

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Пустовойтов Павло Євгенович

УДК 339.144:330.45

**МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ
УПРАВЛІННІ БАГАТОНОМЕНКЛАТУРНИМ ЗАПАСОМ В
УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

Спеціальність 05.13.06 – Автоматизовані системи управління та
прогресивні інформаційні технології

Автореферат дисертації на здобуття ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті „Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Раскін Лев Григорович,
 Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, професор кафедри економічної кібернетики та маркетингового менеджменту

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Федорович Олег Євгенович,
 Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського „Харківський авіаційний інститут”, завідувач кафедри інформаційно-управляючих систем

доктор технічних наук, професор
Нефьодов Леонід Іванович,
 Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідувач кафедри автоматизації та комп’ютерно-інтегрованих технологій

Провідна установа Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, кафедра автоматизованих систем обробки інформації та управління, м. Київ

Захист відбудеться 13.05.2004р. о 14-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.050.07 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” .

Автореферат розісланий 10.04.2004р.

Вчений секретар
 спеціалізованої вченої ради

Голоскоков О.Є.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний етап розвитку економіки України характеризується зміною форм власності, розвитком сфери підприємництва, а також пошуком нових форм і методів керування. Формування в Україні ринкової інфраструктури супроводжується процесами укрупнення й організаційного вдосконалювання підприємств виробничого, обслуговуючого й збутового характеру. Великі торговельні підприємства являються високоефективними формами організації торгівлі, оскільки їхнє функціонування дозволяє оптимізувати витрати на реалізовану продукцію. Потужні торговельні комплекси пред'являють населенню різноманітні асортименти товарів, що містять тисячі найменувань. Однією з найважливіших задач організації торгівлі в таких комплексах є задача управління запасами. Необґрунтоване, неоптимальне управління багатонаменклатурним запасом може привести до відчутних втрат. Крім того, при розв'язанні таких задач надзвичайно важливим є адекватне урахування невизначеності в попиті на товар, а також обмежень на сумарну вартість замовлення, об'єм складських приміщень тощо. У зв'язку з цим задача управління багатонаменклатурним запасом великої розмірності з урахуванням обмежень в умовах невизначеності, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, що були виконані в рамках дисертаційної роботи, тісно пов'язані з наступними науково-дослідними темами, що виконувалися в НТУ «ХП» при особистій участі автора: М8013 «Розробка інформаційних моделей для реалізації процедур структурного синтезу в комп'ютерно-інтегрованих системах», затвердженої Наказом МОН України від 12.06.03р.№ (ГР № 0103U001543), «Інформаційні технології управління запасом при нестационарному попиті» (відповідно до договору про творче співробітництво з торгово-промисловим комплексом «Аверс»), «Управління багатонаменклатурними запасами з урахуванням обмежень» (відповідно до договору про творче співробітництво з корпорацією «ТАІС»).

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розробка математичних моделей і методів розв'язання задач управління багатонаменклатурним запасом великої розмірності в ієрархічній структурі торгово-складських комплексів в умовах невизначеності попиту.

Об'єкт дослідження – процес управління товарними запасами в умовах ринку.

Предмет дослідження – моделі й інформаційні технології управління багатонаменклатурним запасом в ієрархічних торгово-складських комплексах в умовах невизначеності попиту.

Для досягнення поставленої мети сформульовано і розв'язано наступні задачі:

- розробка формальних моделей задачі визначення оптимального запасу відповідно до критеріїв: середній прибуток від реалізації запасу, імовірність перевищення випадковою величиною прибутку заданого порога;

- побудова математичної моделі управління багатонаменклатурним запасом великої розмірності з урахуванням довільної кількості обмежень для товарів масового споживання;

- розробка математичної моделі управління багатонаменклатурним запасом великої розмірності для товарів тривалого користування, які реалізуються штучно.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження моделей управління запасами ґрунтуються на методах теорії імовірностей і математичної статистики, математичного програмування, теорії масового обслуговування.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна роботи полягає в постановці і вирішенні актуальної проблеми управління багатонаменклатурним запасом великої розмірності в умовах невизначеності. При вирішенні цієї проблеми відповідно до мети дослідження отримано наступні наукові результати:

- одержали подальший розвиток математичні моделі процесів управління багатонаменклатурним запасом в умовах невизначеності попиту, які засновані на критеріях максимуму середнього прибутку й максимуму імовірності перевищення випадковою величиною прибутку заданого порога;

- було запропоновано нові чисельні методи розв'язання задачі оптимізації багатонаменклатурного запасу при наявності обмежень, що дозволяють здійснити оперативне управління запасами товарів масового споживання;

- уперше була запропонована математична модель процесу управління багатонаменклатурним запасом товарів тривалого користування, що реалізуються штучно, яка заснована на використанні марковських процесів. В зв'язку з цим запропоновано новий метод аналізу марковських систем з великою кількістю станів, заснований на ієрархічній процедурі фазового укрупнення станів.

