

УДК 65.012.8: 338.246

Лобов С.П.

*кандидат економічних наук,
доцент кафедри обліку, аналізу,
аудиту й адміністрування підприємств
гірничо-металургійного комплексу
Криворізького національного університету*

ВИКОРИСТАННЯ ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ЕКОНОМІЧНИХ РИЗИКІВ У МЕРЕЖАХ ПОСТАЧАЇ

Розроблено метод оптимізації управління запасами, що враховує інтенсивність потоків їх використання, проміжний контроль наявних запасів, вибір моменту замовлення за допомогою ситуаційної моделі, яка пов'язує систему управління запасами і параметрами управління. Запропонований метод моделювання системи управління запасами відрізняється використанням теорії систем масового обслуговування, імітаційного моделювання і дозволяє отримувати основу для прийняття рішень у режимі реального часу, отримувати оцінки розподілів вірогідності характеристик системи.

Ключові слова: мережа постачань, управління запасами, системи масового обслуговування, таймер модельного часу.

Лобов С.П. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РИСКОВ В СЕТЯХ ПОСТАВОК

Разработан метод оптимизации управления запасами, который учитывает интенсивность потоков их использования, промежуточный контроль имеющихся запасов, выбор момента заказа с помощью ситуационной модели, связывающей систему управления запасами и параметрами управления. Предложенный метод моделирования системы управления запасами отличается использованием теории систем массового обслуживания, имитационного моделирования и позволяет получать основу для принятия решений в режиме реального времени, получать оценки распределений вероятности характеристик системы.

Ключевые слова: сеть поставок, управление запасами, системы массового обслуживания, таймер модельного времени.

Lobov S.P. THE USE OF DYNAMIC MODELS OF INVENTORY MANAGEMENT WHEN MODELING ECONOMIC RISKS IN SUPPLY CHAINS

The method of optimization of inventory management, taking into account the intensity of the flows of its use, the intermediate control of the existing stock, the choice of the moment of order using the situational model, which links the inventory management system and control parameters, is developed. The proposed modeling method of inventory management uses the theory of mass service systems, simulations, and allows to get a basis for making decisions in real time, to obtain estimates of the probable distributions of the characteristics of the system.

Keywords: supply chain, inventory management, mass service systems, timer of simulated time.

Постановка проблеми. У процесі управління підприємством завдання раціонального управління запасами є одним із ключових. Відзначимо, що навіть на сучасному етапі розвитку економічної науки не існує стандартних рішень цієї проблеми. Це обумовлено умовами та особливостями діяльності кожного підприємства, які завжди унікальні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині вирішення завдань управління запасами в цілому неможливе без використання новітніх засобів інформатизації та спеціалізованих програмних комплексів. Пряма інформатизація управління підприємством та окремими аспектами його діяльності не завжди дає належний ефект без використання сучасних моделей управління.

Для систем, пов'язаних з управлінням запасами, необхідні нові і ефективні методи моделювання їх роботи в умовах невизначеності. Вирішення подібних завдань вимагає використання методів системного аналізу, розробки системного підходу до рішення завдання управління в цілому.

У роботі [4] нами запропоновано при оцінці економічного ефекту від перепланування закупівель у режимі реального часу враховувати ризики недопостачання матеріальних ресурсів одним постачальником.

На практиці системи управління ресурсами гірничо-збагачувальних комбінатів будуються як багатонаменклатурні структури зі складною технологією поповнення, значною кількістю постачальників тощо. Тобто крім системи управління наявними ресурсами та їх поповнення потрібно розглядати

мережу постачань. Отже, при оцінці ризиків недопостачання доцільно розглядати не одного, а усю сукупність постачальників, у кожного з яких різні умови поставки.

У роботі [1] мережа постачань визначається як сукупність взаємозв'язаних бізнес-об'єктів, що несуть колективну відповідальність за видобуток сировини, виробництво, зберігання, транспортування і поширення деякої продукції. Елементи мережі постачань пов'язані матеріальними і інформаційними потоками. Матеріальні потоки від постачальників сировини через етапи виробництва і проміжного зберігання, процеси транспортування напівфабрикатів і готової продукції доходять до складів готової продукції.

Інформаційні потоки у вигляді замовлень на сировину, комплектуючі та готову продукцію рухаються у протилежному напрямі від кінцевих споживачів через систему маркетингу і планування виробництва.

Кожен елемент мережі постачань відповідає деякому фізичному об'єкту і може належати до одного із таких класів: постачальник сировини, виробничий вузол, вузол зберігання, продавець, споживач.

З точки зору теорії автоматичного управління ця система є багатозв'язковим динамічним об'єктом управління, схильним до дії зовнішніх обурень, роль яких виконують коливання попиту з боку споживачів.

