DOI: 10.32347/2412-9933.2024.58.169-175
УДК 517.977.1

Савранська Алла Володимирівна
Кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри системного аналізу та обчислювальної математики,
https://orcid.org/0000-0003-0193-8722
Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя
Шевчук Марк
Аспірант кафедри системного аналізу та обчислювальної математики,
https://orcid.org/0000-0001-6245-1331
Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя

ПОБУДОВА РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ДИСКРЕТНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗАПАСАМИ НА ОСНОВІ ПРОГНОЗУ

Анотація. *Ефективне керування залишками товарів на складах є необхідною умовою правильного функціонування торговельного підприємства. Такі моделі керування орієнтовані на зниження загальних витрат компанії, підвищення прибутковості підприємства, підтримання розумного балансу між зменшенням заморожених залишків товару та уникненням його дефіциту. При розв'язанні задачі керування запасами важливим є також ефективний розподіл товару між окремими групами. Оскільки в більшості економічних задач інформація про стан системи надходить у фіксовані моменти часу, задачі керування запасами переважно є дискретними моделями. Стан таких системи описується за допомогою різницевих рівнянь. Метою пропонованого дослідження є побудова регулятора, параметри якого вибираються за умови, що залишки товарів на складах компанії є достатніми для забезпечення рівня продажів, що відповідає прогнозному обсягу продажів. У роботі побудовано дискретну систему керування залишками товарів на складах торговельного підприємства. Ця система складається з різницевого рівняння, що описує вектор стану (залишки товарів у певні періоди часу розподілені по групах), початкової умови та регулятора. На регулятор накладається додаткова умова – невід'ємність його компонентів, оскільки ці компоненти є значеннями витрат на поповнення запасів товарів. Для розв'язання задачі ефективного керування залишками будують матрицю прогнозу продажів, що містить значення обсягів продажів розподілених по групах товарів для певних періодів часу. Наукова новизна дослідження полягає у створенні системи керування, що обчислює величини витрат на придбання або виробництво товарів, розподілених по групах, шляхом побудови регулятора, при якому залишки товарів відповідають залишкам, що забезпечують прогнозні продажі в кожен період часу. Створена система керування апробована на реальних даних підприємства оптової торгівлі і впроваджена в практику планування закупівель. Це допомогло підприємству ефективно керувати залишками товару, запобігаючи створенню дефіциту товарів або, навпаки, придбанню зайвих залишків, що заморожує кошти підприємства.*

Ключові слова: дискретні системи керування; вектор керуючих впливів; керування запасами; різницеві рівняння

Актуальність задачі

Тема керування запасами активно вивчається протягом останніх десятиріч у різних сферах бізнесу та науки. Незалежно від сфери реалізації моделі керування запасами зазвичай орієнтовні на зниження витрат і підтримання відповідного рівня запасів, що задовольняє потреби клієнтів. Підвищення рівня обслуговування безпосередньо пов'язано з ефективним управлінням рівнем запасів кожного з учасників ланцюжка поставок.

У разі поповнення та розподілу запасів у рамках окремого підприємства важливо дотримуватись певного балансу. Якщо запасів більше, ніж необхідно, компанія зазнає збитків, оскільки наявність надлишків заморожує кошти, які можна було б використовувати для реалізації інших проєктів. З іншого боку, часто компанії страждають від дефіциту товарів, коли вони не мають мінімального рівня запасів, необхідного для виконання щоденних операцій. Це призводить до затримок у реалізації товарів, а отже, до недоотримання прибутку.

Для розв'язання задачі ефективного поповнення запасів торговельного підприємства важливо не лише обчислити оптимальний розмір загальних витрат на управління запасами, а й їх правильний розподіл між групами товарів, що уможливлює отримати більший прибуток з найменшими витратами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останнім часом дослідженням систем керування запасами приділялося багато уваги.

У роботі [1] авторами запропоновано використати засоби економіко-математичного моделювання і сучасні комп'ютерні технології для удосконалення логістичної системи управління запасами товарів. Запропоновані моделі надають можливість ефективно використовувати фінансові ресурси для формування запасів і зменшити загальні втрати.

