

## ЕКОНОМІКО – МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ І МОДЕЛІ

УДК 338.47: 519.87

### ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РІВНЯ ЗАПАСІВ ТОВАРІВ ТОРГОВЕЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА

DOI 10.30838/ P.ES.2224.290818.194.221

Харченко Ю. А., к.т.н.,  
Михайленко А. С.

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава*

В статті досліджується система управління товарно-матеріальними запасами. Авторами виконано аналіз основних методів і моделей управління запасами товарів та контролю їх розміру. За результатами дослідження виявлено, що в існуючих програмах відсутні можливості управління запасами і матеріально-технічним забезпечення торговельного підприємства на основі оптимальних розмірів партій товарів. Авторами запропоновано використати засоби економіко-математичного моделювання та сучасні комп'ютерні технології для удосконалення логістичної системи управління запасами товарів одного з автоділерів м. Полтави. Розрахунки виконано за моделями з урахуванням попиту на товар, вартості замовлення і зберігання на складі, часу поставки. Також розроблено програмний модуль для автоматизації моделювання рівня запасів товарів торговельного підприємства мовою VBA. Запропоновані економіко-математичні моделі надають можливість більш оптимально використовувати фінансові ресурси для формування запасів та зменшити втрати від дефіциту товарів. Програмний модуль може використовуватися для обґрунтування оперативних управлінських рішень щодо розміру замовлення і моменту розміщення запасів, а також прогнозування потреби в певній номенклатурі товарів на майбутній період. Отже, використання стохастичних моделей та сучасних комп'ютерних технологій може поліпшити конкурентоспроможність та збільшити прибуток торговельного підприємства.

**Ключові слова:** економіко-математичне моделювання, автоматизація, програма, запас товарів, торговельне підприємство

UDC 338.47: 519.87

### ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELING OF INVENTORY LEVEL OF GOODS OF THE TRADE ENTERPRISE

DOI 10.30838/ P.ES.2224.290818.194.221

Kharchenko Yu. A., PhD in Technical Sc.,  
Mikhailenko A. S.

*Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk, Poltava*

---

© Харченко Ю. А., к.т.н., Михайленко А. С., 2018

Inventory management system is investigated in the article. Inventory management and size control is analyzed by the authors. According to study results, it was found that existing programs lack the ability to manage inventory and logistics at trade enterprise based on the consignments optimal size. Economic and mathematical modeling and modern computer technologies means usage for inventory management logistic system improvement at one of the auto-dealers in Poltava is suggested by the authors. The calculations are performed according to models taking into account the demand for goods, order and storage in stock, time delivery. Software module for merchandise inventory level automating modeling in the language of VBA is also developed. The proposed economic and mathematical models provide the opportunity to use financial resources more efficiently for the inventory formation and reduce losses from commodity deficiency. The program module can be used to substantiate operational management decisions regarding order size and stocks placement moment, as well as forecasting the need for a certain range of goods for the future period. Consequently, the use of stochastic models and modern computer technology can improve the competitiveness and increase trade enterprise profit.

**Keywords:** economic and mathematical modeling, automation, program, inventory, trade enterprise

**Актуальність проблеми.** З кожним роком у галузі торгівлі зростає конкуренція між торговельними підприємствами за платоспроможного споживача. Ринок товарів народного споживання має певні особливості, які обумовлені властивостями товарів. Зокрема, автотовари реалізуються переважно в спеціалізованих крамницях, де використовуються каталоги й оригінальні програми виробників. Незважаючи на те, що утримання матеріальних запасів пов'язане з певними витратами, підприємства змушені створювати їх. Основними мотивами створення запасів товарів є коливання попиту, імовірність порушення встановленого графіка постачань, наявні знижки за придбання великої партії товарів, розмір витрат на оформлення замовлення тощо.

Аналіз рівня запасів товарів засобами економіко-математичного моделювання та використання сучасних комп'ютерних технологій для розроблення програми для розрахунку запасів за побудованими моделями підвищить оперативність та ефективність управлінських рішень, а також зменшить витрати на формування запасів торговельного підприємства.

