

МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПОПИТУ

MODELING THE INVENTORY MANAGEMENT OF THE ENTERPRISE UNDER DEMAND UNCERTAINTY

Стаття присвячена дослідженню управління запасами на підприємстві харчової промисловості. Невизначеність майбутніх обсягів реалізації та поставок породжує необхідність мати страхові запаси, зберігання яких водночас не приносило б збитків. Ефективне управління запасами на виробництві є необхідною умовою для задоволення потреб споживачів, адже запаси є частиною оборотного капіталу, тому правильне керування ними свідчить про високу ефективність діяльності підприємства в цілому. Завдяки комплексному підходу до управління запасами можна підвищити гнучкість та швидкість реакції підприємства на динамічні умови ринку, коли точний попит в майбутньому періоді є невідомим. Метою дослідження є застосування методів економіко-математичного моделювання для визначення кількості продукції, яку слід зберігати на складі в якості страхового запасу, а також визначення кількості продукції, яку слід виготовляти в майбутньому періоді. Для вирішення задачі було проаналізовано теоретичні основи управління запасами, а також існуючі моделі, що використовуються на реальних виробництвах, досліджено їхню сутність, недоліки та переваги, рекомендації до застосування. Також важливою частиною стало досліджено питання стохастичності в задачах управління запасами. Існуючий ряд детермінованих моделей керування запасами не враховує випадковість попиту, з якою і пов'язані основні джерела невизначеності, а також ризику виникнення дефіциту або ж навпаки, надлишковості запасів. Для вирішення стохастичності попиту в даній роботі було застосовано емпіричний підхід та імітаційне моделювання. З використанням отриманих результатів, було розроблено економіко-математичну модель управління запасами в умовах невизначеності попиту, використання якої суттєво зменшить витрати суб'єкта на створення, а також зберігання запасів. А таким чином підвищить і конкурентоспроможність на ринку. Задача була розв'язана для реальних даних, розміщених у річній фінансовій звітності досліджуваного суб'єкта господарювання. Також надано результати реалізації задачі.

Ключові слова: виробничі запаси, управління запасами, невизначеність попиту, розмір виробничої партії, імітаційне моделювання.

This article focuses on inventory management at the enterprise of the food industry. The uncertainty of future sales and supply need creates the need to have safety stocks to be stored which wouldn't bring damage at the same time. Effective inventory control in manufacturing is essential to meet the needs of consumers, because the reserves are the part of the circulating capital, therefore, the right management indicates a high efficiency of the enterprise as a whole. Through its

integrated approach to inventory management you can improve the flexibility and speed of reaction of the enterprise on the dynamic market conditions, when the exact demand in a future period is unknown. The aim of the study is the application of methods of economic-mathematical modelling to determine the number of products that should be stored in the warehouse as stock, and also determine the number of products that must be made in the upcoming period. To solve this problem we have analysed the theoretical foundations of inventory management, as well as existing models that are used on real plants, studies their nature, strengths and weaknesses, recommendations for use. Also, the important part was studied - the question of the stochasticity in the problems of inventory management. Read existing deterministic models of inventory control does not account for the randomness of demand, with which are connected the main sources of uncertainty and the risk of shortages or, conversely, oversupply. To address the stochasticity of popout in this work, we have applied an empirical approach and simulation modelling. Using the obtained results, we developed a mathematical model of inventory management with uncertainty demand, which will significantly reduce the cost of the subject to the creation and storage of inventory. And thus enhance the competitiveness in the market. The problem was solved for real data, available in annual financial reports of the studied entity. Also the results of the research are presented.

Key words: inventories, inventory management, demand uncertainty, batch size, simulation.

Вступ. На сучасному етапі розвитку ринкових відносин практично у всіх сферах спостерігається конкуренція суб'єктів ринку, що обумовлює пошук ефективних методів стратегічного управління запасами і транспортуванням. Найважливішою умовою тут є зменшення витрат на придбання сировини і його складування, виробництво товару, збереження, відвантаження і відправку готової продукції. Також найтипівішою є ситуація, коли обсяг попиту на майбутній період нам невідомий і є потреба його спрогнозувати задля передбачення ризиків та уникнення “замороження” коштів, витрачених на надмірні запаси.

