УДК 656.072:519.872

С. В. Цимбал
А. В. Дмитрієва
В. С. Терешков

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КАДРОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено питання оптимізації кількості персоналу транспортно-експедиторського підприємства. Автором застосовано апарат теорії масового обслуговування для моделювання роботи експедиторського відділу як багатоканальної системи M/M/n з необмеженою чергою. Проведено розрахунки основних характеристик системи: імовірності станів, середньої довжини черги та часу очікування. На основі економічного аналізу витрат та доходів визначено оптимальну чисельність працівників, що забезпечує максимальний прибуток. Результати підтверджують ефективність математичного моделювання при прийнятті управлінських рішень у логістиці.

Ключові слова: транспортно-експедиторське підприємство, кадрове забезпечення, теорія масового обслуговування, оптимізація прибутку, інтенсивність потоку заявок, ергодичність системи, управління персоналом.

Abstract

The paper investigates the optimization of staffing levels for a freight forwarding company. The author utilizes queuing theory to model the operations of a forwarding department as a multi-channel M/M/n system with an infinite queue. The study calculates key system performance indicators, including state probabilities, average queue length, and waiting time. Based on an economic analysis of costs and revenues, the optimal number of employees is determined to maximize profit. The results confirm the effectiveness of mathematical modeling for management decision-making in logistics.

Keywords: freight forwarding company, human resources management, queuing theory, profit optimization, arrival rate, system ergodicity, personnel management.

Вступ

Сучасний ринок транспортно-експедиторських послуг характеризується високим рівнем конкуренції та динамічністю вхідних потоків замовлень. У таких умовах ефективність діяльності підприємства безпосередньо залежить від раціонального управління кадровим ресурсом. Однією з ключових проблем для логістичних компаній є пошук балансу між кількістю персоналу та якістю обслуговування клієнтів. Недостатня чисельність експедиторів призводить до утворення тривалих черг, втрати замовлень та зниження лояльності контрагентів. Водночас надмірний штат зумовлює неефективне використання робочого часу, зростання витрат на оплату праці та соціальні відрахування, що в кінцевому підсумку знижує рентабельність бізнесу.

Наукове обґрунтування оптимальної кількості персоналу потребує застосування сучасних економіко-математичних методів. Найбільш адекватним інструментом для опису процесів, що відбуваються в експедиторських відділах, є апарат теорії масового обслуговування (ТМО). Розгляд підприємства як багатоканальної системи обслуговування дозволяє не лише оцінити імовірнісні характеристики роботи (час очікування, довжину черги), а й формалізувати залежність між кількістю каналів обслуговування та сумарним економічним результатом.

Актуальність даного дослідження зумовлена необхідністю розробки методичного підходу до оптимізації кадрового складу експедиторського підрозділу, який би базувався на математичних розрахунках і дозволяв максимізувати прибуток підприємства в умовах стаціонарного режиму роботи. Це дозволить менеджменту приймати виважені управлінські рішення, мінімізуючи ризики простоїв та забезпечуючи високу швидкість обробки заявок.

Результати дослідження

Підприємство, де працює n експедиторів, надає клієнтам транспортно-експедиторські послуги. Замовлення від клієнтів надходять протягом восьми годинного робочого дня з інтенсивністю λ заявок на день.

Вважаємо, що потік заявок є найпростішим, а тривалість обробки однієї заявки експедитором має експоненціальний розподіл із середнім значенням t_s годин. Усі заявки формують спільну чергу на обслуговування, незалежно від їх типу. Передбачається, що система працює у стаціонарному режимі.

Потрібно знайти таку кількість експедиторів, за якої прибуток підприємства від діяльності експедиторського відділу буде найбільшим. Вартість транспортно-експедиторського обслуговування дорівнює C_R у.о. Заробітна плата експедитора S визначається з урахуванням частки p від вартості обробки заявки. Оскільки час виконання заявки має експоненційний розподіл із середнім значенням t_s годин, то швидкість обслуговування є оберненою величиною до середнього часу й становить $\mu = 1/t_s$.

1. Визначаємо інтенсивність обслуговування:

$$\mu = 1/t_s, \tag{1}$$

Теоретично черга заявок на обслуговування вважається необмеженою.

Роботу експедиторів розглядаємо як систему масового обслуговування з необмеженою чергою. Схематичне зображення такої системи наведено на рис. 1.

