

Б.П. КНИШ, Я.А. КУЛИК, А.І. ЛІСОВЕНКО
Вінницький національний технічний університет

МЕТОД РОЗПОДІЛУ ЧАСУ НА ДОСТАВКУ ТОВАРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЗГІДНО З ПРІОРИТЕТОМ

В роботі запропоновано метод, який дозволяє зменшити час доставки товарів за допомогою безпілотних літальних апаратів за рахунок зменшення середнього часу очікування в черзі при доставці однієї одиниці товару залежно від параметрів систем доставки товарів. Проведено експериментальні дослідження, які підтвердили ефективність запропонованого методу для систем доставки товарів.

Ключові слова: авіація, безпілотні літальні апарати, метод, пріоритет, доставка товарів.

B.P. KNYSH, J.A. KULIK, A.I. LISOVENKO
Vinnytsia National Technical University

THE METHOD OF THE TIME DISTRIBUTION FOR THE GOODS SHIPMENT BY THE MEANS OF UNPILOTED AERIAL VEHICLES BASED ON A PRIORITY

The object of this work is the development of a method, which let decrease a time of the goods shipment carried out by the unpiloted aerial vehicles. In the article are viewed the determination of the parameters of a goods shipment system by the means of unpiloted aerial vehicles, which influence the mean time of waiting in a queue; carried out a math model, which render the connection between shipment system's parameters and the mean time of waiting in a queue; on the base of the proposed math model is developed the method, which lets decrease the period of a goods shipment by the means of unpiloted aerial vehicles; the experimental researches are applied to confirm the adequacy of results of the proposed math model. The experimental researches prove the efficiency of the proposed method in case of the one-channel systems and the multi-channel systems of goods shipment which have an option of rejection and a waiting option. Also researches' results show that the described systems of goods shipment, which use the concept of priority during the servicing of goods shipment, have less tendency to be overloaded, can carry out more orders per a time period and income orders get less quantity of rejections or have a smaller period of caring out inside this systems.

Keywords: aviation, unmanned aerial vehicles, method, priority, delivery of goods.

Вступ

Логістика як господарський процес і як функція управління передбачає єдину систему переміщення матеріальних, інформаційних і фінансових товарів та послуг. Її невід'ємною складовою є транспорт, який органічно вписується у виробничі й торгові процеси, адже дозволяє здійснювати перевезення людей та доставку товарів [1].

Основні проблеми, які виникають при організації доставки товарів, полягають у недосконалісті інфраструктури, незадовільному стані транспортного обслуговування та зношеності рухомого складу, низькій якості транспортних шляхів, їх перевантаженості, віддаленості точок прийому та видачі товарів, поганій організації процесу доставки, непрогнозованих витратах тощо [2, 3]. Вищенаведені проблеми можна вирішити шляхом використання в якості транспорту для доставки товарів безпілотні літальні апарати (БПЛА) та за рахунок розв'язання задач ефективного управління їх рухом [4]. Для цього існують математичні моделі систем доставки товарів (СДТ) за допомогою БПЛА [5], але вони недостатньо ефективні, оскільки вони не забезпечують максимально можливої швидкості доставки товарів. Тому виникає потреба в пошуку більш досконалого вирішення проблеми управління рухом БПЛА. Її можна вирішити шляхом підвищення ефективності існуючих моделей СДТ за рахунок зменшення середнього часу очікування в черзі при доставці однієї одиниці товару. Таким чином, метою роботи є розробка методу, який дозволяє зменшити час доставки товарів за допомогою БПЛА.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні основні задачі:

1. Визначити параметри СДТ, які впливають на середній час очікування в черзі.
2. Розробити математичну модель, яка відображає зв'язок між параметрами СДТ та середнім часом очікування в черзі.
3. Розробити на основі отриманої математичної моделі метод, який дозволяє зменшити час доставки товарів за допомогою БПЛА.
4. Виконати експериментальні дослідження і підтвердити адекватність результатів математичного моделювання.