**Аналіз останніх наукових досліджень.** У багатьох роботах вітчизняних та зарубіжних науковців досліджуються науково-практичні задачі управління запасами та описуються економіко-математичні моделі оптимізації запасів товарів торговельних підприємств.

У монографії [1] узагальнено теоретичні й практичні аспекти управління товарними запасами підприємств роздрібною торгівлі. В [2]

виконано дослідження контрольно-аналітичного забезпечення системи управління торговельних підприємств. Моделювання діяльності логістичної системи управління запасами з застосуванням комплексного підходу запропоновано в [3]. Проблеми фінансово-аналітичного забезпечення формування й оптимізації виробничих запасів розглянуто в [4]. В науковій праці [5] визначено спільні риси і ключові відмінності основних моделей управління запасами та побудовано алгоритм налагодження оперативної моделі управління запасами. У роботі [6] проаналізовано механізм формування запасів товарів та подано концептуальну модель управління товарними запасами торговельного підприємства.

Результати дослідження економіко-математичних моделей управління складськими запасами представлено в [7], а в статті [8] запропоновано алгоритм управління запасами на основі аналізу поточних і страхових запасів. В [9] проведено аналіз моделей взаємозв'язку логістичних потоків та запасів на торговельних підприємствах. В науковій праці [10] розроблено концептуальну схему оцінки управління запасами, а також реалізовано економіко-математичні моделі шляхом побудови програмного модуля. В роботі [11] здійснено порівняльну характеристику функціональних можливостей програм, що реалізують моделі і методи управління запасами матеріальних ресурсів. Алгоритми розв'язання задачі визначення оптимального розміру запасів за допомогою детермінованих та стохастичних моделей запропоновано Хемді А. Таха в [12]. В книзі [13] наведено приклади реального програмування для платформи NET Framework в середовищі Microsoft Visual Basic 2010.

Незважаючи на значну кількість наукових публікацій з обраної теми, задача побудови сучасної системи управління запасами товарів торговельного підприємства залишається актуальною.

**Метою роботи** є побудова економіко-математичної моделі управління рівнем запасів товарів та розроблення програмного модуля для розрахунку розміру замовлення і моменту розміщення товарних запасів торговельного підприємства.

**Основний матеріал дослідження.** Система управління товарно-матеріальними запасами – це сукупність правил і способів регулювання, за якими контролюються рівні запасів та визначається в який час потрібно поповнювати запас і яким повинен бути обсяг замовлення. Головною метою удосконалення системи управління запасами товарів є зменшення

до мінімуму загальної суми щорічних витрат на утримування запасів за умови максимально якісного обслуговування клієнтів.

В системі управління запасами насамперед потрібно визначити момент часу й обсяг закупівлі товарів. Основними параметрами системи є:

- точка замовлення – мінімальний (контрольний) рівень запасів товарів, за умови досягнення якого необхідно їх поповнення;
- нормативний рівень запасів – розрахункова величина запасів, яка досягається під час поточної закупівлі товарів;
- обсяг окремої закупівлі;
- частота здійснення закупівель – періодичність поповнення запасів;
- поповнювана кількість товарів, за якої досягається мінімум витрат на зберігання запасу згідно із заданими витратами на закупівлю товарів.

Зараз використовуються такі технологічні системи управління запасами: фіксований розмір замовлення, фіксована періодичність замовлення, визначена періодичність поповнення запасів до встановленого рівня тощо. Управління рівнем запасів товарів базується частіше всього на статистичних методах, які використовують теоретико-імовірнісний підхід для стохастичного попиту. Статистичні методи регулювання параметрів замовлення використовуються за наявності репрезентативних масивів даних і стаціонарності процесу впродовж досить тривалого проміжку часу.

Серед великої різноманітності методів і моделей зазвичай застосовуються ті моделі, які дають можливість одержати відносно прості й ефективні способи регулювання параметрів замовлення, поставок і рівнів запасів на складі. Разом з тим, не вимагають великих обсягів початкової інформації та складних методів контролю.