Питання обліку запасів та їх використання є об'єктом особливої уваги економічної науки [1]. У свій час провідні вчені-економісти зробили великий внесок в розробку методологічних підходів до проблеми управління виробничими запасами і їх використання [2], та інструментарій продовжує розвиватись, чому і присвячена дана робота.

Ефективність управління запасами є важливим стратегічним активом, особливо на підприємствах, де зосереджуються великі потоки матеріальних цінностей. Практичною значимістю роботи є те, що в умовах конкурентного середовища особливо значення набуває удосконалення підходу до розподілу матеріальних ресурсів. Вибір підприємством оптимальної моделі управління запасами дозволить отримати більші прибутки, покращити фінансовий стан підприємства та задовольняти потреби своїх клієнтів. Більш ефективна робота підприємств України буде можлива завдяки імплементації нової моделі керування запасами.

Постановка завдання. Метою даної статті є дослідження особливостей керування запасами в умовах невизначеності попиту та розробка математичної моделі управління запасами, застосування якої допоможе вдосконалити організацію та контроль запасів на підприємстві.

Методологія. Методологічною основою праці стали роботи вітчизняних та зарубіжних науковців. Для досягнення мети було застосовано метод статистичного спостереження, імітаційне моделювання, метод аналізу та синтезу.

Результати дослідження. Аналіз моделі управління запасами стосуватиметься ситуації, коли попит невідомий протягом всього періоду планування. Незважаючи на те, що розглядається кінцевий горизонт планування, це не є серйозним обмеженням, оскільки попит в далекому майбутньому зазвичай не надто впливає на рішення, які необхідно прийняти зараз. Крім того, деякі види запасів швидко псуються, тому немає необхідності обирати великий період планування.

Вважатимемо, що є деяка система постачання (склад, база і т.д.), яка займається продажем деякого товару кінцевим споживачам, для чого вона замовляє цей продукт у безпосереднього виробника. Необхідно спланувати замовлення на T суміжних проміжків часу. Попит визначається як послідовність величин сумарного споживання в цих періодах.

Припускаємо, що дефіцит відсутній [3]. Замовлення виконується повністю, а також поставки відбуваються доволі стабільно, тобто і час між оформленням замовлення і його виконанням можна не брати до уваги.

Попит протягом періоду t ($t=1, \dots, T$) невідомий і позначається $d_t > 0$.

При оформленні замовлення обсягом в y одиниць в періоді t нараховуються фіксовані витрати замовлення K_t та змінні (вартість продукції). В даному випадку, $\delta(y)$ – коефіцієнт інфляції. Тоді вартість замовлення в періоді t дорівнює $K_t\delta(y) + c_t(y)$.

Припускаємо, що початковий запас і запас в кінці періоду T є відомим [4].

Вартість зберігання одиниці товару в періоді t - $h_t > 0$ і становить певний відсоток від ціни товару.

Замовлення та попит стають відомими на початку етапу. Запаси інспектуються в кінці етапу. Тому припускається, що затрати на зберігання в періоді t пропорційні залишку запасу, який переходить із періоду t в період $t + 1$.

Покладемо y_t - це кількість, яку замовили в період t , і I_t - рівень запасів на кінець періоду t . Задача визначення об'єму замовлення за якого витрати на зберігання і замовлення вдалось мінімізувати, формулюється наступним чином:

$$\sum_{t=1}^T (K_t\delta(y_t) + c_t(y_t) + h_t I_t) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$I_t = I_{t-1} + y_t - d_t, t = 1, \dots, T, \quad (2)$$

$$I_t, y_t \geq 0, t = 1, \dots, T. \quad (3)$$

Обмеження (2) називають обмеженнями балансу запасу [5]. Оскільки $I_t = \sum_{i=1}^t y_i - d_i$, змінні I_t можуть бути виключені з формулювання і планом задачі можна вважати вектор (y_1, \dots, y_T) .

В загальному випадку сформульована модель є задачею нелінійного програмування. Якщо враховуються фіксовані витрати замовлення, цільова функція задачі розривна. Крім того, якщо змінні I_t , u_t можуть приймати лише цілі значення, то отримаємо задачу цілочисельного програмування [6].