Практичне значення отриманих результатів. Практична цінність отриманих у роботі результатів складається в їх реалізації у складі СППР та впровадженні на торгово-виробничих підприємствах. Розроблені математичні моделі і методи ґрунтуються на аналізі й обробці реальних даних, вони універсальні і призначені для широкого класу підприємств сфери торгівлі. Практична апробація розроблених моделей на підприємствах «Аверс» і «ТАІС» показало їхню високу ефективність.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати дисертаційної роботи були отримані автором особисто. Автору належать: нові математичні моделі задачі управління запасами за критеріями – середній прибуток від реалізації запасу, імовірність перевищення одержуваним прибутком заданого порога; методика розв'язання задач управління багатонаменклатурним запасом великої розмірності з урахуванням довільної кількості обмежень; методика управління запасами у системі «оптовий склад - магазин» для товарів тривалого користування, які реалізуються штучно.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідалися на: VII Міжнародній конференції «Сучасні проблеми інформатизації в непромисловій сфері «Економіка» (Листопад 2002 р., м. Воронеж), Міжнародній

конференції «Системи автоматики й автоматичне керування» (20-21 квітня 2003 р., м. Севастополь), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Економіко-математичні методи прийняття управлінських рішень на сучасному етапі» (26 березня 2003 р., м. Дніпропетровськ), 7 міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка і молодь у XXI столітті» (22-24 квітня 2003 р., м. Харків), XI міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я» (15-16 травня 2003 р., м. Харків).

Публікації. Результати досліджень опубліковано в 6 статтях у спеціалізованих наукових виданнях, що рекомендовані ВАК України.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків і восьми додатків. Повний обсяг дисертації складає 234 сторінки; з них 9 ілюстрацій по тексту; 39 ілюстрацій на 16 сторінках; 3 таблиці по тексту; 6 таблиць на 4 сторінках; 8 додатків на 56 сторінках; список використаних літературних джерел з 105 найменувань на 8 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкрито стан проблеми, обґрунтовується актуальність теми, формулюються мета і задачі дослідження, наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, наводяться дані про публікації й апробацію основних результатів роботи.

Перший розділ містить огляд літератури з проблеми управління запасами. Аналізуються принципи, що приводять до необхідності формування запасів, проводиться класифікація видів запасів, на змістовному рівні формулюється суть задачі управління запасами, виділяються чинники, що впливають на об'єм запасів і моменти їхнього поповнення. Аналізуються сучасні постановки задач управління запасами з урахуванням випадкового попиту. Розглядаються моделі з фіксованим рівнем замовлення, багаторівневі моделі, системи з фіксованим постачанням, комбіновані моделі управління запасами, (s, S) системи (Хедлі Дж., Уайтін Г., Хенссмен Ф., Гупта А. та ін.). Звертається увага на обмеженість математичних моделей, які були використані для опису випадкового попиту. Поставлено нові задачі розробки моделей управління запасами за критеріями: середній прибуток від реалізації й імовірність перевищення випадковою величиною прибутку заданого порога, розробки математичної моделі управління багатонаменклатурним запасом великої розмірності, також математичної моделі задачі управління запасами для товарів тривалого користування, які реалізуються штучно.

Другий розділ роботи присвячено розробці методики розв'язання багатонаменклатурної задачі управління запасами. Показано, що середній добовий прибуток має вигляд

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n \left(\beta_j + \alpha_j - c_j \right) \int_0^{x_j} \theta f_j(\theta) d\theta + 2(\beta_j - c_j) x_j \int_{x_j}^{\infty} f_j(\theta) d\theta -$$

$$-\left(\beta_j - c_j\right) \int_{x_j}^{\infty} \theta f_j(\theta) d\theta - \alpha_j x_j \int_0^{x_j} f_j(\theta) d\theta \right], \quad (1)$$

де x_j - запас товару j -го виду, c_j - закупівельна ціна одиниці товару, β_j - ціна одиниці товару при реалізації, α_j - добові витрати на збереження одиниці товару, θ_j - випадковий добовий попит на товар із щільністю розподілу $f_j(\theta)$, $j=1,2,\dots,n$.

При цьому обмеження мають вигляд

$$\sum_{i=1}^n c_j (x_j - \hat{x}_j) = \hat{d}_0, \quad \sum_{j=1}^n v_j x_j \leq v_0, \quad x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

Тут \hat{d}_0 - розмір ресурсу, який виділений на закупівлю товарів, \hat{x}_j - залишок товару j - го виду на момент замовлення, v_j - обсяг складських приміщень, які потрібні для збереження одиниці товару j -го виду, v_0 - загальний обсяг складських приміщень, $j=1,2,\dots,n$.

Аналітичний вираз для співвідношення (1) визначається конкретним видом щільності розподілу $f_j(\theta)$ для кожного з видів товару. Відповідні аналітичні вирази для $f_j(\theta)$, $j=1,2,\dots,n$ можуть бути отримані як результат обробки реальних даних про попит на товар. З цією метою гістограми випадкових величин попиту апроксимуються гладкими кривими з будь-якого представницького сімейства щільностей розподілу. При цьому важливо, щоб щільності розподілу попиту мали б єдину структуру для різних видів товару, а відрізнялися б тільки чисельними значеннями параметрів.