Розрізняють детерміновані й стохастичні (імовірнісні) моделі управління запасами, залежно від урахування дії випадкових чинників на параметри системи управління. Класичні моделі управління запасами та контролю їх розміру спрямовані на забезпечення максимально високого рівня обслуговування клієнтів з мінімальними поточними витратами, пов'язаними з утриманням запасів. На практиці управління запасами зводиться до відповіді на два основних питання: коли поповнювати запаси та в якій кількості.

Класичною моделлю управління запасами є модель Уілсона, за якою розраховується оптимальний обсяг партії та період часу замовлення:

$$y^* = \sqrt{2K \cdot D / h} , \quad (1)$$

$$t = \frac{Q}{D} , \quad (2)$$

де  $y$  – оптимальний обсяг замовлення (кількість одиниць матеріального ресурсу);

$D$  – інтенсивність використання запасу (кількість одиниць запасу на одиницю часу);

$K$  – витрати на розміщення замовлення (вартість оформлення й доставки партії);

$h$  – витрати на зберігання одиниці запасу за одиницю часу;

$Q$  – розмір замовленої партії.

Реально поповнення запасу не може відбуватися миттєво, тому потрібно також врахувати термін виконання замовлення. Запропонована модель управління запасами надає можливість визначати оптимальний розмір замовлення товару, що є актуальним для великого асортименту.

Основні припущення багатьох моделей, побудованих на базі моделі Уілсона, полягають у такому: попит на продукцію відомий, час реалізації замовлення (поставки) відомий та постійний, одержання товару відбувається миттєво; у моделі не враховуються гуртові знижки та не допускається дефіцит. Очевидним недоліком цих моделей є припущення про незмінність попиту, незалежності гуртових цін від обсягу замовлень партії товарів та інші гіпотези, які не завжди виконуються. Тому така модель повинна бути доопрацьована відповідно до зміни вхідних припущень, але універсальну модель побудувати складно. Основна відмінність між моделями визначається припущенням про характер попиту (статичний або динамічний). Важливим фактором із точки зору формулювання й розв'язання задачі є також вид функції витрат. Для розв'язування можуть використовуватися різні методи, які включають класичну схему оптимізації, лінійне й динамічне програмування.

Детерміновану модель економічного розміру замовлення можна узагальнити для імовірнісного випадку з неперервним контролем рівня запасу [10], де використовується резервний запас, що існує протягом всього планового періоду і відповідає випадковому попиту. Розмір резерву встановлюється таким чином, щоб імовірність зменшення запасу за час виконання замовлення не перевищувала наперед заданої величини. Розмір резервного запасу  $B$  визначається з імовірнісної умови:

$$P\{x_L \geq B + \mu_L\} \leq \alpha , \quad (3)$$

де  $x_L$  – випадкова величина попиту за час виконання замовлення;  
 $\mu_L$  – середня величина попиту за час виконання замовлення;  
 $\alpha$  – максимально можливе значення ймовірності зменшення запасу;  
 $L$  – час виконання замовлення.

При побудові рандомізованої моделі припускається, що  $x_L$  за час  $L$  є випадковою величиною з нормальним розподілом  $N(\mu_L, \sigma_L)$ . Тоді випадкова величина  $z$  є стандартною нормально розподіленою випадковою величиною з розподілом  $N(0,1)$ . Відповідно, розмір резервного запасу задовольняє нерівність:

$$B \geq \sigma_L \cdot K_\alpha. \quad (4)$$

Ця модель є наближеною, тому що ймовірнісні характеристики попиту враховуються тільки на останньому етапі обчислень. Досліджені моделі передбачають незмінність умов їх функціонування, але така сталість умов зустрічається не часто. Це зумовлено змінами кон'юнктури ринку, а відповідно і потребами в запасах матеріальних ресурсів. Також з часом можуть змінюватися умови поставки тощо. Тому виникає необхідність застосування комбінованих моделей з можливістю саморегулювання, які враховують стохастичні (не детерміновані) умови.