Нехай кожен інтервал часу t відповідає одному кроку. Розглянемо процедуру прямої прогонки, послідовно мінімізуючи витрати за 1, 2,...T інтервали.

Об'єм запасу на кінець етапу задається співвідношенням:

$$0 \leq I_t \leq d_{t+1} + \dots + d_T.$$

Це означає, що в несприятливій ситуації (наприклад, не можна зробити замовлення) запас I_t може задовольнити попит на наступних інтервалах.

Для наших обрахунків необхідні дані про щорічний та щомісячний попит на ряжанку виробництва Кременчуцького міськмолкозаводу. Дані представлені у таблицях 1, 2 нижче [7].

Таблиця 1 – Обсяги виробництва та реалізації кефіру в 2012 – 2017 роках

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Обсяг виготовленої продукції, т	8728,417	12058,995	11425,995	11393	11992	10288
Обсяг реалізованої продукції, т	8716,411	11962,663	11401,28	11388	11988	10273

Таблиця 2 – Обсяги реалізації товару помісячно за 2012 - 2020 роки

Місяць/Рік	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Січень	841,2	973	923	943	933	803
Лютий	613	939,3	887	891	879	741
Березень	543	828	771	793	806	871
Квітень	652	995	951	972	1006	1082
Травень	912	1330	1281	1250	1263	822
Червень	703,1	908	873	841	947	792
Липень	566	835	752,2	731	823	759
Серпень	632	789	801	823	913	789
Вересень	705,1	887,2	832	817	976	808
Жовтень	745	989	972	983	1026	824
Листопад	783	1096,1	1023	1023	1056	867
Грудень	1022	1393	1335	1321	1360	1115

Оскільки, в нашому випадку попит є невідомим, або ж стохастичним, ми не можемо точно знати наперед, скільки нам треба виробити, хоча і буває так, що попит детермінований(коли, наприклад, ми підписуємо угоди на майбутні поставки). Для того щоб спрогнозувати попит на декілька майбутніх періодів, проаналізуємо статистичні дані за останні роки. Для прикладу побудуємо графік динаміки попиту на ряжанку за 2012 рік з поліноміальною апроксимацією (рис.1).



Рисунок 1 – Динаміка попиту на ряжанку в 2012 році

Знайдемо математичне сподівання для даних по місяцю (табл. 3).

Таблиця 3 – Математичне сподівання по кожному місяцю

Січень	902,7
Лютий	825,0
Березень	768,6
Квітень	942,8
Травень	1143
Червень	844,0
Липень	744,3
Серпень	791,1
Вересень	837,5
Жовтень	923,1
Листопад	974,6
Грудень	1257,6

Критерій оптимізації виглядатиме так:

$$E = \sum_{t=1}^T (K_t \delta(y_t) + c_t(y_t) + h_t I_t) \rightarrow \min.$$

Отже, модель матиме наступний вигляд:

$$M(E) \rightarrow \min,$$

$$E = 9468 * y_1 + 331 * y_2 + 738 * y_3 + 2,5 * I_1 + 2,5 * I_2 + 2,5 * I_3 + 4741,$$

$$I_1 = y_1 - 902,7,$$

$$I_2 = I_1 + y_2 - 825,05,$$

$$I_3 = I_2 + y_3 - 768,6,$$

$$I_t, y_t \geq 0, t = 1, \dots, T.$$

За допомогою отриманих значень, можна вирішити поставлену задачу. Для цього скористаємося надбудовою “Пошук рішення” в MS Excel [8].

Провівши необхідні обчислення, отримуємо результати (рис. 2).

y1	y2	y3	I1	I2	I3	Z
1727,75	0	768,6	585,981	0	0	21669,08

Рисунок 2 – Результати обчислень

Отже, в першому періоді слід виготовити 1727,75 тон продукції, в другому періоді ми не виготовляємо нічого, адже, після першого періоду в запасах залишилось достатньо, щоб покрити попит в другому періоді, і в третьому слід виробити 825,05 тон. При цьому сумарні витрати становитимуть 21669680 грн.