Статті [2; 3] присвячені розрахунку оптимальної кількості витрат на виробництво і закупівлю продуктів для компаній, які стикаються з виробничими обмеженнями. Метою досліджень є зниження загальних витрат на поповнення запасів. У роботах [4; 5] автори розглядають задачу керування запасами для роздрібних мереж, ставлячи за мету знаходження найкращої комбінації постачальників та кількості замовлень для максимізації прибутку рітейлерів. Побудовані в цих роботах моделі оптимізують час виконання замовлень, обмеження на виробничі потужності, невизначений попит на товари.

Багато задач планування в економіці описуються за допомогою різницевих рівнянь з дискретним часом, оскільки в задачах такого типу інформація про стан системи надходить у фіксовані моменти. Тому задачі керування запасами переважно є дискретними моделями. У таких задачах одним з ефективних методів дослідження є оптимальне керування. Йому присвячена велика кількість робіт.

У роботі [6] розроблено алгоритм розв'язання задачі керування запасами, який забезпечує знаходження оптимальної стратегії, що забезпечує мінімізацію витрат на створення і підтримку запасів. Стаття [7] присвячена задачі оптимізації моменту поставки нової партії товару в умовах стохастичного попиту.

Автори статті [8] розв'язують задачу синтезу дискретного матричного керування, що описується дискретними лінійними математичними моделями за модифікованим квадратичним критерієм. Керування визначається у вигляді зворотного зв'язку від спостережуваних параметрів.

Наразі доволі важливим є здійснення вибору оптимальної політики керування запасами підприємства в умовах нестабільної економіки, що дає змогу підтримувати запаси на необхідному рівні, знижуючи одночасно витрати на зберігання запасу і втрати від дефіциту товару. Така задача розглядається в роботі [9].

Задачі з використанням теорії оптимального керування розглядаються також в роботах [10; 11]. У цих роботах формується динамічна дискретна модель керування запасами і критерій ефективності, який уможливлює мінімізувати загальні затрати на керування.

У пропонованій роботі представлена дискретна модель керування запасами торговельного підприємства. Вектор стану цієї системи описується за допомогою різницевих рівнянь при заданих початкових умовах. Розглядається задача побудови дискретного матричного регулятора за спостережуваними координатами вектора стану.

Мета статті

Метою дослідження є побудова такого вектора керування системою, при якому залишки товарів на складах компанії були б достатніми для забезпечення рівня продажів, що відповідає прогнозному обсягу продажів. Крім цього, вектор керуючих впливів має забезпечувати розподіл витрат на придбання або виробництво товарів між групами товарів з метою підвищення ефективності роботи підприємства.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо дискретну модель задачі керування запасами товарів на складі торговельного підприємства. Запаси товару виражаються як функції відомих змінних (кількість наявних на складі товарів на поточний момент розрахунку, ресурси, необхідні для поповнення запасу). Інформація про стан процесу надходить у фіксовані моменти часу (кінець тижня, місяця тощо). Необхідно побудувати регулятор за спостережуваними координатами вектора стану.

Нехай n – кількість видів продукції (кількість груп товарів); l – кількість проміжків часу з досліджуваного періоду.

Розглянемо матрицю прогнозу продажів, розраховану заздалегідь на основі історичних даних за кілька попередніх років [12]. Позначимо її через X^*:

$$X^* = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1l} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2l} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nl} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Розмірність матриці $X^*: n \times l$. Якщо при побудові матриці прогнозу продажів деякі групи товарів показують спадаючу динаміку продажів, рекомендується замінити відповідні рядки матриці

X^* на продажі по цій групі за останній період часу, що передує досліджуваному.

Для того щоб досягти обсягів продажів у наступні l – періодів часу, які відповідають значенням з матриці (1), необхідно, щоб суми залишків товарів, розподілених за групами, були меншими від значень прогнозів продажів на величину націнки на кожну групу товарів. Створимо матрицю Z^*, яку назвемо матрицею ***прогнозу залишків***, шляхом ділення кожного елемента в рядках матриці X^* на деякий коефіцієнт α_i, $i = 1,2,\ldots n$, який відповідає величині націнки на кожну групу товарів:

$$Z^* = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & \ldots & z_{1l} \\ z_{21} & z_{22} & \ldots & z_{2l} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ z_{n1} & z_{n2} & \ldots & z_{nl} \end{pmatrix}. \qquad (2)$$

Побудуємо дискретну систему керування залишками товарів на складах торговельного підприємства. Введемо такі позначення.