У роботі запропоновано наступну щільність розподілу

$$f(\theta) = A \left(1 + \theta_4 \left(1 + \frac{(\theta - \theta_1)^2}{2\theta_2^2} \right)^{-1} \right) \exp \left\{ -\frac{(\theta - \theta_1)^2}{2\theta_2^2} (1 + \theta_3 \text{sign}(\theta - \theta_1)) \right\}, \quad (3)$$

де θ_1 - параметр, що задає математичне сподівання випадкової величини; θ_2 - параметр, що характеризує дисперсію випадкової величини; θ_3 - параметр, що визначає асиметрію розподілу; θ_4 - визначає характер модальності розподілу. A - коефіцієнт, що нормує.

Для оцінки параметрів розподілу по статистичних даних використовується метод максимуму правдоподібності.

З використанням уведеної щільності розподілу отримані відповідні явні аналітичні вирази для критерію ефективності (1).

Отримана складна нелінійна задача математичного програмування розв'язується методом Нелдера-Міда.

Показано, що тривалість пошуку оптимального плану закупок цим методом є непомірно високою. У зв'язку з цим у роботі були запропоновані наближені методи пошуку плану, які характеризуються значним скороченням часу їх виконання. Сутність першого підходу складається в апроксимації аналітичного опису функції виграшу для однономенклатурної задачі з наперед заданою точністю поліномом відповідного ступеня. Далі сукупність таких співвідношень для різних товарів параметризується з урахуванням чисельних значень коефіцієнтів апроксимації відповідних щільностей розподілу попиту.

При цьому для апроксимації функції середнього виграшу в залежності від рівня запасу для довільного набору параметрів товару, використаний квадратичний поліном, параметри якого визначаються методом найменших квадратів.

Далі для розв'язання задачі (1)-(2), після переходу від нерівності у (2) до рівності, використовується метод невизначених множників Лагранжа. Функція Лагранжа має вигляд

$$\Phi(x_1, x_2, \dots, x_{n+1}) = \sum_{j=1}^n (a_{0j} + a_{1j}x_j + a_{2j}x_j^2) - a_{n+1}x_{n+1}^2 - \lambda_1 \left(\sum_{j=1}^n c_j x_j - d_0 \right) - \lambda_2 \left(\sum_{j=1}^{n+1} v_j x_j - v_0 \right). \quad (4)$$

В цьому разі розв'язання багатноменклатурної задачі може бути отримано в явному вигляді

$$x_j = \frac{c_j (d_{10}d_{22} - d_{20}d_{12}) + v_j (d_{11}d_{20} - d_{12}d_{10}) - a_{ij} (d_{11}d_{22} - (d_{12})^2)}{2a_{2j} (d_{11}d_{22} - (d_{12})^2)}. \quad (5)$$

Інший метод одержання наближеного розв'язання полягає в наступному. Спочатку шляхом чисельної оптимізації для кожного з товарів одержимо умовно-оптимальний набір значень запасів X^* без урахування обмежень.

Тепер знайдемо набір X , що мінімізує середнє сумарне відхилення від набору запасів без урахування обмежень, і задовольняє обмеженням (2), з урахуванням діагональної вагової матриці D , яка визначає ступінь прибутковості товарів.

Розв'язання, яке отримано методом невизначених множників Лагранжа і має вигляд:

$$X = X^* + D^{-1} A^T (A D^{-1} A^T)^{-1} (B - A X^*). \quad (6)$$

Ця проблема може бути сформульована і розв'язана в більш загальній постановці. Нехай, як і раніше, X^* - набір значень оптимальних запасів, які отримані для кожного виду товару без урахування обмежень; X^T - шуканий набір запасів.

$D = \text{diag}(d_1, d_2, \dots, d_n)$ - квадратна вагова матриця, яка визначає прибутковість товарів; a_{ij} - значення i -го ресурсу, що витрачається на одиницю товару j -го виду (наприклад, вартість, об'єм чи вага одиниці товару), b_j - розташовуване значення i -го ресурсу; $i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$.

Уведемо $A = (a_{ij})$, $B^T = (b_1 b_2 \dots b_m)$.

Знайдемо вектор X , який мінімізує

$$F(X) = (X - X^*)^T D (X - X^*) \quad (7)$$

і задовольняє системі обмежень

$$AX \geq B, X \leq 0. \quad (8)$$

Розв'язання задачі варто почати з перевірки того, чи задовольняє обмеженням план X^* , розрахований без їх врахування. Якщо при підстановці набору X^* у (8) всі обмеження будуть справджені, то розв'язання отримане. У супротивному випадку виділяються обмеження, що не задовольнилися, і задача (7)- (8) розв'язується тільки з їх врахуванням. Справедливість редукції впливає з наступної теореми, доведеної в роботі.