Ймовірнісні моделі управління запасами використовуються, якщо поставки товарів для торговельного підприємства здійснюються у дискретні моменти часу окремими партіями. В ймовірнісній моделі допускається незадоволений попит і замовлення у розміщується тоді, коли обсяг запасу досягає рівня  $R$ , який є функцією періоду часу між розміщенням замовлення та його виконанням. Під час побудови моделі приймаються допущення, що незадоволений за час виконання замовлення попит накопичується, дозволяється тільки одне невиконане замовлення і розподіл попиту за час виконання замовлення є стаціонарним в часі. Оптимальні значення  $y$  і  $R$  визначаються шляхом мінімізації відношення очікуваних витрат системи управління запасами до одиниці часу.

Таким чином, функція загальних витрат за одиницю часу складається з трьох компонентів: вартість розміщення замовлення, очікувані витрати на зберігання та втрати, які очікуються від незадоволеного попиту (ігнорується випадок, коли  $R - M\{x\} < 0$ ), має такий вид:

$$TC(y, R) = D \cdot K / y + h \cdot (y / 2 + R - M\{x\}) + p \cdot D / y \int_R^\infty (x - R) \cdot f(x) dx, \quad (5)$$

де  $p$  – питомі втрати від незадоволеного попиту;

$f(x)$  – густина розподілу попиту  $x$  за час виконання замовлення.

Значення  $y$  і  $R$  визначаються методом, який запропонували Хедлі та Уатін [10], за умови, що допустимий розв'язок існує. При  $R=0$ :

$$\bar{y} = \sqrt{\frac{2D \cdot (K + pM\{x\})}{h}} \quad \text{і} \quad \tilde{y} = \frac{p \cdot D}{h}. \quad (6)$$

Якщо  $\tilde{y} \geq \bar{y}$  тоді існує єдине оптимальне значення для  $y$  і  $R$ . Мінімальне значення обчислюється за формулою Уілсона  $y^* = \sqrt{2D \cdot K / h}$  при  $S=0$ . Оптимальні значення  $y$  і  $R$  знаходяться методами диференціальних обчислень за формулами:

$$y^* = \sqrt{\frac{2D \cdot (K + pS)}{h}} \quad \text{і} \quad \int_{R^*}^{\infty} f(x) dx = \frac{h \cdot y^*}{p \cdot D}, \quad (7)$$

де  $S$  – очікуваний дефіцит матеріального ресурсу за одиницю часу.

Щоб забезпечити оперативність і точність отримання даних для обґрунтування управлінських рішень щодо поповнення запасів за наведеними моделями потрібно автоматизувати виконання розрахунків. Програмне забезпечення з управління запасами може мати три модуля: поточний контроль складських запасів і формування заявок за розрахунком “точки замовлення” – модуль постачання; коригування цін за даними середньострокового прогнозу поточної ліквідності залишків і ситуації в постачанні – модуль ціноутворення та модуль прогнозу.

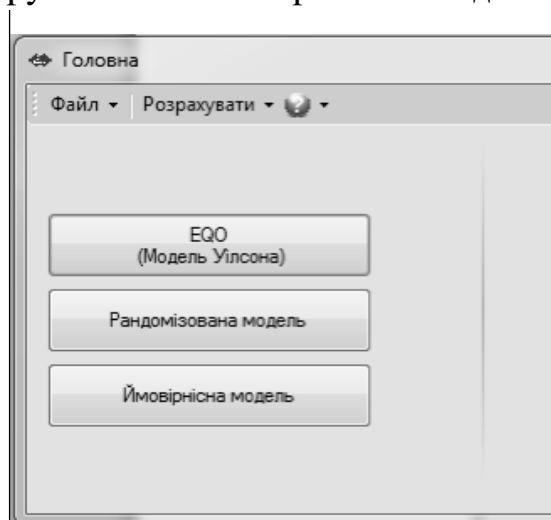
У більшості західних ERP-систем управління запасами реалізується з допомогою технологій SIC (Statistical Inventory Control). В них використовуються статистичні методи для моделювання попиту та часу поповнення товарних запасів (виробничих запасів з урахуванням часу виготовлення). Використання сучасних комп'ютерних технологій (програмного забезпечення і периферійних засобів) в таких системах дає можливість значно скоротити рівень запасів і підвищити якість обслуговування покупців. Виконано дослідження функціональності найбільш поширених ERP-систем в Україні. За його результатами можна зазначити, що в існуючих програмних продуктах відсутні можливості управління запасами і матеріально-технічним забезпеченням підприємства на основі оптимальних розмірів партій. Отже, побудова системи управління запасами на основі визначення оптимального розміру замовлення є безумовно актуальною і важливою задачею для торговельних підприємств.