Постановка завдання. Виникає необхідність в розробці методів математичного моделювання мережі постачань як основи ухвалення рішення завдань оперативного управління постачанням з метою під-

тримки у вузлах мережі оптимальних рівнів страхових запасів продукції з урахуванням наявності тимчасових затримок на транспортування і виробництво продукції за умови повного і своєчасного задоволення попиту на готову продукцію з боку споживачів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Пропонуємо метод оптимізації управління запасами, що відрізняється концептуальним підходом, включає формулювання завдання управління ними на основі інтенсивності потоків їх використання, проміжний контроль наявних запасів, вибір моменту замовлення за допомогою ситуаційної моделі, яка пов'язує систему управління запасами і параметрами управління. Запропонований метод моделювання системи управління запасами відрізняється використанням теорії систем масового обслуговування, імітаційного моделювання і дозволяє отримувати основу для прийняття рішень в режимі реального часу, отримувати оцінки розподілів вірогідності характеристик системи.

Нехай мережа постачань містить N вузлів (елементів). Пронумеруємо їх у порядку зростання спочатку усередині кожного кластера, відповідного одному із перерахованих вище класів об'єктів, а потім просуваючись від постачальників сировини до споживачів готової продукції. Вузли, що моделюють споживачів кінцевої продукції, в кількості N_e групуються в останньому кластері.

Будемо вважати, що кожен вузол мережі є однопродуктовою системою. Для графічного представлення моделі мережі постачань пропонується використовувати орієнтований зважений граф, вершини якого відповідають вузлам мережі і групуються в кластери залежно від їх приналежності до перерахованих вище класів. Наявність дуги між вершинами графа і та j означає, що вузол мережі i є постачальником продукції для вузла j .

Вага дуги дорівнює часу доставки продукції, який вважається відомим після визначення процедури та порядку транспортування і позначається $T_{i,j}$. Для математичного опису відповідного графа використовується матриця досяжності розмірністю $(N-N_e) \times N$, яка містить інформацію про існування шляху між вершинами орграфа.

Для опису i -го виробничого вузла використаємо наступні позначення:

$\Pi = \{\pi_{i,j}\}$, $i, j = 1, N - N_e$ – виробнича матриця, значення (i, j) -го елемента якої дорівнює кількості продукту j , виміряному в одиницях, який потрібен для виробництва одиниці продукту i ;

C_i – продуктивність виробничого вузла i ;

LT_i – змінна, значення якої кратне періоду дискретизації Δt , що позначає час виконання замовлення d вузла i (ціле число);

CO – вартість виробництва одиниці продукту i ;

LO – додаткові витрати вузла i в процесі виробництва одиниці продукції;

λ_i – технологічний коефіцієнт, що позначає рівень завантаження устаткування вузла i , %.

У запропонованій моделі мережі постачань:

– обирається період дискретизації за часом Δt і всі тимчасові затримки вважаються кратними обраною періоду;

– час збільшується кроками, в кінці кожного кроку новий стан визначається за допомогою рівнянь моделі;

– стан системи характеризується рівнем запасів кожного продукту протягом даного періоду.

Структура взаємодії вузлів даної мережі постачань приведена на рисунку 1.

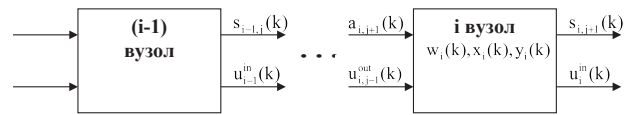


Рис. 1. Модель взаємодії вузлів мережі постачань

Позначимо відповідно через $w_i(k)$, $x_i(k)$ і $y_i(k)$ рівень запасу продукту i , що знаходиться в процесі обробки, ϵ в наявності і об'єм незадоволеного попиту в момент часу k , $k=0,1,2,\dots$.

Нехай $u_{i-1,i}^{opt}(k)$ – це об'єм замовлення продукту $(i-1)$, який вузол i відправляє на вузол $(i-1)$ в момент k . Позначимо $a_{i-1,i}(k)$ – кількість продукту $(i-1)$, яку в момент k фактично отримує вузол i від вузла $(i-1)$. Після закінчення часу LT_i виконання замовлення відповідна кількість продукту i переміщується в запас.

Позначимо множину вузлів, які є споживачами продукту i через $D_i^{opt} = \{j | \pi_{j,i} \neq 0, j = i+1, N\}$, а множину вузлів, які є постачальниками запасів для вузла i , через $D_i^{in} = \{j | \pi_{i,j} \neq 0, j = 1, i-1\}$.