Нехай

$$s(k) = \{s_1(k), s_2(k), \ldots, s_n(k)\}^T, \qquad (3)$$

k=0, 1, 2, ... l – ***вектор залишків*** (вартостей) товарів, розподіленних по групах на кінець *k*-го періоду часу;

$$u(k) = \{u_1(k), u_2(k), \ldots, u_n(k)\}^T, \qquad (4)$$

k=0, 1, 2, ... l – ***вектор ресурсів*** (суми в гривнях), що витрачаються на поповнення запасів товару в *k*-й період часу;

$$w(k) = \{w_1(k), w_2(k), \ldots, w_n(k)\}^T, \qquad (5)$$

k=0, 1, 2, ... l – вектор вартостей проданого товару (по групах) в k-й період часу;

$B(k)$ – діагональна матриця розміру $n \times n$, на головній діагоналі якої перебувають коефіцієнти додаткових сумарних витрат на поповнення запасів товару (транспортні витрати, витрати на зберігання, банківські послуги і т. п.). Коефіцієнти матриці $B(k)$ розраховуються заздалегідь для кожної групи товарів, $b_i(k) \geq 1$, $i = 1,2,\ldots n$:

$$B(k) = \begin{pmatrix} b_1(k) & 0 & \ldots & 0 \\ z_{21} & b_2(k) & \ldots & 0 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & 0 & \ldots & b_n(k) \end{pmatrix} \qquad (6)$$

Процес керування запасами торговельного підприємства можна записати у вигляді:

$$s(k+1) = s(k) + B(k)u(k) - w(k+1) \qquad (7)$$

Формулу (7) можна інтерпретувати в такий спосіб: значення вартостей товарів у $k+1$- й період часу дорівнює вартостям залишків у k-й період мінус значення вартості товарів, проданих зі складів компанії в *k*+1-й період і плюс величина ресурсів (суми в гривнях), що витрачаються на поповнення запасів товару.

Розглянемо вектор $w(k)$. Оскільки значення вартості товарів, проданих зі складів у k+1-й період, заздалегідь невідомі, будемо вважати

$$w(k+1) = z^*(k+1), \quad k = 0,1,2,\ldots l-1 \qquad (8)$$

де $z^*(k+1)$ $k+1$ -й стовбець матриці Z^*.

$$z^*(k+1) = \{z_{1k+1}(k), \ldots, z_{nk+1}(k)\}^T, \quad k = 0,1,2,\ldots l-1. \qquad (9)$$

Представимо елементи вектора $w(k+1)$ у вигляді

$$w_i(k+1) = a_i(k)s_i(k), \qquad (10)$$

де

$$a_i(k) = \frac{z_i^*(k+1)}{s_i(k)}. \qquad (11)$$

Використовуючи формулу (10), запишемо рівняння (7) в матричному вигляді

$$s(k+1) = A(k)s(k) + B(k)u(k), \qquad (12)$$

k=0, 1, 2, ... l – 1, де

$$A(k) = \begin{pmatrix} 1-a_1(k) & \ldots & 0 \\ \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & \ldots & 1-a_n(k) \end{pmatrix}. \qquad (13)$$

У термінології систем керування вектор ресурсів $u(k)$, $k = 0,1,2,\ldots l-1$ називається ***вектором керування*** або ***вектором керуючих впливів***, необхідних для поповнення запасів товарів протягом усього періоду, що аналізується. Вектор $u(k)$ шукатимемо у вигляді

$$u(k) = P(k)s(k), \qquad (14)$$

де $P(k)$ – діагональна матриця розмірності $n \times n$:

$$P(k) = \begin{pmatrix} p_1(k) & \ldots & 0 \\ \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & \ldots & p_n(k) \end{pmatrix} \qquad (15)$$