Теорема. Нехай $\{X^{(b)}\}$ - набір, що мінімізує

$$F(X) = \sum_{j=1}^n f_j(x_j), \quad (9)$$

де усі $f_j(x_j)$ - опуклі униз функції, і задовольняє системі обмежень

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = b_i, \quad a_{ij} > 0, \quad x_j \geq 0, \quad i=1,2,\dots,m, \quad j=1,2,\dots,n. \quad (10)$$

Тоді компоненти набору $\{X^{(c)}\}$, що мінімізує (9) і задовольняє обмеженням

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = c_i \leq b_i, \quad i=1,2,\dots,m, \quad (11)$$

мають наступну властивість:

$$x_j^{(c)} \leq x_j^{(b)}, \quad j=1,2,\dots,n. \quad (12)$$

Викликає інтерес порівняння точності розв'язань (5) і (6), отриманих з використанням наближених методів на множині наборів параметрів товару. З цією метою, використовуючи реальні значення параметрів товару, були обчислені точні значення $x_j^{(0)}$, а також наближені по формулах (5) і (6). Характеристикою точності рішення є відповідні значення суми квадратів відхилень.

Залежність η від розмірності n задається таблицею 1.

Таблиця 1. Порівняльна оцінка точності наближених методів розв'язання тестової багатоміноменклатурної задачі

n	10	20	30	40	50	120
η_{01}	0,018	0,036	0,042	0,056	0,077	0,114
η_{02}	0,016	0,017	0,02	0,033	0,044	0,058

Таким чином, методика, що використовує апроксимацію функцій виграшу, є менш точною, причому тим істотніше, чим вище розмірність задачі. Проте, важлива позитивна якість цього варіанта одержання наближеного рішення полягає в наступному. Апроксимації функцій виграшу можуть бути розраховані заздалегідь,

що дає можливість безпосереднього використання розрахункових формул (5), у той час як для реалізації другого варіанта в кожному конкретному випадку необхідно попереднє одержання точного розв'язання, що вимагає додаткових часових витрат.

Далі в роботі розв'язувалася проблема вибору розміру замовлення в моделі управління запасами за імовірнісним критерієм. Для однопродуктової задачі в припущенні, що закон розподілу випадкової величини попиту є зрізаний нормальний закон, був отриманий закон розподілу випадкової величини втрат у, пов'язаних з випадковістю попиту.

Уведемо тепер максимально припустимо, порогове значення втрат - y_n і обчислимо імовірність неперевищення випадковою величиною y цього порога:

$$P(y \leq y_n) = \frac{1}{A} \left(\Phi \left(\frac{y_n + m\alpha}{\sigma\alpha} - \frac{x_0}{\sigma} \right) + \Phi \left(\frac{y_n - m(\beta - c)}{\sigma(\beta - c)} + \frac{x_0}{\sigma} \right) \right), \quad (13)$$

A - коефіцієнт нормування.

Потім було розглянуто задачу формування оптимального набору замовлень у багатонаменклатурній постановці. Критерієм якості замовлення є імовірність неперевищення випадковою величиною сумарних втрат заданого порога $y_{\Sigma, \Pi}$.

Показано, що щільність розподілу випадкової величини сумарних втрат y_{Σ} може бути представлена у вигляді

$$\varphi(y_{\Sigma}) = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Sigma}} \exp \left\{ -\frac{(y_{\Sigma} - m_{\Sigma})^2}{2\sigma_{\Sigma}^2} \right\}.$$

Вихідна задача зведена до пошуку набору $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, що мінімізує

$$Z(m_{\Sigma}, \sigma_{\Sigma}) = \left[\sum_{j=1}^n \left(d_j - \frac{y_{\Sigma, \Pi}}{d_0} c_j \right) x_j \right] \left[\sum_{j=1}^n \ell_j^2 x_j^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (14)$$

і задовольняє обмеженням (3).

Далі розглянуто проблему відшукання багатонаменклатурного запасу за критерієм - імовірність перевищення випадковим прибутком заданого порогу. Показано, що задача зводиться до максимізації дрібно-нелінійного функціонала, що реалізується з використанням запропонованої в роботі ітераційної процедури.

Розглянуті вище моделі зовсім непридатні у випадках, коли задача вирішується для неподільних товарів одиничного, індивідуального попиту (холодильники, автомобілі, пральні машини і т.п.). Відповідні методики розглядаються в **третьому** розділі роботи. Для побудови формальної моделі в цій ситуації запропоновано математичний апарат теорії марковських процесів з дискретною множиною станів і безперервним часом.

Розглянуто мережу магазинів і оптовий склад. Відомі інтенсивності потоку заявок на j -й товар для i -го магазину - $\lambda_{i,j}$, доставки з оптового складу в магазин - $\beta_{i,j}$, поповнення оптового складу - γ_j , а також кількість одиниць товару кожного

виду в оптовому складі - n_j , та на складах магазинів $m_{i,j}$, $i=1,2,\dots,k$, $j=1,2,\dots,l$, де k - кількість магазинів, l - кількість видів товарів.

Кількість станів цієї системи реально може досягати сотень тисяч. У зв'язку із цим у роботі для розв'язання задачі використаний декомпозиційний підхід. На початку для кожного з видів товарів відшукується раціональний розподіл одиниць товару між оптовим складом і магазинами, який задається попиту. Потім отримані розподіли коректуються з урахуванням обмежень на сумарну вартість товарів для кожного з магазинів й об'єм складських приміщень.