Тепер проведемо імітаційне моделювання. Для цього необхідно змоделювати 150 значень попиту згідно до закону розподілу випадкової величини попиту.

Побудуємо діаграму розподілу, щоб з’ясувати закон розподілу даних (рис. 3).

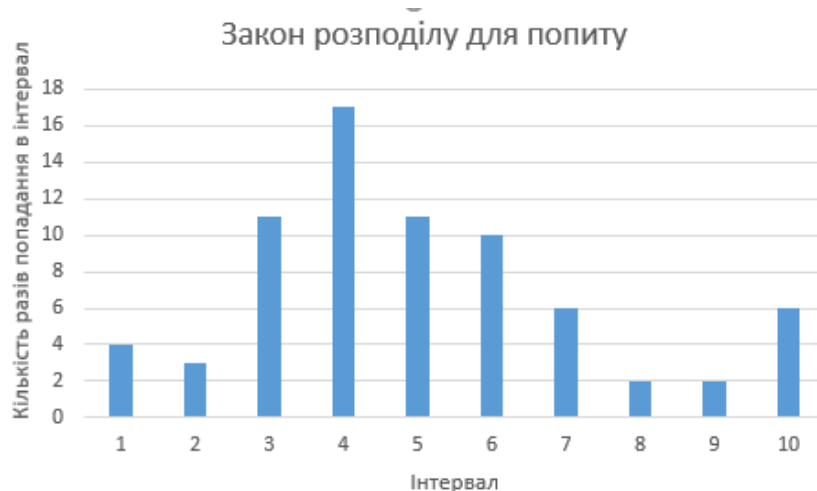


Рисунок 3 – Закон розподілу для попиту

Оскільки не дуже добре зрозуміло, який закон розподілу ми маємо, то прологарифмуємо дані і ще раз побудуємо діаграму розподілу (рис. 4).

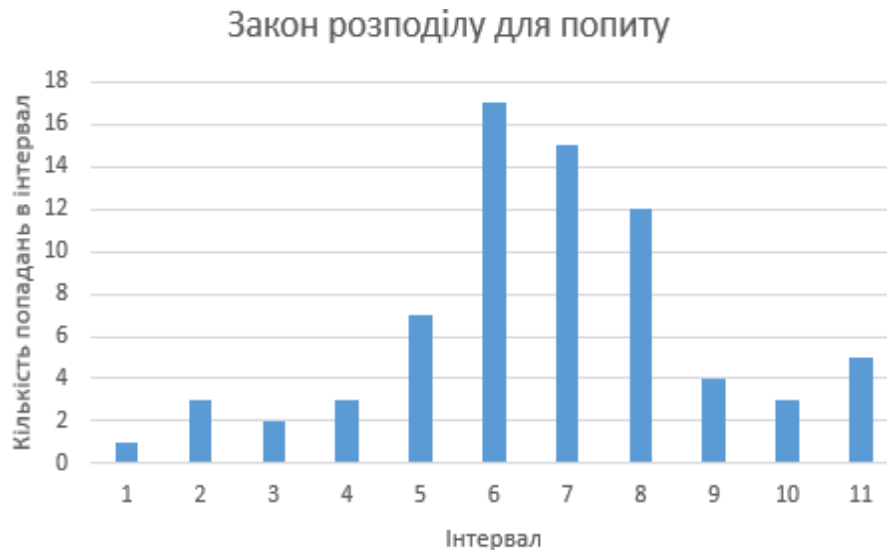


Рисунок 4 – Закон розподілу для оброблених даних

З нової діаграми стає зрозуміло, що ми маємо справу з логнормальним законом розподілу.

Тепер для того, щоб змодельовати 150 значень попиту, необхідно прологарифмувати дані, порахувати математичне сподівання, а також середньоквадратичне відхилення.

Скориставшись онлайн-ресурсом, отримуємо 150 значень. Для того, щоб можна було працювати з даними, знаходимо експоненту кожного зі 150 чисел. Тепер для 50 наборів з 3 значень (плануємо на три періоди вперед) вирішуємо задачу лінійної оптимізації в MS EXCEL.

