

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКИХ КОМПЛЕКСІВ

Жуковський Е.Й., д-р техн. наук, професор, Чабаров В.О., канд. техн. наук, доцент
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Розглядається проблема розрахунку параметрів функціонування транспортно-складських комплексів на основі аналітичного моделювання і використання теорії масового обслуговування.

The problem of calculation of the parameters of transport and warehouse complexes, functioning on the basis of the analytic modeling and application of the theory of mass service, is being.

Ключові слова: Транспортно-складська система (ТСК), вантажопотік, черга транспортних засобів, система масового обслуговування (СМО), інтенсивність вантажопотоків, канал обслуговування, фаза обслуговування, термін обслуговування транспортних засобів.

Методи розрахунків при проектуванні поточно-транспортних систем (ПТС) складів зводяться до трьох характерних видів аналітичних моделей.

Перша модель відбиває явища надходження й переробки тарно-штучних вантажів як детермінованих; за структурою моделі й вхідної інформації видно, що прибуття вантажопотоків протягом доби приймається рівномірно, а продуктивність обслуговуючих механізмів вважається постійною, що суперечить реальним явищам. Наприклад, формула для визначення кількості вантажно-розвантажувального устаткування (N) у фазі має вигляд:

$$N = \frac{Q_{\text{сум}}}{q_n \cdot T}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{сум}}$ – добовий вантажопотік, т;

q_n – продуктивність устаткування, т/ч;

T – кількість годин роботи устаткування протягом доби, год;

Друга модель також відображає явище переробки вантажів на складах як детерміноване, але в структурі залежності введені добові або місячні коефіцієнти, що дозволяють у деякій мірі враховувати нерівномірність прибуття вантажопотоків і роботи обслуговуючих механізмів. Однак величини поправочних коефіцієнтів змінюються в широких межах і не враховують стохастичність процесів протягом доби, що служить головною причиною утворення черги. До того ж не існує наукових рекомендацій щодо користування наведеними коефіцієнтами. У таблиці наведений ряд коефіцієнтів нерівномірності, що використані у детермінованих розрахунках, а також діапазон їхньої зміни, прийнятий у різних авторів. У переважній більшості випадків вантажопотоки надходять на склад нерівномірно як по величині партій, так і по моментах часу, а обслуговуючі механізми обробляють кожну партію також за випадкові проміжки часу в силу того, що коливаються продуктивність механізмів і величини партій вантажів. Тому використання такої розрахункової моделі приводить до значних помилок у визначенні типу, продуктивності і кількості потрібного устаткування.

Третя модель передбачає використання апарата теорії масового обслуговування, що дозволяє врахувати й навіть розрахувати таке явище, як утворення черги транспортних засобів. Дана модель дає більш високу точність розрахунків. Прикладом такого підходу служить розрахунок $Z_{\text{оч}}$, наведений нижче. Як свідчать проведені дослідження, надходження й обслуговування складських вантажопотоків має характер масового обслуговування. А наявність того факту, що кожна заявка, що надійшла, незалежно від величини черги буде обов'язково прийнята на обслуговування, дозволяє віднести ТСК до систем масового обслуговування (СМО) з очікуванням. У загальному СМО характеризується структурою, що складається з наступних елементів: вхідного потоку заявок; черги заявок, що очікують обслуговування; дисципліни черги; механізму обслуговування. Наведена структура для складської системи ускладнюється, оскільки ТСК складається з ряду послідовно й паралельно зв'язаних каналів (механізмів) обслуговування. Паралельна робота елементів устаткування описується у вигляді багатоканальної СМО з часом зайнятості, що відповідають технологічним циклом окремих одиниць. Послідовне включення одиниць устаткування або їхніх груп у технологічний процес складування вантажів приводить до багатофазних СМО.