Показано, що навіть однономенклатурні задачі мають надмірно високу розмірність. Ефективний підхід до аналізу марковських систем високої розмірності складається у фазовому укрупненні станів. У роботі був запропонований новий метод ітераційного багатокрокового укрупнення станів, основний зміст якого полягає в наступному.

Множина можливих станів системи розбивається на сукупність підмножин. На черговій, наприклад, k -ій ітерації одна з цих підмножин виділяється. Стани кожної з решти підмножин укрупнюються. Одержувана при цьому група укрупнених станів разом зі станами виділеної підмножини утворюють систему станів, оброблюваних на цій ітерації.

У роботі виводяться формули для розрахунку матриці імовірностей переходів у системи укрупнених та не укрупнених станів. Аналіз отриманої при цьому системи станів дає наближений розподіл імовірностей станів вихідної системи. На наступній ітерації розукрупнюють стани іншої підмножини. Обчислення продовжуються доти, поки на черговій ітерації розподіл імовірностей станів стане статистично стійким.

Практична реалізація описаної процедури для великої розмірності (10^5 станів і більш) підтвердила її високу продуктивність. Використання запропонованої технології дозволяє для будь-якого набору вихідних даних розрахувати розподіл імовірностей станів системи.

Якщо в оптовому складі зберігається n одиниць товару, а на складах магазинів m_i одиниць, $i=1,2,\dots,k$, тоді середній прибуток, який відповідає цьому розподілу

загального запасу $N = n + \sum_{i=1}^k m_i$ з урахуванням потенційних втрат і витрат на

збереження має вигляд:

$$L_0(n, m_1, m_2, \dots, m_k) = \sum_{i=1}^k \lambda_i (1 - P_{omk_i}) (\beta - c) - \sum_{i=1}^k \lambda_i P_{omk_i} (\beta - c) - \sum_{i=1}^k \sum_{l_i=1}^r l_i \alpha_i P_{\Sigma}(l_i) - \sum_{r=1}^n r \alpha_0 P(r), \quad (16)$$

P_{omk_i} - імовірність відсутності товару на складі i -го магазину;

$P_{\Sigma}(l_i)$ - імовірність того, що на складі i -го магазину зберігається рівно l_i одиниць товару.

$P(r, l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_k)$ - імовірність стану $(r, l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_k)$,

$P(r) = \sum_{l_1=0}^m \dots \sum_{l_k=0}^m P(r, l_1, \dots, l_k)$ - імовірність того, що в оптовому складі зберігається r

одиниць;

α_0 - витрати на збереження товару на оптовому складі.

Отримане співвідношення дозволяє поставити задачу відшукування раціонального розподілу N одиниць товару між оптовим складом і магазинами, яка формулюється таким чином: знайти значення n^*, m^* , що максимізують (16) і задовольняють обмеженню

$$n^* + \sum_{i=1}^k m_i^* = N.$$

Отримана задача є складною комбінаторною задачею нелінійного програмування з алгоритмічно заданою цільовою функцією. Зазначені особливості задачі – відсутність явного аналітичного виразу, що зв'яже цілочисловий набір змінних (n, m_1, \dots, m_k) зі значеннями цільової функції (16), практично виключає можливість використання добре відпрацьованих і ефективних оптимізаційних методів першого і другого порядку розв'язання неперервних задач. У роботі ця задача розв'язується модифікованим методом Нелдера-Міда з використанням на кожному кроці методу описаної вище технології розрахунку цільової функції.

Розглянуті вище аналітичні моделі були побудовані в припущенні, що випадковий процес поповнення запасів на складі і реалізації товарів є марковським. Це припущення є досить жерстким. Разом з тим відмовлення від марковости негайно приводить до різкого ускладнення математичних моделей, що в умовах високої розмірності задачі робить їх практично нерозв'язними. У цій ситуації природною альтернативою є використання імітаційної моделі.

При побудові імітаційної моделі був використаний метод особливих станів. У моделі враховуються наступні фактори: розташування магазинів відносно оптового складу (враховується час доставки товару з оптового складу в магазин), розташування магазинів відносно центру міста чи районів компактного проживання (за цими даними розраховується відвідуваність покупцями даного магазину, оцінювана середнім часом між приходами покупців). Крім того, враховується: кваліфікація продавців, умови постачання (безкоштовна доставка, установка, налагодження тощо), умови супроводу (гарантійний термін, безкоштовний інструктивний курс і т.д.). За цими даними за допомогою рівняння регресії для кожного магазину розраховується імовірність продажу товару.

Розроблена імітаційна модель має широкі можливості аналізу й оцінки ефективності функціонування системи «оптовий склад - магазини» у залежності від параметрів системи (розподіл товару між складом і магазинами), характеристик елементів системи (інтенсивності поповнення оптового складу і магазинів), а також маркетингових характеристик системи продажу. Крім того, розроблена імітаційна модель є ефективним засобом перевірки вірогідності отриманих аналітичних співвідношень для розрахунку багатомономенклатурного запасу.