Параметри систем доставки товарів

СДТ поділяються на одноканальні та багатоканальні, тобто доставка товарів виконується, в даному випадку, одним чи багатьма БПЛА, відповідно [6]. Середній час очікування заявки на доставку товару в черзі залежить від параметрів цих систем, до яких відносять: λ – інтенсивність надходження замовлень в СДТ, тобто середня кількість замовлень в системі за одиницю часу; N – кількість замовлень в СДТ; C – кількість місць у черзі; n – кількість вільних БПЛА; μ – зведена інтенсивність обслуговування; ρ – зведена інтенсивність завантаження каналу (середня кількість замовлень, що надходять за час обслуговування одного замовлення).

Математична модель зв'язку між параметрами системи доставки товарів та середнім часом очікування в черзі

Вирішення завдання мінімізації середнього часу очікування в черзі при доставці товарів з допомогою БПЛА можна здійснити шляхом застосування відомої математичної моделі СДТ, яка визначає стани функціонування системи. Роботу СДТ можна описати за допомогою системи рівнянь [7]:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} P_0 = -n\lambda P_0 + \mu P_1, \\ \frac{d}{dt} P_1 = -(n-1)\lambda P_1 + \mu P_2 + n\lambda P_0 - \mu P_1, \\ \frac{d}{dt} P_2 = -(n-2)\lambda P_2 + \mu P_3 + (n-1)\lambda P_1 - \mu P_2, \\ \dots, \\ \frac{d}{dt} P_n = -\lambda P_{n-1} - \mu P_n, \\ \sum_{j=0}^n P_j = 1. \end{cases} \quad (1)$$

де $P_0, P_1, P_2, \dots, P_{n-1}, P_n$ – імовірності знаходження системи в станах $S_0, S_1, S_2, \dots, S_{n-1}, S_n$, відповідно. Вирішенням даної системи є імовірність знаходження системи в j -му стані P_j . СДТ функціонує при незмінних в часі параметрах, тому всі похідні дорівнюють нулю [8], $j = 0, \dots, n$. Таким чином, розв'язок системи рівнянь (1) буде мати вигляд

$$\begin{cases} P_1 = \frac{n\lambda P_0}{\mu}, \\ P_2 = \frac{(n-1)\lambda P_1}{\mu} = \frac{(n-1)\lambda^2 P_0}{\mu^2}, \\ \dots, \\ P_j = \frac{(n+j-1) \cdot \dots \cdot (n-2)(n-1)n\lambda^j P_1}{\mu^j} = \frac{n!\lambda^j P_0}{(n-j)!\mu^j}, \\ \sum_{j=0}^n P_j = 1 = P_0 \sum_{j=0}^n \frac{n!\lambda^j}{(n-j)!\mu^j}. \end{cases} \quad (2)$$

де $P_0, P_1, P_2, \dots, P_{j+1}, P_j$ – імовірності знаходження системи в станах $S_0, S_1, S_2, \dots, S_{j+1}, S_j$, відповідно

З системи (2) визначимо імовірність простою БПЛА, яка складає

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^n \frac{n!\lambda^j}{(n-j)!\mu^j}}. \quad (3)$$

В класичній системі масового обслуговування кількість замовлень, які знаходяться на обслуговування, рівна кількості вільних транспортних каналів. У випадку застосування БПЛА кількість вільних транспортних каналів теоретично є необмеженим, а на практиці ця кількість обмежується кількістю БПЛА. Тому імовірність зайнятості БПЛА та, відповідно, каналу буде

$$P_z = 1 - P_0. \quad (4)$$

Метод розподілу часу на доставку товарів за допомогою безпілотних літальних апаратів згідно пріоритету

В роботі запропоновано метод, який дозволяє зменшити час доставки товарів за допомогою БПЛА