Запропоновані економіко-математичні моделі використані під час дослідження логістичної системи управління запасами одного з

автоділерів м. Полтави, один із брендів якого входять в п'ятірку найбільш популярних автомобілів за минулий рік в Україні. Торговельне підприємство реалізує великий асортимент автотоварів. Кожна з номенклатурних груп містить до 10 позицій, найбільшою є "Рідини та мастила" (до 40 позицій). Поповнення запасів здійснюється автомобілем MAN з м. Києва через 2 дні після замовлення. Періодичність поставок залежить від кількості товарів заданої номенклатури на складі. Для формування запасів використовується найбільш поширена класична модель з фіксованим розміром замовлення, яке здійснюється при зменшенні запасу до певного критичного рівня.

Здійснено удосконалення існуючої системи управління запасами товарів на складі. За наявними статистичними даними визначено оптимальні розміри замовлень товарів для різних номенклатурних груп. Розрахунки виконано з урахуванням попиту на товар, вартості замовлення й зберігання на складі, часу поставки тощо. Для товарів з мінливим середньомісячним попитом розраховано резервний запас, щоб зменшити ймовірність виникнення дефіциту. Виявлено, що витрати на формування додаткового запасу менші від очікуваних втрат від можливого дефіциту товару. Також розроблено програмний модуль для автоматизації розрахунків мовою VBA.

Головна форма програмного модуля містить три кнопки для переходу на допоміжні форми (рис. 1). За їх допомогою можна виконати розрахунки оптимального розміру замовлення за різними моделями.



*Рис. 1. Головна форма  
Джерело: розроблено автором*

На допоміжній формі розміщені поля для введення вихідних даних. Якщо користувач не заповнює одне із полів, або невірно ввів дані,



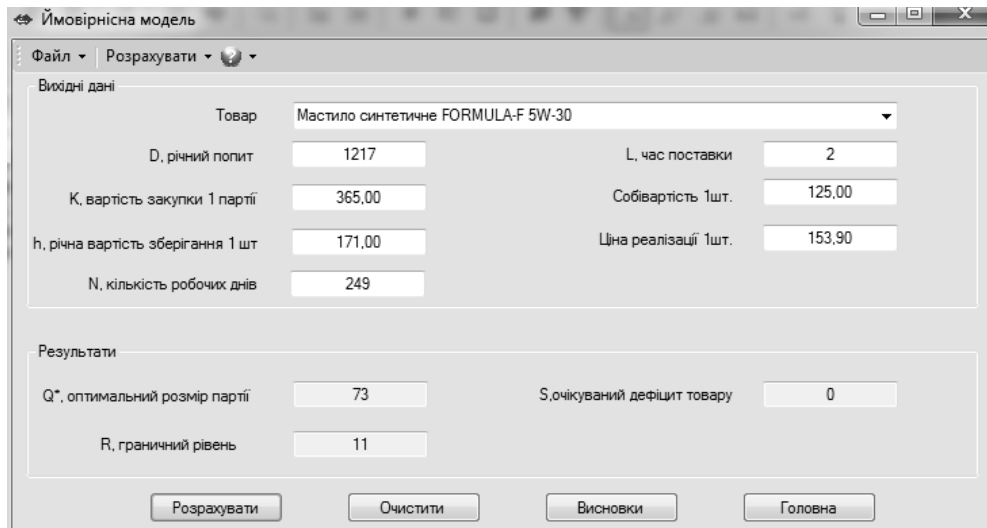
з'являється повідомлення про помилку. Після натискання кнопки “Розрахувати” виводяться на екран результати розрахунків. Також це вікно містить кнопки “Очистити” та “Висновки”, які стають доступними після виведення результатів. Після очищення полів можна вводити інші початкові дані та виконувати нові розрахунки.