З метою перевірки вірогідності аналітичних моделей імітувалася проста система «оптовий склад – один магазин», що реалізують ℓ видів товарів. При цьому було задано: розподіл одиниць товарів (на оптовому складі $n = 8$, на складі магазину $m_1 = m_2 = \dots = m_\ell = 10$), інтенсивності поповнення оптового складу $\gamma = 0,02$ (од./доб.), складу магазину $\beta = 0,2$ (од./доб.), а також інтенсивності потоку заявок на товари λ_j , $j = 1, 2, \dots, \ell$ (ці величини були задані, як розподілені рівномірно в інтервалах $[0,05;0,15]$ - для першого варіанта імітації, $[0,25;0,35]$ - для другого варіанта імітації).

Тут $L_j^{(0)}, L_j^{(u)}$ - значення середнього прибутку для j -го виду товару за результатами аналітичних розрахунків й імітаційного моделювання відповідно. При цьому, отримані розбіжності невеликі.

Набагато більш важливою є можливість використання імітаційної моделі для рішення задачі оптимізації розподілу товарів у системі «оптовий склад - магазини». При цьому виникає нетривіальна оптимізаційна задача з алгоритмічно заданою цільовою функцією типу (16) для розв'язання задачі може бути використаний будь-який метод нульового порядку (Нелдера-Міда тощо).

Зі збільшенням інтенсивності поповнення запасів на оптовому складі і на складах магазинів величина оптимального запасу в магазинах знижується.

У **четвертому розділі** розглянуто питання розробки і практичної реалізації системи підтримки прийняття рішень (СППР) при управлінні багатомономенклатурним запасом в умовах невизначеності.

СППР містить ряд підсистем. У розділі міститься докладний опис всіх задач розв'язаних системою, основними з яких є наступні.

Задача коректування попиту вирішується у випадках, коли виникає дефіцит. При цьому оцінка попиту обчислюється через середнє значення попиту й число незадоволених запитів.

Для виявлення викидів була використана та обставина, що статистика $(\theta_{j0} - \bar{\theta})\hat{S}^{-1}$ має t - розподіл Стьюдента. Тут θ_{j0} - сподіваний викид, $\bar{\theta}$ - оцінка середнього попиту, \bar{S} - середньоквадратичне відхилення попиту.

Опис тренда здійснюється поліноміальною регресією з урахуванням сезонної складової з оцінкою параметрів по МНК. Аналіз реальних даних про попит показав

наявність внутрітижневих коливань попиту, для опису яких була використана модель, параметри якої також оцінюються по МНК.

Випадкова величина, яка була одержана після виділення викидів, тренда, сезонних і внутрітижневих коливань, перевіряється на наявність автокореляції за критерієм Дарбина-Уотсона. Практичні розрахунки на реальному статистичному матеріалі показали відсутність автокореляції залишків. Чисельні значення цих випадкових величин для кожного з товарів використовуються навіть для оцінювання параметрів відповідних щільностей розподілу випадкових величин попиту. Отримані щільності розподілу використовуються в підсистемі діагностики стану ринку для виявлення ажіотажного попиту, а також у підсистемі формування рішень для розрахунку багатомономенклатурного запасу.

У таблиці 2 наведено результати контрольного тестування продуктивності програми замовлень на комп'ютері з процесором AMD Duron 800 і оперативною пам'яттю 128М при кількості номенклатур, рівному 1200.

Табл. 2. Тестування продуктивності програми замовлень

Найменування етапу	Витрачений машинний час (с)	Примітки
Об'єднання оперативних даних з архівними	55.73	Виробляється щодня в автоматичному режимі до початку робочого дня з метою прискорення роботи програми при інтерактивній взаємодії з користувачами.
Підготовка статистичних даних для роботи оптимізаційних процедур	4.17	Виробляється після натискання користувачем кнопки «перерахувати замовлення» для перетворення даних у зручну для оптимізації форму
Робота оптимізаційних процедур	119.82	Виділення тренда, сезонної та тижневої складових, побудова закону розподілу попиту, обчислення оптимальної партії замовлення
Оптимізація замовлення з урахуванням обмежень	8.14	Урахування залишків, коректування замовлень.

У розділі докладно розглянуто приклад реальної обробки даних щодо попиту по групі товарів і розв'язано задачу формування багатомономенклатурного запасу з урахуванням обмежень. Аналіз результатів розв'язання показав, що основна вимога до роботи алгоритму дотримується: при задоволенні обмежень замовлення на товари, що приносять найбільший прибуток, менш за все піддалося коректуванню, і

навпаки, для товарів, що мають слабкий попит, обсяг замовлень, з урахуванням обмежень, був змінений.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну наукову проблему розробки математичного й інформаційного забезпечення системи підтримки прийняття рішень при управлінні багатомономенклатурним запасом в умовах невизначеності попиту. В ході виконання роботи були отримані результати.