Коефіцієнти $p_i(k)$, $i = 1,2,\ldots n$ вибирають з умов, що величини залишків товарів у $k+1$-й період часу дорівнюють прогнозним значенням залишків, обчислених для того самого періоду, тобто

$$s_i(k+1) = z_i^*(k+1). \qquad (16)$$

Підставимо (14) в рівняння (12), отримаємо:

$$s(k+1)=A(k)s(k)+B(k)P(k)s(k),$$
$$k=0,1,2,\dots l-1.$$

або

$$s(k+1)=\left[A(k)+B(k)P(k)\right]s(k),\quad k=0,1,2,\dots l-1. \tag{17}$$

Будемо вимагати, щоб для кожного елемента вектора $s(k+1)$ виконувалась умова (16), а саме:

$$\left[1-a_i(k)+b_i(k)p_i(k)\right]s_i(k)=z_i^*(k+1). \tag{18}$$

З рівняння (18) знаходимо $p_i(k)$:

$$p_i(k)=\frac{2*a_i(k)-1}{b_i(k)}. \tag{19}$$

Оскільки $u_i(k)$ – це компоненти вектора ресурсів, що витрачаються на поповнення запасів товару за групами, для них має виконуватися умова:

$$u_i(k)\geq 0. \tag{20}$$

З урахуванням умови (20) компоненти вектора керуючих впливів $u_i(k)$ можуть бути записані у вигляді:

$$u_i(k)=\begin{cases}p_i(k)s_i(k), u_i(k)>0\\ 0, \qquad\qquad u_i(k)\leq 0\end{cases} \tag{21}$$

З урахуванням вищезазначеного система керування запасами торговельного підприємства має вигляд:

$$s(k+1)=A(k)s(k)+B(k)u(k), \tag{22}$$
$$u(k)=P(k)s(k), \tag{23}$$
$$s(0)=s^0, \tag{24}$$
$$k=0,1,2,\dots l-1.$$

На компоненти вектора керування накладено обмеження (16) і (20).

Структурна схема дискретної системи керування (22) – (24) зображена на рисунку. Це керування побудовано за принципом зворотного зв'язку за станом. Керуючий вплив $u(k)$ формується виходячи з інформації, отриманої під час функціонування системи управління, тобто дані з виходу системи надходять на вхід. Керування $u(k)$ залежить як від номера кроку k, так й від вектора стану системи $s(k)$ на цьому кроці.

Дискретна система керування (22) – (24) є цілком керованою, оскільки виконується така умова: ранг матриці

$$\left[B(k), A(k)B(k), A^2(k)B(k),\dots, A^{n-1}(k)B(k)\right],$$

дорівнює n. Ця умова забезпечується тим, що $b_i(k)\geq 1$, $i=1,2,\dots n$. Компоненти вектору стану $s(k)$ системи керування доступні для вимірювання.

Рівняння (22), що описує вектор стану системи керування товарними запасами, є лінійним різницевим рівнянням, розв'язки якого на кожному кроці процесу можуть бути знайдені як рекурентні співвідношення при заданому значенні вектора стану $s(k)$ у початковий момент часу.

Виведемо рекурентну формулу обчислення значень вектора стану системи (22) – (24):

$$s(1)=A(0)s^0+B(0)u(0), \tag{25}$$

$$\begin{aligned}s(2)&=A(1)s(1)+B(1)u(1)=\\&=A(1)\left[A(0)s^0+B(0)u(0)\right]+\\&+B(1)u(1)=A(1)A(0)s^0+\\&+A(1)B(0)u(0)+B(1)u(1),\end{aligned} \tag{26}$$

$$\begin{aligned}s(3)&=A(2)A(1)A(0)s^0+\\&+A(2)A(1)B(0)u(0)+\\&+A(2)B(1)u(1)+B(2)u(2),\end{aligned} \tag{27}$$

……………

$$\begin{aligned}s(k+1)&=\left(\prod_{i=k}^{0}A(i)\right)s^0+\\&+\left(\sum_{j=k}^{i+1}\left(\prod_{i=k}^{j+1}A(i)\right)B(j)u(j)\right)+B(k)u(k),\end{aligned} \tag{28}$$
$$k=0,1,2,\dots l-1.$$

Коефіцієнти матриць $A(k)$ і векторів $u(k)$ обчислюються послідовно за формулами (11), (20), (21).