Отримані результати представимо у вигляді гістограми частоти попадання значення обсягу замовлення в певний проміжок (рис. 5).

Можна з високою вірогідністю стверджувати, що найбільше значень потрапило у проміжок між 930 – 1046 тон продукції.

Мінімізуюча функція утворює множину допустимих керувань $y^* \in Y$, який би мінімізував критерій якості, тобто такий що: $\min_y \max_d C$, для всіх можливих значень C (сукупні витрати) при різних комбінаціях y та d . Такою комбінацією є $d = 1353$ т, $y = 1028$ т, $C = 781$ тис. грн.

Діаграма розподілу за результатами
імітаційної моделі

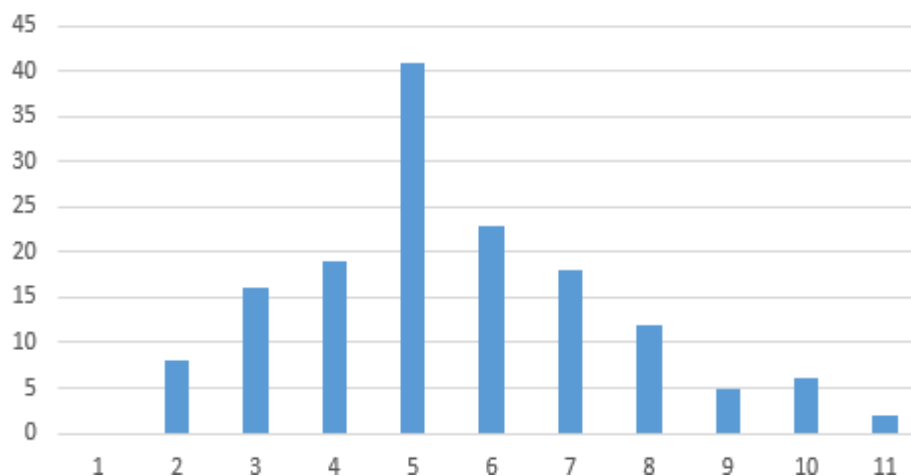


Рисунок 5 – Діаграма частоти попадання значення обсягу попиту в певний проміжок

Висновки. У даній роботі було проаналізовано статистичні дані підприємства харчової промисловості, розглянуто проблему управління запасами на сучасних підприємствах, запропоновано кілька способів для роботи зі стохастичною величиною в розглянутих моделях, розроблено модель для управління запасами в умовах невизначеності попиту.

Застосування запропонованої динамічної моделі управління матеріальними запасами на виробничому підприємстві дозволить:

- 1) Знизити складські запаси, кількість неліквідного товару;
- 2) Скоротити час очікування товару і зриву поставок;
- 3) Скоротить витрати на виробництво і логістичні операції з запасами;
- 4) Визначити оптимальний розмір замовлення на кожний з прогнозованих періодів.

Серед напрямків подальших досліджень можна виокремити удосконалення методів прогнозування попиту на товар, а також модифікація запропонованої моделі для товарів, що швидко псуються.

Література:

1. Лукинський В.В. Актуальні проблеми формування теорії управління запасами: монографія. СПб.: Изд-во СПбГИЭУ, 2008. 213 с.
2. Фасоляк Н.Д. Управление производственными запасами. М.: Экономика, 1998. 271 с.
3. Пономарьова Ю.В. Логістика: Навчальний посібник. К.: Центр навчальної літератури, 2003. 192 с.
4. Рубальський Г.Б. Управление запасами при случайном спросе (модели с непрерывным временем). М.: Советское радио, 1977. 160 с.
5. Свиридова О.А. Имитационные модели в задачах управления запасами // Известия Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. 2011. № 2 (2). С. 120–128.
6. Чудаков А.Д. Логістика: Учебник. М.: Издательство «РДЛ», 2003. 480 с.

7. Приватне акціонерне товариство "Кременчуцький міськмолкозавод". URL: http://kremez.emitents.net.ua/ua/docs/?fg_id=33 (дата звернення 13.02.2020).

8. Глушков И.Е. Управленческий учет на современном предприятии. Настольное компактное пособие по управленческому учету. М.: "КноРус", 2004. 160 с.