1. Проведений аналіз відомих робіт за темою дисертації виявив їхні недоліки, що полягають у недостатньому врахуванні багатьох чинників і важливих особливостей реальних задач управління запасами. Оскільки загальноприйнятий критерій мінімізації середніх витрат не повною мірою відповідає вимогам практики, були сформульовані альтернативні критерії: середній прибуток від реалізації багатомономенклатурного запасу й імовірність перевищення цим прибутком деякого заданого порога, отримані їхні аналітичні вираження.
2. У зв'язку з недоліками традиційних описів випадкового процесу попиту в роботі запропоновано використовувати універсальне чотирипараметричне сімейство розподілів випадкової величини попиту, у яких змінюються в широких межах математичне сподівання, дисперсія, асиметрія й ексцес. Показано, що запропонований розподіл з високою точністю апроксимує практично всі частовикористовувані розподіли, і, крім того, при певних значеннях параметрів цей розподіл може бути двогорбим.
3. Обґрунтовано новий метод точного розв'язання задачі управління багатомономенклатурним запасом з урахуванням довільної кількості обмежень. Показано, що тривалість розв'язання реальних задач управління запасами, що мають високу розмірність (тисячі одиниць товару) неприпустимо велика. У зв'язку з цим розроблено наближені процедури розв'язання задачі. Проведено аналіз точності цих розв'язань і вироблено рекомендації щодо застосування.
4. Для розв'язання задач управління запасом товарів, які реалізуються штучно, уперше запропоновано напівмарковську модель з дискретною множиною станів. У зв'язку з високою розмірністю задачі (десять тисяч можливих станів) була розроблена нова процедура ітераційного розв'язання таких задач, заснована на спеціальній технології фазового укрупнення станів. З використанням імітаційної моделі показано високу точність ітераційної процедури.
5. Розроблені методики програмно реалізовані в рамках АРМ «Замовлення» торгово-промислового комплексу «ТАІС». У роботі описано структуру підприємства і характер взаємодії елементів. Технологію функціонування АРМ «Замовлення» проілюстровано на реальних даних.

Список опублікованих робіт за темою дисертації.

1. Раскин Л.Г., Пустовойтов П.Е., Серая О.В. Многономенклатурная задача управления запасами // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2002. - №8. – Т.1. – С. 17-21.

Здобувачем сформульована математична модель задач управління багатомноменклатурним запасом і описаний метод її розв'язання.

2. Раскин Л.Г., Серая О.В., Пустовойтов П.Е. Универсальное четырехпараметрическое семейство распределений для аппроксимации гистограмм // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2002. - №9. – Т.6. – С. 115-118.

Здобувачем був запропонований універсальний розподіл імовірностей, досліджені властивості розподілу

3. Раскин Л.Г., Пустовойтов П.Е. Решение многономенклатурной задачи управления запасами по вероятностному критерию // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2002. - №13. – Т.1. – С. 49-53.

Здобувачем запропонований і обґрунтований новий імовірнісний критерій розв'язання багатомноменклатурної задачі.

4. Раскин Л.Г. Пустовойтов П.Е. Иерархический алгоритм фазового укрупнения состояний для системы высокой размерности. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2003. - №7.-Т.2.- с.49-52.

Здобувачем був запропонований і описаний ієрархічний алгоритм фазового укрупнення станів марковських систем.

5. Пустовойтов П.Е., Раскин Л.Г. Рациональное распределение запаса товаров индивидуального спроса в иерархической системе // Системы автоматизации и автоматическое управление. – Севастополь: СевНТУ, 2003. – 3.67-70.

Здобувачем був розроблений метод керування запасами товарів, які реалізуються штучно.

6. Раскин Л.Г., Пустовойтов П.Е. Оценка параметров нестационарного процесса спроса // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2003. - №6.-Т.1.- с.93-96.

Здобувачем розроблено методику оцінки параметрів нестационарного попиту.

АНОТАЦІЇ

Пустовойтов П. Є. Математичне й інформаційне забезпечення системи підтримки прийняття рішень при управлінні багатоміноміклатурним запасом в умовах невизначеності. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, Харків, 2004.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуальної наукової проблеми управління багатоміноміклатурним запасом в умовах невизначеності попиту з урахуванням обмежень і високої розмірності задачі. Як критерії ефективності управління багатоміноміклатурним запасом у роботі запропоновано середній прибуток від реалізації запасу й імовірність перевищення значенням цього прибутку заданого порогу. Показано доцільність використання для опису випадкового характеру величини попиту універсального чотирипараметричного сімейства щільностей розподілу. Розроблено методи розв'язання задачі управління багатоміноміклатурним запасом великої розмірності з урахуванням обмежень. Показано, що реалізація точного методу розв'язання задачі вимагає неприпустимих часових й обчислювальних витрат. У зв'язку із цим, запропоновані наближені методи розв'язання задачі, що використовують декомпозиційний підхід.

Вирішено задачу управління багатоміноміклатурним запасом для товарів, які реалізують штучно. З урахуванням дискретного характеру задачі, для її розв'язання був використаний математичний апарат марковських процесів з безперервним часом і дискретною множиною станів. Проблема високої розмірності задачі для кожного з товарів вирішується застосуванням запропонованого в роботі алгоритму, заснованого на ітераційному фазовому укрупненні станів. Оцінка точності ітераційної процедури була проведена з використанням імітаційної моделі.

Результати теоретичних досліджень були впроваджені в програмному забезпеченні СППР «Замовлення» торгово-промислового комплексу «ТАІС».