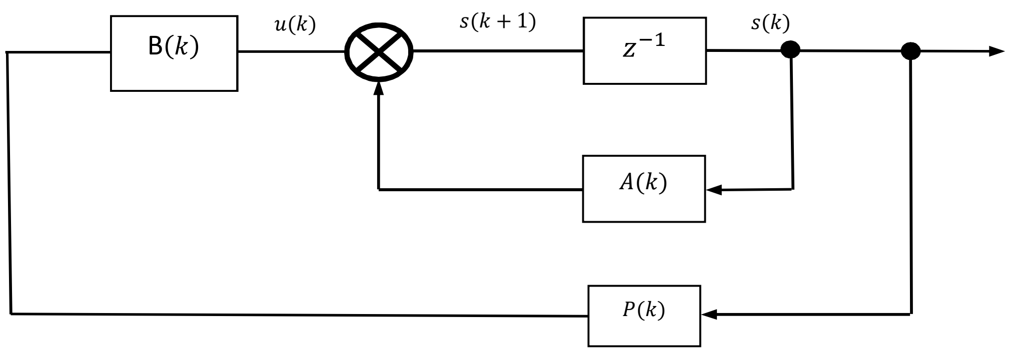

Рисунок – Структурна схема дискретної системи керування

Експеримент

Розглянемо роботу дискретної системи керування (22) – (24) з обмеженнями на вектор керуючих впливів (16), (20) на прикладі малого підприємства оптової торгівлі. Товарні запаси підприємства розбиваються на шість основних груп товару:

1. Спідня білизна.
2. Шкарпетки.
3. Колготки, лосіни.
4. Вироби власного виробництва.
5. Домашній трикотаж.
6. Текстиль.

Для кожної групи товарів будуємо прогноз продажів на підставі історичних даних за чотири роки (2020 – 2023). Прогноз будується на 2024 рік щомісячно [12] і формується матриця прогнозу продажів X^*. Кожен рядок матриці X^* поділимо на коефіцієнт α_i, $i = 1, 2, \ldots 6$ націнки на кожну групу товарів:

$$\{\alpha_i, i = 1, 2, \ldots 6\} = \{1{,}25\ 1{,}27\ 1{,}25\ 1{,}4\ 1{,}25\ 1{,}25\}.$$

Створимо матрицю прогнозу залишків Z^*, розмірності 6×12 (табл. 1). У початковий момент часу k=0 (початок 2024 року) вектор стану дорівнює

$$s(0) = (344056, 203161, 199066, 162639, 254345, 65551)^T.$$

Діагональні елементи матриці B (коефіцієнти додаткових сумарних витрат на поповнення запасів товару) розраховуються заздалегідь для кожної групи товарів окремо та не залежать від номера кроку.

У нашому випадку вони дорівнюють:

$$b_1 = 1{,}025, \quad b_2 = 1{,}035, \quad b_3 = 1{,}03,$$
$$b_4 = 1{,}045, \quad b_5 = 1{,}055, \quad b_6 = 1{,}03.$$

Значення вектора стану системи розраховуємо за формулами (25) – (28). Результати розрахунку наведено у табл. 2.

Компоненти вектора стану розраховуються за рекурентними формулами. Для обчислення компонентів вектора $s(k+1)$ необхідно спочатку обчислити значення елементів векторів $s(k)$, $u(k)$ та матриці $A(k)$ за формулами (11), (20), (21). Результати обчислень наведено у табл. 3.

Аналізуючи дані з табл. 1 – 3, можна зробити такі висновки:

1. У перший період (січень 2024 р.) залишків товару достатньо для досягнення прогнозного продажу по всіх групах товару.
2. Крім групи 4 (Вироби власного виробництва). Для цієї групи необхідно витратити 55139 гривень для поповнення запасу сировини (тканина, фурнітура). У травні немає потреби поповнювати запаси текстилю, у липні – колготок та лосін, у грудні – домашнього трикотажу.
3. Порівняння табл. 1 і 2 свідчать, що дані з цих таблиць збігаються для періодів 1-12, що відповідає цілям керування.
4. Загальна сума залишків знижується порівняно з початковими залишками товарів, залишаючись достатньою для досягнення прогнозного обсягу продажу.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Науковою новизною пропонованого дослідження є побудова регулятора (вектора керуючих впливів) для дискретної системи керування залишками на складах торговельного підприємства. Оскільки обсяги продажів у майбутні періоди часу є невідомими, то вектор керування будується за принципом відповідності залишків на наступний період залишкам, які є достатніми для досягнення прогнозних продажів у цей період часу. Наступним кроком наших досліджень буде створення системи керування зі спостерігачами вектора стану, що уможливить відслідковувати стан системи в реальному часі і коректувати значення вектора витрат (регулятора).