Таблиця – Аналітичні методи розрахунку характеристик складських систем

Формула розрахунку	Вхідні й вихідні величини	Значення коефіцієнта нерівномірності	Автори розрахунку
2	3	4	5
$N_T = \frac{Q \cdot K_i}{q_z \cdot T \cdot K_{\alpha\delta}}$	Q – вантажообіг за розрахунковий період (змину, добу, місяць), т;	Для основних матеріалів однорідного характеру $K_n=1,1-1,2$	М.А. Александров Б.Н. Гамалея
	K_n – коефіцієнт нерівномірності вантажного потоку;		
	q_z – продуктивність транспортного засобу, т/ч;	Для допоміжних матеріалів $K_n=1,4-1,5$	
	T – тривалість періоду, год;	Для матеріалів пов'язаних із сезонністю заготівель і доставки $K_n=1,6-2,5$	
	$K_{\alpha\delta}$ – коефіцієнт використання часу розрахункового періоду;		
$Q_{сут} = \frac{Q_{\alpha}}{T} \cdot \hat{E}i$	Q_{α} – річний вантажопотік, т;	K_n приймає значення, рівне 1 і більше	О.Б. Маликов
	K_n – коефіцієнт нерівномірності по прийому або видачі вантажів, що враховує коливання вантажопотоків;		
	T – річний фонд робочого часу, дні;		
	$Q_{сут}$ – добовий вантажопотік, т		
$M_{ч} = \frac{M}{\tau_{год}} \cdot \hat{E}i$	M – добова продуктивність системи обслуговування, т;	$K_n = 1,2$	Н.А. Левачев
	K_n – коефіцієнт нерівномірності перевезень протягом доби;		
	$\tau_{сут}$ – кількість годин роботи протягом доби;		
	$M_{ч}$ – годинна продуктивність системи обслуговування, т;		
$N_{mp} = \frac{Q_{\alpha} \cdot \hat{E}i}{365 \cdot q_{\alpha\delta}}$	Q_{α} – річний вантажопотік, т;	$K_n = 1,2 - 1,5$	Г.М. Демичев
	K_n – коефіцієнт нерівномірності прибуття або відправлення вантажів;		
	Q_{cp} – середня вантажопідйомність транспортного засобу, т;		
	N_{mp} – кількість транспортних засобів		
$Q_{iсут} = \frac{Q_{i\text{год}}}{\hat{O}i\text{год}} \cdot \hat{E}i$	$Q_{i\text{год}}$ – кількість вантажу в і-м потоці, переміщуваного даними машинами в середньому за добу, т/ч;	Для кондитерської промисловості $K_n = 2-2,5$	С.С. Азриєлович
	K_n – коефіцієнт нерівномірності транспортування вантажів протягом доби;	Для масложирової промисловості (по сировині) $K_n = 4$	
	$T_{сут}$ – час роботи машини протягом доби, год;	По вантажах відправлення $K_n=2-2,5$	
	$Q_{iсут}$ – розрахункова кількість вантажу, переміщуваного за добу в і-м вантажопотоці, т/ч	Для змінної роботи $K_n=1,1-1,3$	
$N_M = \frac{24 \cdot \hat{I}a \cdot \hat{E}i}{\sum_{i=1}^i t_i}$	P_{α} – кількість вагонів в одній подачі;	$K_n=1,0-1,25$	С.С. Азриєлович
	K_n – коефіцієнт нерівномірності подачі вагонів під навантаження розвантаження;		
	t_i – час робочого циклу по виконанню і – й операції, г		
	N_M – кількість вагонів, що перевантажуються протягом доби		

Особливістю завдань теорії масового обслуговування є випадковий характер досліджуваних явищ. Кількість заявок на обслуговування й інтервали часу між їхніми надходженнями, а також тривалість обслуговування – випадкові. Основним завданням систем цього класу є встановлення кількісних характеристик функціонування СМО (кількість заявок, що обслуговують, що перебувають у черзі та часу обслуговування і т.д.) і їхня залежність від параметрів вхідного потоку й структури самої системи обслуговування. У більшості випадків не вдається побудувати просту математичну модель, що дозволяє в аналітичному виді визначити показники ефективності функціонування. Однак в окремих випадках таку математичну модель вдається створити. Наприклад, коли для будь-якого моменту часу t імовірнісні характеристики досліджуваного процесу в майбутньому залежать тільки від його стану в цей момент часу t і не залежать від того, коли і як система опинилася в цьому стані. Інакше кажучи, математичний аналіз роботи СМО полегшується, якщо процес цієї роботи – марковський (теорія ймовірності). Для цього досить, щоб всі потоки подій (потоки заявок, потоки «обслуговування»), що переводять систему зі стану в стан, були найпростішими. На практиці марковські процеси в «чистому» вигляді не зустрічаються, досить часто доводиться мати справу з процесами, для яких вплив передісторії можна зневажити.

У переважній більшості робіт щодо цієї проблеми розглядається пуассонівський вхідний потік, у якому ймовірність надходження в проміжок часу t кількості заявок K задається формулою Пуассона:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^k}{K!} \cdot e^{-\lambda t}, \lambda > 0, \quad (2)$$

де λ – інтенсивність потоку.

Причина цього криється в тім, що для інших видів закону розподілу вхідного потоку ще не отримані аналітичні залежності для кількісної оцінки якості функціонування СМО.

Для визначення пропускної здатності системи необхідно задати механізм обслуговування (час обслуговування), що також є випадковим процесом. Це результат нестабільної роботи обслуговуючого устаткування, наявна можливість виходу його з ладу, неідентичності заявок (вантаж надходить до вантажно-розвантажувального фронту і транспортного засобу різної вантажопідйомності) і інших причин. У більшості випадків думають, що тривалість обслуговування різних заявок є незалежною випадковою величиною, що має однаковий розподіл.