Користувач має можливість переглянути та роздрукувати висновки, які формуються за допомогою шаблону у Microsoft Word. Допоміжні форми з результатами розрахунку оптимального товарного запасу мастила моторного синтетичного “FORMULA-F 5W-30” з групи “Рідини та мастила” наведено на рис. 2 – 4.

**Рис. 2.** Модель Уїлсона  
Джерело: розроблено автором

Щоб перейти до розрахунків за іншою моделлю використовується кнопка “Головна”. Під час введення статистичної інформації про попит за кілька періодів є можливість додавати та видаляти дані.

**Рис. 3.** Рандомізована модель  
Джерело: авторська розробка



Вхідні дані			
Товар	Масило синтетичне FORMULA-F 5W-30		
D, річний попит	1217	L, час поставки	2
K, вартість закупки 1 партії	365,00	Собівартість 1шт.	125,00
h, річна вартість зберігання 1 шт	171,00	Ціна реалізації 1шт.	153,90
N, кількість робочих днів	249		

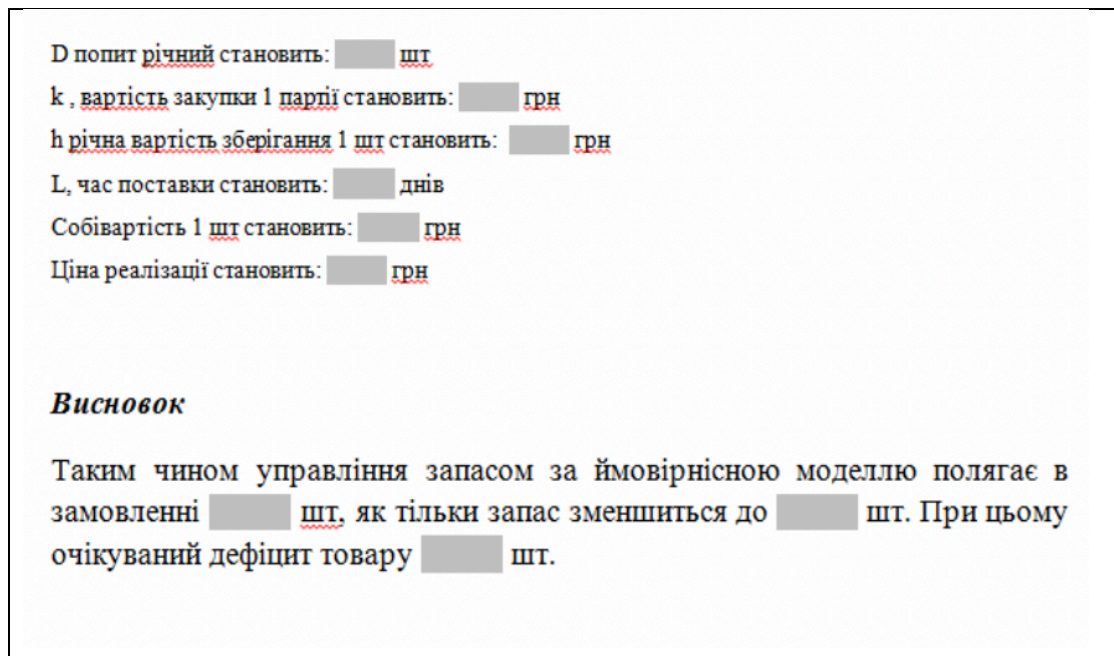
  

Результати	
Q*, оптимальний розмір партії	73
S, очікуваний дефіцит товару	0
R, граничний рівень	11

*Рис. 4. Ймовірнісна модель  
Джерело: авторська розробка*

Отже, за моделлю Уілсона та рандомізованою моделями потрібно замовляти 72 шт. мастила моторного синтетичного “FORMULA-F 5W-30”, а за імовірнісною моделлю – 73 шт., як тільки запас зменшиться до 11 шт.

Шаблон звіту про результати розрахунків з висновком для обґрунтування управлінського рішення представлено на рис. 5.