Таблиця 1 – ***Матриця прогнозу продажів***

Матриця прогнозу залишків Z^*											
104 236	108 687	137 157	210 302	155 457	204 491	173 444	186 002	136 446	89 248	57 048	89 028
70 440	65 978	68 221	75 606	103 021	66 976	53 616	103 603	166 544	214 852	229 671	144 121
59 889	57 369	70 018	40 651	41 504	42 096	17 330	31 629	235 225	168 545	253 431	146 638
113 789	124 399	123 255	157 050	189 834	226 750	235 813	175 878	297 157	161 166	193 152	138 061
117 101	103 744	124 117	119 236	250 610	339 734	177 849	145 774	368 703	230 218	282 322	141 812
27 877	32 822	23 690	35 847	12 691	21 950	25 206	38 075	19 882	26 595	26 201	30 740

Таблиця 2 – ***Компоненти вектора стану***

Номер групи товару	Залишкі товарів S(k)											
	S(0)	S(1)	S(2)	S(3)	S(4)	S(5)	S(6)	S(7)	S(8)	S(9)	S(10)	S(11)	S(12)
1	344 057	104 236	108 687	137 157	210 302	155 457	204 491	173 444	186 002	136 446	89 248	57 048	89 028
2	203 161	70 440	65 978	68 221	75 606	103 021	66 976	53 616	103 603	166 544	214 852	229 671	144 121
3	199 067	59 889	57 369	70 018	40 651	41 504	42 096	17 330	31 629	235 225	168 545	253 431	146 638
4	162 640	170 307	124 399	123 255	157 050	189 834	226 750	235 813	175 878	297 157	161 166	193 152	138 061
5	254 345	117 101	103 744	124 117	119 236	250 610	339 734	177 849	145 774	368 703	230 218	282 322	141 812
6	65 552	27 877	32 822	23 690	35 847	12 691	21 950	25 206	38 075	19 882	26 595	26 201	30 740

Таблиця 3 – ***Коефіцієнти*** $a_i(k)$ ***та компоненти вектора керування*** $u_i(k)$

	Коефіцієнти a(k)											
1	0,303	1,043	1,262	1,533	0,739	1,315	0,848	1,072	0,734	0,654	0,639	1,561
2	0,347	0,937	1,034	1,108	1,363	0,650	0,801	1,932	1,608	1,290	1,069	0,628
3	0,301	0,958	1,220	0,581	1,021	1,014	0,412	1,825	7,437	0,717	1,504	0,579
4	0,700	0,730	0,991	1,274	1,209	1,194	1,040	0,746	1,690	0,542	1,198	0,715
5	0,460	0,886	1,196	0,961	2,102	1,356	0,523	0,820	2,529	0,624	1,226	0,502
6	0,425	1,177	0,722	1,513	0,354	1,730	1,148	1,511	0,522	1,338	0,985	1,173
	Компоненти вектора керування u(k)											
1	0	107 837	158 936	273 189	93 028	243 551	133 936	189 487	80 234	37 696	22 065	116 666
2	0	57 053	65 850	77 878	123 469	26 401	36 629	146 583	218 221	248 630	228 957	48 824
3	0	51 508	78 589	8 915	39 940	40 236	0	44 085	425 118	92 048	323 554	31 303
4	55 139	67 778	111 494	177 319	206 268	244 138	224 566	100 796	392 843	11 295	208 502	71 080
5	0	83 370	136 096	106 290	365 035	405 882	3 936	103 839	566 695	76 162	315 332	0
6	0	35 855	13 179	45 916	0	29 931	26 993	48 727	530	31 758	24 281	33 489