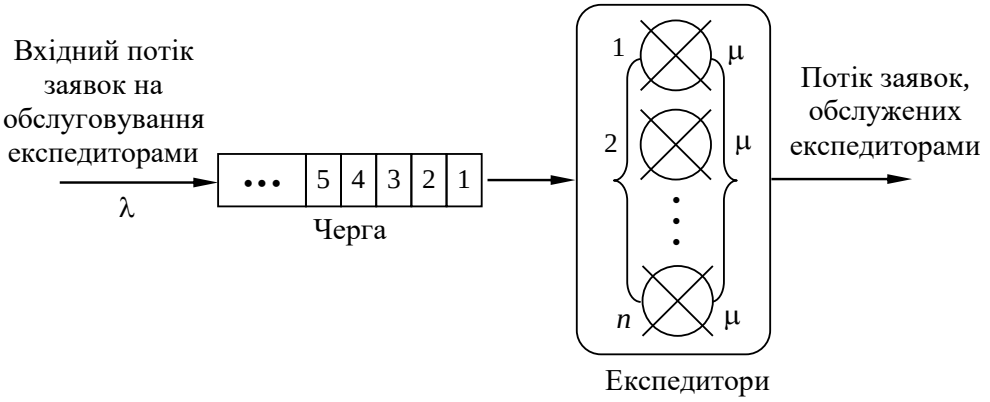

Рис. 1 Система масового обслуговування *M /M /n*

Розглянемо випадковий процес *n(t)* – число заявок в СМО в момент часу *t*. Граф переходів процесу *n(t)*, який характеризує число заявок на обслуговування експедиторами в системі, наведено на рис. 2.

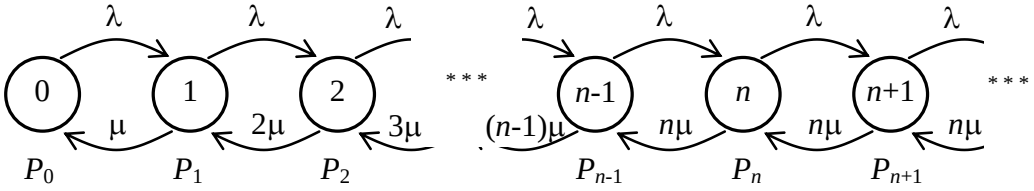

Рис. 2. Граф переходів, що характеризує число заявок

Для того щоб встановити оптимальну кількість експедиторів, необхідну для обробки заявок, що надходять на підприємство, потрібно визначити параметри системи масового обслуговування (СМО) за умови її ергодичності:

$$\psi = \lambda / n; \ \ \mu < 1, \tag{2}$$

тобто коли інтенсивність надходження заявок є меншою за сумарну інтенсивність їх опрацювання *n* експедиторами. Якщо ця умова не виконується, черга постійно зростатиме. Далі визначимо основні характеристики стаціонарного режиму функціонування СМО, яка моделює роботу експедиторів із обслуговування заявок, використовуючи відповідні формули.

2. Імовірнісний розподіл числа заявок, що перебувають у системі під час обслуговування, розраховуємо за формулами (2 - 3), де

$$\rho = \lambda / \mu, \tag{3}$$

$$P_0 = \left(\sum_{i=0}^{n} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)} \right)^{-1}, \tag{4}$$

$$P_j = \begin{cases} \frac{\rho^j}{j!} P_0, \ 0 \le j \le n; \\ \frac{\rho^j}{n! n^{j-n}} P_0, \ j > n. \end{cases} \tag{5}$$

3. Математичне очікування числа зайнятих експедиторів дорівнює:

$$M[\nu] = \sum_{j=1}^{n-1} j P_j + n \frac{n P_n}{n - \rho}. \tag{6}$$

4. Математичне очікуване число заявок, які знаходяться в черзі перед експедитором, обчислюємо за формулою:

$$M[\eta] = \frac{n P_n \rho}{(n-\rho)^2}. \tag{7}$$

5. Математичне очікування числа вимог в системі:

$$M[\zeta] = M[\nu + \eta] = M[\nu] + M[\eta] = \sum_{j=1}^{n-1} j P_j + \frac{n^2 P_n}{n-\rho} + \frac{n P_n \rho}{(n-\rho)^2}. \tag{8}$$

6. Математичне очікування часу перебування заявок у системі (тобто часу очікування та обслуговування) позначається через *V*, а середній час очікування в черзі – через *W*. Ці величини обчислюються відповідно до формул Літтла (4.6).

$$M[V] = M[\zeta] / \lambda; \ M[W] = M[\eta] / \lambda. \tag{4.9}$$

7. Витрати підприємства на експедиторське обслуговування за місяць визначаються за формулою:

$$C = k(S \cdot n + p \cdot C_R \cdot \mu \cdot \nu \cdot N_p). \tag{4.10}$$

де *S* – заробітна плата експедитора, у.о./місяць.;

C_R – вартість експедиторських послуг, у.о.;

N_p – кількість робочих днів на місяць;

k = 1,22 – коефіцієнт, який враховує, розмір єдиного соціального внеску, який складає 22 %;

p = 0,1 – коефіцієнт, який враховує, розмір премії від обслуговування заявки, який складає 10 %.