за рахунок зменшення середнього часу очікування в черзі при доставці однієї одиниці товару в залежності від параметрів СДТ. Розглянемо СДТ за допомогою БПЛА, яка працює з використанням квантування часу обслуговування відповідно до пріоритету. Такі системи мають найбільшу ефективність, оскільки розподіл квантування часу відповідно до пріоритету буде завжди кращим, ніж послідовне обслуговування [9]. Якщо СДТ під час роботи буде використовувати квантування часу обслуговування відповідно до пріоритету, то зміниться середній час очікування в черзі та імовірність знаходження станів системи. Оскільки квантування вирішує задачу оптимізації, то середній час очікування зменшиться. При функціонуванні СДТ з використанням квантування часу обслуговування відповідно до пріоритету виділяється квант часу на обслуговування доставки за допомогою БПЛА пропорційно числу пріоритету. Причому число пріоритету буде тим більше, чим менше потрібно часу на обслуговування заявки, тобто чим менша відстань до замовника товару.

Зведена інтенсивності обслуговування пропорційна середньому часу очікування в черзі $\mu = \frac{1}{t}$.

Використовуючи вищевказану математичну модель опишемо роботу СДТ, яка працює з використанням квантування часу обслуговування відповідно до пріоритету [9], у вигляді системи рівнянь

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} P_0 = -n\lambda P_0 + \mu^2 P_1, \\ \frac{d}{dt} P_1 = -(n-1)\lambda P_1 + \mu^2 P_2 + n\lambda P_0 - \mu^2 P_1, \\ \frac{d}{dt} P_2 = -(n-2)\lambda P_2 + \mu^2 P_3 + (n-1)\lambda P_1 - \mu^2 P_2, \\ \dots, \\ \frac{d}{dt} P_n = -\lambda P_{n-1} - \mu^2 P_n, \\ \sum_{j=0}^n P_j = 1. \end{cases} \quad (5)$$

У статичному вигляді всі похідні дорівнюють нулю, $j = 0, \dots, n$, тому розв'язок рівнянь системи (5) має вигляд:

$$\begin{cases} P_1 = \frac{n\lambda P_0}{\mu^2}, \\ P_2 = \frac{(n-1)\lambda P_1}{\mu^2} = \frac{(n-1)\lambda^2 P_0}{\mu^4}, \\ \dots, \\ P_j = \frac{(n+j-1) \cdot \dots \cdot (n-2)(n-1)n\lambda^j P_1}{\mu^{2j}} = \frac{n!\lambda^j P_0}{(n-j)!\mu^{2j}}, \\ \sum_{j=0}^n P_j = 1 = P_0 \sum_{j=0}^n \frac{n!\lambda^j}{(n-j)!\mu^{2j}}. \end{cases} \quad (6)$$

Імовірність простою БПЛА складає

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^n \frac{n!\lambda^j}{(n-j)!\mu^{2j}}}. \quad (7)$$

Враховуючи, що $\mu = \frac{1}{t}$, то вираз (9) змінюється до вигляду:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^n \frac{n! \lambda^j t^{2j}}{(n-j)!}}. \quad (8)$$

Таким чином, імовірність, зайнятості БПЛА (каналу) буде

$$P_z = 1 - P_0. \quad (9)$$

Таким чином, можна стверджувати, що розв'язок системи рівнянь (6) з урахуванням $\mu = \frac{1}{t}$ дозволяє перейти від мінімізації імовірності простою БПЛА до мінімізації середнього часу очікування в черзі, що ілюструє формула (8). Це дозволяє зменшити час доставки товарів за допомогою БПЛА, що є основою запропонованого методу.