Тоді $u_i^{in}(k) = \sum_{j \in D_i^{opt}} u_{j,i}^{out}(k)$ – це сумарний об'єм замовлення продукту j , які поступають на вузол i в момент k з вузлів D_i^{opt} .

У такому разі динаміка i -го вузла описується динамікою:

$$w_i(k) = w_i(k-1) + \sum_{j \in D_i^{in}} a_{j,i}(k) - \sum_{j \in D_i^{opt}} a_{i,j}(k - LT_i), \quad w_i(0) = 0$$

$$s_i(k) = \min \left\{ x_i(k-1) + \min_{j \in D_i^{opt}} \left(\frac{a_{i,j}(k - LT_i)}{\pi_{i,j}} \right) \right\}, \quad (1)$$

$$x_i(k) = x_i(k-1) + \min_{j \in D_i^{in}} \left(\frac{a_{j,i}(k - LT_i)}{\pi_{i,j}} \right) - s_i(k),$$

$$y_i(k) = y_i(k-1) + u_i^{in}(k-1) - s_i(k),$$

Якщо поточний попит задовольняється, то виконується рівність:

$$s_{i,j}(k) = u_{i,j}^{out}(k-1), \quad \text{тобто } s_i(k) = u_i^{in}(k-1). \quad (2)$$

Вузол j , який є постачальником для вузла i , відправляє $s_{i,j}(k)$ кількість продукту j в вузол i , яка прибуває через час $T_{i,j}$ тобто виконується співвідношення $a_{i,j}(k) = s_{i,j}(k - T_{i,j})$.

Введемо деякі припущення. Споживачі конкретних видів сировини чи комплектуючих подають замовлення постачальникам з інформацією про номінальний стан наявних запасів $u_i(k)$, $i = N - N_e + 1, N$ та необхідність замовлення певного рівня $u_i^{out}(k)$, $i = N - N_e, N$, який формується на базі прогнозних значень попиту, статистичного аналізу попередніх періодів тощо. Це дозволяє підтримувати бажаний страховий запас $x_i^*(k)$.

Необхідно відзначити, що попит на певний вид запасів сировини комплектуючих має стохастичний характер. У зв'язку з цим необхідне врахування та мінімізація часу нового замовлення та його прибуття.

Позначимо через $\Delta x_i(k)$ відхилення наявного рівня запасу i від його номінального (страхового рівня), а через $\Delta u_i^{in}(k)$ та $\Delta u_{i,j}^{out}(k)$ – відхилення попиту на запас i та відповідні відхилення замовлень постачальникам $\Delta u_i^{in}(k)$, $\Delta u_{i,j}^{out}(k)$. Очевидно, що:

$$x_i(k) = x_i^* + \Delta x_i(k); \quad (3)$$

$$u_i^{in}(k) = u_i^{in} + \Delta u_i^{in}(k);$$

$$u_{i,j}^{\text{out}}(k) = \bar{u}_{i,j}^{\text{out}}(k) + \Delta u_{i,j}^{\text{out}}(k) \cdot$$

Після перетворень отримуємо:

$$\Delta x_i(k) = \Delta x_i(k-1) + \min_{j \in D} \left(\frac{\Delta u_{i,j}^{\text{out}}(k - \Psi_{i,j})}{\pi_{i,j}} \right) - \Delta u_i^{\text{in}}(k-1), \quad (4)$$

де $\Psi_{i,j} = T_{i,j} + LT_i + 1$ – період затримки матеріальних потоків в мережі постачань.

Для нівелювання впливу часових затримок необхідно стандартизувати $\Psi_{i,j}$ та звести його до мінімуму. Така задача вирішується як задача максимального потоку в орграфі.

Позначивши через $\Psi_{i,j}^{\text{max}}$ максимальний час затримки постачань запасів в вузол i , визначимо вектор:

$$z_i(k) = [\Delta x_i(k), [\Delta u_{i,j}^{\text{out}}(k-1)], [\Delta u_{i,j}^{\text{out}}(k-2)], \dots, [\Delta u_{i,j}^{\text{out}}(k - \Psi_{i,j}^{\text{max}} + 1)]]. \quad (5)$$

Очевидно, що $z_i(k)$ визначає наявний запас продукту i , а також замовлене, але ще не отримане поповнення запасу. Назвемо $z_i(k)$ «фіктивним» рівнем запасу.

Тоді динаміка вузла i прийме вигляд:

$$z_i(k+1) = A_i \cdot z_i(k) + B_i \cdot \Delta u_{i,j}^{\text{out}}(k) + D_i \cdot \Delta u_i^{\text{in}}(k), \quad (6)$$

де A_i, B_i, D_i – матриці, які знаходяться на основі співвідношень (1).