8. Дохід від роботи експедиторського відділу за місяць дорівнює:

$$I = C_R \cdot \mu \cdot \nu \cdot N_p. \tag{11}$$

9. Обчислимо прибуток підприємства від надання експедиторських послуг за місяць за формулою:

$$P = I - C. \tag{12}$$

Для оцінювання ефективності кадрового забезпечення підприємства використаємо такі вихідні дані: місячна заробітна плата експедитора *S* = 300 у.о.; вартість експедиторських послуг *CR* = 80 у.о.; середня інтенсивність надходження заявок на обслуговування – λ = 12 заявок на день; кількість робочих днів у місяці N_p = 22; середній час обслуговування однієї заявки t_s = *2* години; тривалість робочого дня – 8 годин. Також враховуємо премію за обслуговування заявки у розмірі 10 % (p = 0,1) та коефіцієнт нарахування єдиного соціального внеску, який складає 22%, (k = 1,22).

Метою дослідження є визначення оптимальної чисельності експедиторів, за якої прибуток підприємства від діяльності експедиторського відділу буде максимальним. Розрахунки виконуються для поточних умов роботи підприємства, а також розглядаються можливі варіанти зменшення та збільшення кількості працівників. Результати розрахунків подано у таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняння основних показників функціонування експедиторського відділу підприємства

Характеристики	Кількість експедиторів			
	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$
Умова ергодичності, ψ	$\psi > 1$	0,75	0,6	0,5
Кількість зайнятих експедиторів, ν	–	3	3	3
Середня довжина черги заявок, η	–	1,5	0,35	0,1
Час очікування заявок в черзі (год), W	–	0,13	0,03	0
Витрати на експедиторське обслуговування (у.о.), C	–	4041	4407	4773
Дохід від експедиторського обслуговування (у.о.), I	–	21120	21120	21120
Прибуток від експедиторського обслуговування (у.о.), P	–	17080	16710	16350

На основі проведених розрахунків можна зробити висновок, що для обслуговування даного потоку заявок оптимальною є кількість у 4 експедитори. За такого штатного складу прибуток експедиторського відділу буде максимальним і становитиме 17080 у.о. Подальше збільшення кількості експедиторів є економічно недоцільним.

Висновки

У ході дослідження було розроблено математичну модель функціонування експедиторського відділу, що базується на аналізі вхідного потоку замовлень з інтенсивністю 12 заявок на день та середнім часом їх обробки 2 години. За допомогою формул Літтла та імовірнісного розподілу СМО визначено, що стабільна робота системи (умова ергодичності) можлива лише за наявності 4 та більше експедиторів.

Аналіз порівняльних характеристик показав, що при n=4 працівниках досягається баланс між часом очікування клієнтів (0,13 год) та витратами на утримання персоналу. Встановлено, що максимальний місячний прибуток підприємства за таких умов становить 17 080 у.о.. Будь-яке подальше збільшення штату до 5 чи 6 осіб призводить до зниження прибутку (до 16 710 та 16 350 у.о. відповідно) через зростання витрат на заробітну плату та соціальні внески при тому ж обсязі вхідних заявок. Таким чином, доведено, що метод СМО є надійним інструментом для наукового обґрунтування штатного розпису логістичних компаній, дозволяючи уникнути як надмірних черг, так і простоїв персоналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Литвиненко С.Л. та ін. Транспортно-експедиторська діяльність: Навчальний посібник 2-е видання. – К.: Кондор, 2016. – 184 с.

2. Нагорний Є.В. Транспортно-експедиторська діяльність / Є.В. Нагорний, Д.В. Ломотько, Н.Ю. Шраменко та ін. : підручник. – Х. : ХНАДУ, 2012. – 352 с.

3. Запара В. М. Транспортно-експедиторська діяльність: Навч. посібник / В. М. Запара, С. М. Продащук, А. Л. Кравець та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – 214 с.

4. Чекотовський Е. В. Статистичні методи: навч. посіб. / Е.В. Чекотовський. – К. : Знання, 2018. – 408 с.

Цимбал Сергій Володимирович — канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри автомобілів і транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: tsymbal_s_v@ukr.net

Дмитрієва Алла Володимирівна — інженер кафедри автомобілів і транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: atm.kafedra@gmail.com

Терешков Владислав Сергійович — студент групи 1ТТ-24м, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: katm2024@ukr.net

Tsymbal Serhii V. — Ph.D., Associate Professor, Head of Department of Cars and Transport Management Department, Vinnitsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tsymbal_s_v@ukr.net

Dmytriieva Alla V. — engineer of Cars and Transport Management Department, Vinnitsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: atm.kafedra@gmail.com

Tereshkov Vladyslav S. — student of 1TT-24m group of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : katm2024@ukr.net