Експериментальні дослідження на основі запропонованого методу

Нехай є СДТ за допомогою БПЛА, у якій на вхід поступають $\lambda = 6$ заявок на обслуговування товарів, а середня інтенсивність обслуговування (завантаження системи) складає $\rho = 0,65$. Система має $N = 3$ канали, які можуть бути вільні або зайняті. У системі одночасно в середньому знаходиться $\mu = 9,23$ замовлень, які чекають обслуговування. За даної інтенсивності система в середньому обслуговує заявки швидше, ніж вони надходять, тому система є стабільною та не перевантаженою. Розглянемо випадок, одноканальних СДТ, яка використовує один БПЛА та два способи порядку обслуговування замовлень на доставку: з відмовами, коли замовлення на доставку при наявності кількості заявок на входи системи більше, ніж місць у черзі або кількості каналів N , отримують відмову (з можливістю повторної подачі заявки); з очікуванням у черзі (при цьому один БПЛА обслуговує по черзі N каналів). У випадку одноканальних СДТ з відмовами можливі два стани системи: S_0 – канал вільний і БПЛА готовий обслуговувати замовлення на доставку; S_1 – канал зайнятий і БПЛА виконує обслуговувати замовлення на доставку та не готовий до обслуговування нової заявки.

Імовірності системи:

- P_0 – імовірність стану S_0

$$P_0 = \frac{\mu}{\lambda + \mu}; \quad (10)$$

- P_1 – імовірність стану S_1 [10]

$$P_1 = 1 - P_0. \quad (11)$$

Використаємо запропонований метод розподілу часу на доставку товарів за допомогою БПЛА згідно пріоритету. Тоді імовірності P_0 (10) та P_1 (11) цієї системи набудуть вигляду P_{0m} та P_{1m} , відповідно

$$P_{0m} = \frac{\mu^2}{\lambda^2 + \mu^2}; \quad (12)$$

$$P_{1m} = 1 - P_{0m}. \quad (13)$$

Порівняння двох способів обслуговування черги замовлень (з пріоритетами та без) графічно показано на рис. 1.

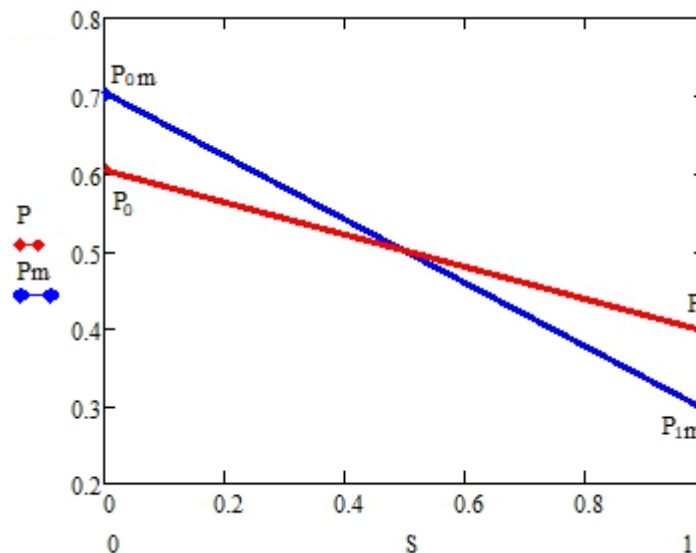


Рис. 1. Розподіл імовірностей для одноканалних СДТ з відмовами з пріоритетністю доставки P_m та без P

З рисунку видно, що використання запропонованого методу в одноканалних СДТ з відмовами дозволяє збільшити імовірність стану вільного каналу P_{0m} та зменшити імовірність стану зайнятого каналу P_{1m} . Це свідчить про те, що в цілому СДТ з пріоритетністю доставки в середньому за одиницю часу є менш завантаженою та дозволяє обслуговувати більше замовлень, а вхідні замовлення отримують менше число відмов. Сума імовірностей P_0 і P_1 та P_{0m} і P_{1m} в обох випадках рівна 1, що показує правильність отриманих розрахунків. У випадку одноканалних СДТ з очікуванням можливі стани мають таку інтерпретацію: S_0 – канал вільний; S_1 – канал зайнятий (черги немає); S_2 – канал зайнятий (одне замовлення знаходиться в черзі); S_i – канал зайнятий ($i-1$ замовлення знаходиться в черзі); S_N – канал зайнятий ($N-1$ замовлення знаходиться в черзі).

