintenance in sphere of technical operation of road vehicles, e-mail: to@insat.org.ua, tel.+380442010806, Ukraine, 03113, Kyiv, pr. Peremogy 57, of. 714.

Bondarenko Yevhen, Ph.D., Economics (Dr.), professor, National Transport University, department of economics, Kyiv, e-mail: kaf-ekonomika\_ntu@bigmir.net, tel.+380442803016, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, of. 313.