У теоретичних і практичних дослідженнях найбільше поширення одержав показовий закон. У цьому випадку спрощуються результати розрахунків, тоді як розробка методів рішення цих завдань при довільному законі розподілу часу обслуговування особливо систем з декількома каналами обслуговування, які функціонують паралельно, зв'язана зі значними труднощами. При показовому законі функція розподілу має такий вигляд:

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t}, \quad (3)$$

де $\mu = \frac{1}{M[t_{\text{обс}}]}$ – інтенсивність обслуговування;

$M[t_{\text{обс}}]$ – математичне очікування часу обслуговування заявок.

Якщо умови утворення й обслуговування черги не занадто складні (у випадку двофазної одноканальної або однофазної багатоканальної системи), то показники якості функціонування (середня довжина черги $Z_{\text{оч}}$, кількість заявок у складській системі Z , тобто в черзі й безпосередньо на обслуговуванні) можуть бути знайдені аналітичними методами, виходячи з умови пуассоновського розподілу вхідного потоку й показового розподілу часу обслуговування (малюнок).

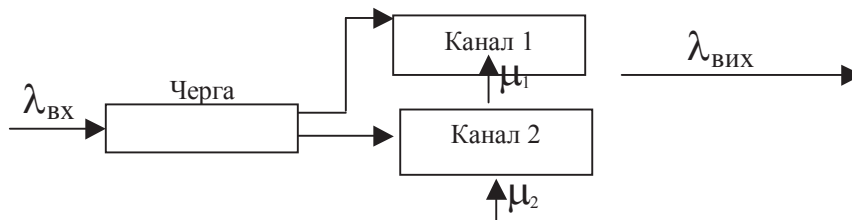


Рис. 1 – Структура однофазної двоканальної системи

Аналітична залежність щодо визначення показників якості функціонування має вигляд:

$$Z_{оч} = \lambda \cdot t_{оч}, \quad (4)$$

$$Z = \lambda \cdot t_{обс}, \quad (5)$$

де $t_{ор}$, $t_{обс}$ – середній час перебування транспорту в черзі й безпосередньо в системі

$\lambda_{вх}$, $\lambda_{вых}$ – інтенсивність вхідного й вихідного вантажопотоків;

μ_1 , μ_2 – інтенсивність обслуговування.

У свою чергу:

$$t_{обс} = t_{оч} + \frac{1}{\mu}, \quad (6)$$

$$T_{оч} = \frac{Z_{ор}}{\lambda}, \quad (7)$$

$$Z_{ор} = \frac{Po(1) \cdot (\lambda / \mu)^k \cdot \rho}{K! (1 - \rho)^2}, \quad (8)$$

де $Po(1)$ – імовірність перебування в складській системі одного транспортного засобу ($=1$) у момент часу $t=0$;

$$\rho = \frac{\lambda}{K\mu} - \text{навантаження складської системи};$$

$DO = 2$ – кількість каналів обслуговування у фазі.

$$Po(1) = \left[\sum_{n=0}^{k+1} \frac{(\lambda / \mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda / \mu)^k}{K!} \cdot \frac{1}{1 - \rho} \right]^{-1}, \quad (9)$$

Загальною рисою розглянутих моделей є незначна кількість можливих станів, характеристики складської системи обчислюють рішенням системи лінійних рівнянь. Складність з'являється при зростанні числа простоїв. У цьому випадку визначають можливість відомості системи рівнянь до систем відомого виду, для яких розроблені більше ефективні алгоритми обчислення. Якщо ж не вдається спростити систему, необхідно вдатися до методу статистичного або імітаційного моделювання.

Висновки

1. Прості аналітичні моделі не дозволяють точно розрахувати параметри обробки вантажів на ТСК через випадковий характером їх надходження та термін обслуговування

2. Метод теорії масового обслуговування дозволяє в значній мірі врахувати ймовірний характер надходження вантажів на склад і термін їх обслуговування. Однак, в випадку ускладнення характеристик потоків вантажів і структури ТСК, слід використовувати метод імітаційного моделювання.

Література

1. Левачев Н.А. Механизация погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ в пищевой промышленности. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984, 270 с.
2. Жуковский Э.И., Федунец А.Д., Чабаров В.А. Об имитационном моделировании транспортно-складских комплексов. – Промышленный транспорт, 1988, №9, с. 31-33.
3. Жуковский Э.И., Чабаров В.А. Комплексная механизация и автоматизация складского хозяйства. – К.: Техника, 1993. - 120 с.