Тоді імовірності системи:

- P_0 – імовірність стану S_0

$$P_0 = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+1}}; \tag{14}$$

- P_i – імовірність стану S_i

$$P_i = P_0 \rho^i. \tag{15}$$

Використаємо запропонований метод розподілу часу на доставку товарів за допомогою БПЛА згідно пріоритету. Тоді імовірності P_0 (14) та P_i (15) цієї системи набудуть вигляду P_{0m} та P_{im} , відповідно

$$P_{0m} = \frac{1 - \rho_m}{1 - \rho_m^{N+1}}; \tag{16}$$

$$P_{im} = P_{0m} \rho_m^i. \tag{17}$$

де $\rho_m = \rho^2$ – зведена інтенсивність завантаження каналу для запропонованого методу. Порівняння двох способів обслуговування черги замовлень (з пріоритетами та без) графічно показано на рис. 2.

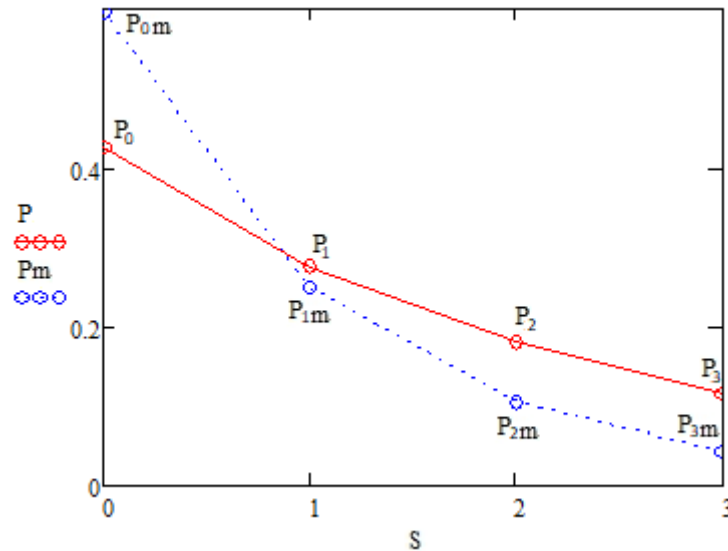


Рис. 2. Розподіл імовірностей для одноканальних СДТ з очікуванням з пріоритетністю доставки P_m та без P

З рисунку видно, що використання запропонованого методу в одноканальних СДТ з очікуванням дозволяє збільшити імовірність стану вільного каналу P_{0m} та зменшити імовірність стану зайнятого каналу зі збільшенням черги замовлень. Це свідчить про те, що в цілому СДТ з пріоритетністю доставки в середньому за одиницю часу є менш завантаженою та дозволяє обслуговувати більше замовлень, а вхідні замовлення менше часу перебувають у черзі. Сума імовірностей з P_0 по P_3 та з P_{0m} по P_{3m} в обох випадках рівна 1, що показує правильність отриманих розрахунків. Розглянемо випадок, багатоканальної СДТ, яка використовує певну кількість БПЛА та два способи порядку обслуговування замовлень на доставку: з відмовами, якщо надходить велика кількість замовлень на доставку товарів з джерела вимог i (велика інтенсивність λ) і тип товарів дає можливість відмовитись від виконання окремих замовлень на доставку; з очікуванням у черзі, якщо при великій кількості замовлень на доставку товарів з джерела вимог i (інтенсивність λ) тип товарів не дає можливість відмовитись від виконання замовлень на доставку. У випадку багатоканальної СДТ з відмовами, яка містить N каналів для обслуговування, потік замовлень на обслуговування інтенсивністю λ , інтенсивність обслуговування μ , можливі стани мають таку інтерпретацію: S_0 – всі канали вільні; S_1 – один канал зайнятий, інші $N-1$ канали вільні; S_2 – два канали зайняті, інші $N-2$ канали вільні; S_i – i каналів зайняті, інші $N-i$ канали вільні; S_N – всі канали зайняті, замовлення отримує відмову в обслуговуванні.