Мережу постачань доцільно розглядати як систему масового обслуговування. Система масового обслуговування повністю описується завданням: вхідного потоку, дисципліни черги, порядку обслуговування. Схематично систему масового обслуговування можна відобразити у такому вигляді (рис. 2):

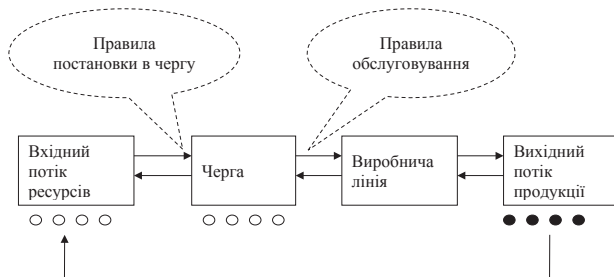


Рис. 2. Спрощена модель виробничої лінії як системи масового обслуговування

Математичний апарат систем масового обслуговування розглядається у роботах [1-3]. Процес функціонування цієї системи – це послідовна зміна станів системи в часі. Процес переходу системи з одного стану в інший називається подією системи. Як зазначається у роботах [1-3], що основними подіями для системи, що розглядається нами, є:

- надходження заявки;
- звернення заявки з джерела повторних викликів;
- завершення обслуговування заявки на обслуговуючому пристрої;
- завершення моделювання.

Процес надходження заявки передбачає створення заявки і її введення в систему. Потім відбувається перевірка «зайнятості приладу», якщо прилад вільний, то заявка стає на обслуговування, інакше додається в чергу. При цьому процес постановки в чергу залежить від обмеження довжини черги: якщо довжина черги досягла межі, то заявка покидає систему.

Проте необхідно зупинитися на деяких аспектах цієї задачі в рамках даного дослідження. Запропонована модель дає можливість розраховувати час і обсяг кожного чергового поповнення запасів. Незалежно від певної складності математичної моделі і алгоритму рішення задачі знаходження оптимальної стратегії вони завжди легко інтерпретуються. Головним результатом рішення, безперечно, є скорочення часу розробки управлінських рішень.

У процесі моделювання системи таймер модельного часу, безумовно, повинен постійно коректуватися відповідно основних подій, які виникають в реальній системі контролю та поповнення запасів. При цьому існують два способи (два принципи) корекції значення таймера модельного часу:

- 1) корекція з постійним кроком;
- 2) корекція із змінним кроком.

У разі корекції з постійним кроком модельний час збільшується на величину Δh , обрану перед початком моделювання. При цьому постійно перевіряється, чи не сталася подія на інтервалі $[h, h + \Delta h]$.

Очевидно, що при дуже великому значенні Δh результати моделювання будуть недостовірними, тоді як вибір дуже маленького значення приведе до збільшення витрат на моделювання.

При корекції таймера модельного часу із змінним кроком значення таймера повинні безпосередньо збігатися з моментами виникнення подій в системі, тому на кожній ітерації значення таймера зрушується до моменту чергової події. Як спосіб корекції таймера модельного часу використовуватимемо спосіб корекції із змінним кроком.

Оскільки в системі, що розробляється, визначено 4 події (рис. 2), то таймер модельного часу $T_{\text{мод}}$, що коректується в основному імітаційному циклі, зрушуватиметься у бік найближчої події, що настанала. Тобто для моментів настання основних подій:

- $T_{\text{мод}}$ – момент часу надходження заявки в систему;
- $T_{\text{зв}}$ – момент часу повернення заявки;
- $T_{\text{обс}}$ – момент часу завершення обслуговування заявки на обслуговуючому пристрої;
- $T_{\text{завмод}}$ – момент часу завершення моделювання.

Корекція модельного часу визначається як:

$$T_{\text{мод}} = \min(T_{\text{зв}}, T_{\text{зв}}, T_{\text{обс}}, T_{\text{завмод}}). \quad (7)$$

Висновки з проведеного дослідження. Отже, математичний апарат систем масового обслуговування у сфері управління запасами дає можливість скорочення часу на обробку та інтерпретацію поточних результатів діяльності промислового підприємства, прийняття управлінських рішень, підвищує оперативність та економічну ефективність його діяльності.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Елтаренко Е.А. Исследование операций (системы массового обслуживания, теория игр, модели управления запасами). – М. : МИФИ. 2007. – 158 с.
2. Таха Х.А. Введение в исследование операций : Пер. с англ. – М. : Вильямс, 2001. – 912 с.
3. Мастяева И.Н., Горбовцов Г.Я., Семенихина О.Н. Исследование операций в экономике. – М. : ММИЭИФП, 2003. – 113 с.
4. Lobov S.P. Reduction of economic risk by re-planning in real-time / S.P. Lobov // The Advanced Science Journal. – 2015. – № 1. – С. 114-117.