Список літератури

1. Харченко Ю. А., Михайленко А. С. Економіко-математичне моделювання рівня запасів товарів торгівельного підприємства. *Економічний простір*. 2018. № 136, С. 202-213. DOI: 10.30838/ P.ES.2224.290818.194.221.
2. Darmawan, D., Kurniady, D., Komariah, A., Tamam, B., Muda, I., Pallathadka, H. Introduce a New Mathematical Approach to Inventory Management .in Production Processes Under Constrained Conditions. *Foundations of computing and decision sciences.* 2022. Vol. 47. № 4, С. 421-431. ISSN 0867-6356. DOI: 10.2478/fcds-2022-0023.
3. Antic, S., Milutinovic, L. D., Lisec A. Dynamic Discrete Inventory Control Model with Deterministic and Stochastic Demand in Pharmaceutical Distribution. *Applied Sciences*. 2022. №12, 1536. DOI: 10.3390/app12031536.
4. Alejo-Reyes, A.; Mendoza, A.; Cuevas, E.; Alcaraz-Rivera, M. A Mathematical Model for an Inventory Management and Order Quantity Allocation Problem with Nonlinear Quantity Discounts and Nonlinear Price-Dependent Demand. *Axioms*. 2023. №12, 547. DOI: 10.3390/axioms12060547.
5. Perez, H. D., Hubbs, C. D., Li, C., Grossmann, I. E. Algorithmic Approaches to Inventory Management Optimization. *Processes*. 2021. 9(1), 102. DOI:10.3390/pr9010102.
6. Юрченко М. Є. Дискретна модель оптимального управління запасами підприємства. 2019. *Ефективна економіка*. DOI: 10.32702/2307-2105-2019.3.32.
7. Юрченко М. Є., Марченко Н. А. Модель визначення оптимального моменту поставки продукції. *Науковий вісник Полісся.* 2018. № 1 (13), ч. 2. С. 60–63. DOI: 10.25140/2410-9576-2018-2-1(13)-60-63.
8. Лобок О. П., Гончаренко Б. М. Оптимальне дискретне керування лінійними багатовимірними системами. *Процеси та обладнання. Харчова промисловість*. 2011. № 10, С. 175–182.
9. Атаманчук Ю. С., Пасенченко Ю. А. Моделювання управління запасами підприємства з урахуванням невизначеності попиту. *Математичне моделювання економічних систем*. 2016. № 10.
10. Antic, S., Milutinovic, L. D., Kostic, K., Lisec A. Dynamic discrete simulation model of an inventory control with or without allowed shortages. *Scientific Bulletin*. 2015. V. 77, 1. P. 163–176.
11. Wangand, Y., Li Xu. Dynamics and Control on a Discrete Multi-Inventory System. *Journal of Control Science and Engineering.* 2019. V. 2019. DOI: 10.1155/2019/6926342
12. Савранська А., Шевчук М. (2024). Прогнозування економічних показників торгівельного підприємства з урахуванням сезонності продажів. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security. 1.* DOI: https://doi.org/10.32782/IT/2024-1.

Стаття надійшла до редколегії 20.04.2024

Savranska Alla
PhD (Physical and Mathematical Sciences), Associate Professor at the Department of System Analysis and Computational Mathematics, *https://orcid.org/0000-0003-0193-8722*
National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia
Shevchuk Mark
Postgraduate Student of the Department of System Analysis and Computational Mathematics, *https://orcid.org/0000-0001-6245-1331*
National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia

CONSTRUCTION OF A CONTROLLER FOR DISCRETE INVENTORY MANAGEMENT SYSTEMS BASED ON FORECAST

Abstract. *Effective management of product balances in warehouses is a necessary condition for the proper functioning of a trading enterprise. Such management models are aimed at reducing the company's overall costs, increasing the company's profitability, and maintaining a reasonable balance between reducing frozen product balances and avoiding shortages.*