Ключові слова: випадковий попит, управління багатоміноміклатурним запасом, урахування обмежень, розмірність задачі, укрупнення станів системи.

Пустовойтов П. Е. Математическое и информационное обеспечение системы поддержки принятия решений при управлении многоименклатурным запасом в условиях неопределенности. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизированные системы управления и прогрессивные информационные технологии. Национальный технический

университет «Харьковский политехнический институт» Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2004.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научной проблемы управления многономенклатурным запасом в условиях неопределенности с учетом ограничений и высокой размерности задачи.

В качестве критериев эффективности управления многономенклатурным запасом в работе предложены средняя прибыль от реализации запаса и вероятность превышения значением этой прибыли заданного порога. В работе получена и обоснована математическая модель, описывающая зависимость численного значения критериев от уровня запаса. Показана целесообразность использования для описания случайного характера величины спроса универсального четырехпараметрического семейства плотностей распределения. Практическая ценность этого описания состоит в том, что при сохранении его структуры для товаров разного вида меняются только численные значения его параметров.

Разработаны методы решения задачи управления многономенклатурным запасом большой размерности с учетом ограничений. Показано, что реализация точного метода решения задачи требует недопустимых временных и вычислительных затрат. В связи с этим предложены приближенные методы решения задачи, использующие декомпозиционный подход. При этом сначала для каждого из видов товара отыскивается условно-оптимальное значение запаса, исходя из спроса на товар. Затем полученный набор значений корректируется с учетом ограничений на суммарную стоимость закупаемых товаров, объем складских помещений и т.д. Проведен анализ точности нескольких альтернативных вариантов приближенных решений задачи.

Предложена и обоснована технология решения задачи управления многономенклатурным запасом с учетом произвольного числа ограничений в форме неравенств. Сформулирована и доказана теорема, обеспечивающая возможность итерационного последовательного удовлетворения ограничений.

Решена задача управления многономенклатурным запасом для товаров, реализуемых штучно. С учетом дискретного характера задачи, для ее решения использован математический аппарат марковских процессов с непрерывным временем и дискретным множеством состояний. Получены соотношения, описывающие распределение вероятностей состояний системы. Для решения многономенклатурной задачи использован декомпозиционный подход. Проблема высокой размерности задачи для каждого из товаров решается применением предложенного в работе алгоритма, основанного на итерационном фазовом укрупнении состояний, что позволило процедуру решения исходной сложной задачи преобразовать к последовательности более простых задач. Получаемый в результате предельный вектор вероятностей состояний используется для отыскания оптимального распределения штучно реализуемого запаса в системе «оптовый склад - магазины». Набор распределений для совокупности товаров корректируется с

учетом ограничений. Оценка точности итерационной процедуры была проведена с использованием имитационной модели.

Результаты теоретических исследований внедрены в программном обеспечении АРМ «Заказ» торгово-промышленного комплекса «ТАИС». В работе описана структура предприятия и характер взаимодействия элементов. Технология функционирования АРМ «Заказ» проиллюстрирована на реальных данных.

Ключевые слова: случайный спрос, управление многономенклатурным запасом, учет ограничений, размерность задачи, укрупнение состояний системы.

P. Pustovoitov. Mathematical and information support for the decision-making support system employed in controlling a multiple-range stock under uncertainty

Competitive thesis for the Degree of Candidate of science in automated control systems and advanced information technologies; specialty 05.13.06. National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute” of Ukrainian Ministry of Education and Science, Kharkiv, 2004.

The presented work provides a solution for the urgent scientific problem of designing mathematical and information software support for the decision-making support system employed in controlling a multiple-range stock under uncertainty.

Instead of the traditional conventional criterion usage of minimizing average costs was proposed the alternative criteria, namely: the average profit return on disposal of the multiple-range stock, and the probability of said profit return exceeded a certain set threshold.

The work proposes using a universal four-parameter family of distributions of the casual level of demand against the background of wide-range variable mathematical expectation, dispersion, asymmetry and excess.

There is offered a validated novel method for accurately solving the problem of controlling a multiple-range stock in view of a random number of restrictions. The time interval for solving actual problems of controlling bulky stocks (including thousands of pieces) has been shown to be unacceptably lengthy. In this connection some rough procedures for solving the problem have been worked out. An analysis of the accuracy of such solutions has been performed, and practical recommendations have been formulated.

To solve the problems of controlling a stock of goods intended for piece-by-piece disposal a semi-markovian model with a discrete set of states is proposed.

The problem of high-dimensional representation of the task is solved by using an algorithm based upon the iterative procedure of phase integration of states, which has made it possible to obtain some approximated results, having reduced time costs. To estimate the accuracy of the iterative procedure a simulation model has been designed.

The results of theoretical research have been practically employed in designing software within the frame of the “Zakaz” AWP for the TAIS commercial complex. The work presents an outline of the enterprise’s structure and the nature of its elements interacting. The operation technology of the “Zakaz” AWP is illustrated using actual data.

Keywords: random demand, multiple-range stock control, restriction-taking, task dimension, system state enlarging.