D попит річний становить: [ ] шт

k, вартість закупки 1 партії становить: [ ] грн

h річна вартість зберігання 1 шт становить: [ ] грн

L, час поставки становить: [ ] днів

Собівартість 1 шт становить: [ ] грн

Ціна реалізації становить: [ ] грн

**Висновок**

Таким чином управління запасом за ймовірнісною моделлю полягає в замовленні [ ] шт, як тільки запас зменшиться до [ ] шт. При цьому очікуваний дефіцит товару [ ] шт.

*Рис. 5. Шаблон висновку для розрахунку розміру запасу  
Джерело: авторська розробка*

**Висновки.** Аналіз рівня запасів засобами економіко-математичного моделювання дає можливість торговельному підприємству більш оптимально використовувати фінансові ресурси для формування запасів

та зменшити втрати від дефіциту товарів. Розроблено програмний модуль для автоматизації розрахунку оптимального розміру замовлення та формування висновків щодо формування запасів товарів на складі. Отримані дані використовуються для обґрунтування оперативних управлінських рішень щодо розміру замовлення і моменту розміщення запасів, а також прогнозування потреби в певній номенклатурі товарів на майбутній період.

Отже, використання стохастичних моделей та сучасних комп'ютерних технологій може поліпшити конкурентоспроможність та збільшити прибуток торговельного підприємства.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Олініченко К.С. Управління товарними запасами підприємств роздрібною торгівлі: монографія / К.С. Олініченко. – Х.: Видавництво Іванченка І. С., 2017. – 211 с.
2. Куцик П.О. Діяльність торговельних підприємств у конкурентному середовищі: контроль-аналітичне забезпечення системи управління: монографія / П.О. Куцик, Л.Г.Медвідь,В.О.Шевчук,Д.О. Харинович-Яворська–Чернівці:Технодрук,2015.–370с.
3. Коломицева А.О. Моделювання процесів оптимального управління логістичними розподільчими системами / А.О. Коломицева, В.С. Яковенко // Бізнесінформ. – 2012. – № 7. – С. 18 – 21.
4. Клименко С. Фінансово-аналітичне моделювання стану виробничих запасів підприємства / С. Клименко, О. Задорожний // Науковий вісник МНУ імені В.О. Сухомлинського. Економічні науки. – 2016. – № 1 (6). – С. 57 – 60.
5. Касьян В.В. Оперативне управління запасами як можливість для створення регулярного менеджменту / В.В. Касьян // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки». – 2015. – Випуск 14. Частина 2. – С. 72 – 75.
6. Безгінова Л.І. Концептуальна модель управління товарними запасами на підприємствах роздрібною торгівлі / Л.І. Безгінова, К.С. Олініченко // Бізнесінформ. – 2014. – №9. – С. 224 – 229.
7. Кушніренко О.С. Моделювання управління складськими запасами / О.С. Кушніренко, Н.В. Ралле // Вісник КНУТД. Серія: Економічні науки.– 2015.– № 2 (85). – С. 69 – 73.
8. Волошина В.В. Формування поточного і страхового рівня запасів як складова управління операційними витратами / В.В. Волошина // Український журнал прикладної економіки. – 2016. – Том 1. – № 1. – С. 22 – 28.
9. Тараненко Ю.В. Моделі управління запасами на торговельних підприємствах / Ю.В. Тараненко // Агросвіт. – 2016. – №3. – с.40 – 44.

10. Ящук В.І. Моделювання обсягів замовлень та рівня товарних запасів у торговельних мережах / В.І. Ящук, П.К. Грик // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України: збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.4. – С. 366 – 372.
11. Ющенко Н. Порівняльний аналіз програмних продуктів, що реалізують моделі і методи управління постачанням та матеріальними запасами / Н. Ющенко, М. Ворох // Проблеми і перспективи економіки та управління: науковий журнал. – Чернігів: Черніг. нац. технол. ун-т. – 2016. – № 1 (5). – С. 74 – 87.
12. Таха Хемди А. Введение в исследование операций. / Хемди А. Таха; пер. с англ. – М.: ИД “Вильямс”, 2005. – 912 с.
13. Зиборов В.В. Visual Basic 2010 на примерах / В.В. Зиборов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 338 с.