When solving the problem of inventory management, the effective distribution of goods between individual groups is also important. Since in most economic problems, information about the state of the system arrives at fixed points in time, inventory management problems are most often discrete models. The state of such a system is described using differential equations. The purpose of this research is to build a regulator, the parameters of which are chosen under the condition that the remaining goods in the company's warehouses are sufficient to ensure the level of sales that corresponds to the forecasted sales volume. A discrete system for managing product balances in warehouses of a trading company is being built. This system consists of a difference equation describing a state vector (remains of goods in certain periods of time are distributed among groups), an initial condition, and a regulator. An additional condition is imposed on the regulator - the non-negativity of its components, since these components are the values of costs for replenishing stocks of goods. To solve the problem of effective balance management, a sales forecast matrix is built, containing the values of sales volumes distributed by product groups for certain time periods. The scientific novelty of the study consists in the creation of a management system that calculates the costs of purchasing or producing goods distributed by group by building a regulator in which the balances of goods correspond to the balances that ensure forecasted sales in each time period. The created management system was tested on real data of a wholesale trade enterprise and implemented in the practice of procurement planning. This allowed the enterprise to effectively manage product balances, preventing the creation of a shortage of goods or, conversely, the acquisition of excess balances, which freezes the company's funds.

Keywords: discrete control systems; vector of control influences; inventory management; differential equations

References

1. Kharchenko, Yu.A., Mykhaylenko, A.S., (2018). Economic-mathematical modeling of the level of stocks of goods of a trading enterprise. *Economic space,* 136, 202-213. DOI: 10.30838/ P.ES.2224.290818.194.221.
2. Darmawan, D., Kurniady, D., Komariah, A., Tamam, B., Muda, I., Pallathadka, H., (2022). Introduce a New Mathematical Approach to Inventory Management .in Production Processes Under Constrained Conditions. *Foundations of computing and decision sciences,* 47, 4, 421-431. ISSN 0867-6356. DOI: 10.2478/fcds-2022-0023.
3. Antic, S., Milutinovic, L. D., Lisec, A., (2022). Dynamic Discrete Inventory Control Model with Deterministic and Stochastic Demand in Pharmaceutical Distribution. *Applied Sciences*, 12, 1536. DOI: 10.3390/app12031536.
4. Alejo-Reyes, A.; Mendoza, A.; Cuevas, E.; Alcaraz-Rivera, M., (2023). A Mathematical Model for an Inventory Management and Order Quantity Allocation Problem with Nonlinear Quantity Discounts and Nonlinear Price-Dependent Demand. *Axioms,* 12, 547. DOI: 10.3390/axioms12060547.
5. Perez, H. D., Hubbs, C. D., Li, C., Grossmann, I. E., (2021). Algorithmic Approaches to Inventory Management Optimization. *Processes*, 9 (1), 102. DOI:10.3390/pr9010102.
6. Iurchenko, M., (2019). Discrete model of optimal inventory management of enterprise. *Efficient economy*. DOI: 10.32702/2307-2105-2019.3.32.
7. Yurchenko, M. E., Marchenko, N. A., (2018). Model for determining the optimal moment of product delivery. *Polissya scientific bulletin*, 1 (13), 2, 60–63. DOI: 10.25140/2410-9576-2018-2-1(13)-60-63.
8. Lobok, O. P., Honcharenko, B. M., (2011). Optimal discrete control of linear multidimensional systems. *Processes and equipment. Food Industry,* 10, 175–182.
9. Atamanchuk, Yu. S., Pasenchenko, Yu. A., (2016). Modeling of enterprise inventory management taking into account the uncertainty of demand. *Mathematical modeling of economic systems*, 10.
10. Antic, S., Milutinovic, L. D., Kostic, K., Lisec, A., (2015). Dynamic discrete simulation model of an inventory control with or without allowed shortages. *Scientific Bulletin*, 77, 1, 163–176.
11. Wangand, Y., Li Xu., (2019). Dynamics and Control on a Discrete Multi-Inventory System. *Journal of Control Science and Engineering*. DOI: 10.1155/2019/6926342.
12. Savranska, A., Shevchuk, M., (2024). Forecasting of the economic indicators of a trading enterprise taking into account the seasonality of sales. *Information technology and society*. V. 1. DOI: https://doi.org/10.32782/IT/2024-1.

Посилання на публікацію

APA Savranska, Alla & Shevchuk, Mark. (2024). Construction of a controller for discrete inventory management systems based on forecast. *Management of Development of Complex Systems*, 58, 169–175, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2024.58.169-175.

ДСТУ Савранська А. В., Шевчук М. Побудова регулятора для дискретної системи керування запасами на основі прогнозу. *Управління розвитком складних систем.* Київ, 2024. № 58. С. 169 – 175, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2024.58.169-175.