Імовірності системи:

- P_0 – імовірність стану S_0

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^N \frac{\rho^i}{i!}}; \tag{18}$$

- P_i – імовірність стану S_i

$$P_i = \frac{\rho^i}{i!} P_0. \tag{19}$$

Використаємо запропонований метод розподілу часу на доставку товарів за допомогою БПЛА згідно пріоритету. Тоді імовірності P_0 (18) та P_i (19) цієї системи набудуть вигляду P_{0m} та P_{im} , відповідно

$$P_{0m} = \frac{1}{\sum_{i=0}^N \frac{\rho_m^{2i}}{i!}}; \tag{20}$$

$$P_{im} = \frac{\rho_m^{2i}}{i!} P_{0m}. \tag{21}$$

Порівняння двох способів обслуговування черги замовлень (з пріоритетами та без) графічно показано на рис. 3.

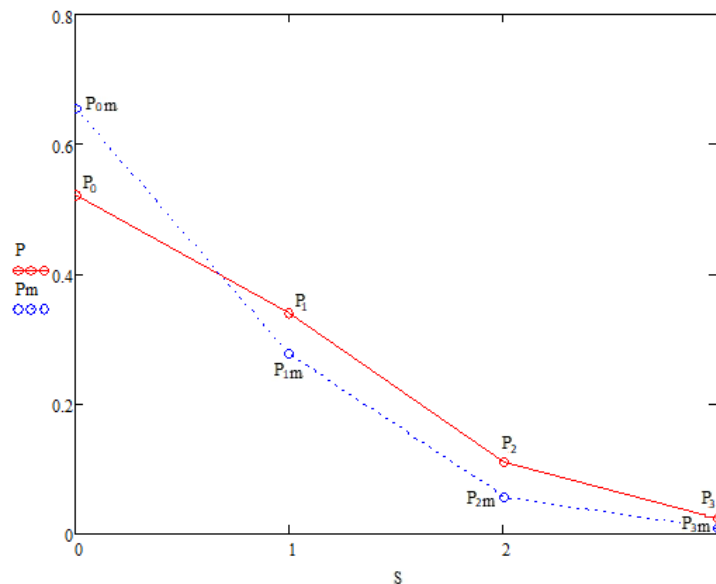


Рис. 3. Розподіл імовірностей для багатоканальних СДТ з відмовами з пріоритетністю доставки P_m та без P

З рисунку видно, що використання запропонованого методу в багатоканальних СДТ з відмовами дозволяє збільшити імовірність стану вільного каналу P_{0m} та зменшити імовірність стану зайнятого каналу із збільшенням черги замовлень. Це свідчить про те, що в цілому СДТ з пріоритетністю доставки в середньому за одиницю часу є менш завантаженою та дозволяє обслуговувати більше замовлень, а вхідні замовлення менше часу перебувають у черзі. Сума імовірностей з P_0 по P_3 та з P_{0m} по P_{3m} в обох випадках рівна 1, що показує правильність отриманих розрахунків. У випадку багатоканальної СДТ з очікуванням, коли є обмеження на довжину черги, розрахунки будуть виконуватись для $C = 2$. Тоді можливі стани мають таку інтерпретацію: S_0 – всі канали вільні; S_1 – один канал зайнятий, інші $C - 1$ канали вільні; S_2 – два канали зайняті, інші $C - 2$ канали вільні; S_C – C каналів зайняті (всі, що є у розпорядженні), черги немає; S_{C+1} – C каналів зайняті, одне замовлення знаходиться в черзі; S_N – всі C каналів зайняті, $N - C$ замовлень знаходиться в черзі.

Імовірності системи:

- P_0 – імовірність стану S_0

$$P_0 = \begin{cases} \left(\sum_{i=0}^{C-1} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^C \left(1 - \left(\frac{\rho}{C} \right)^{N-C+1} \right)}{C! \left(1 - \frac{\rho}{C} \right)} \right)^{-1}, & \frac{\rho}{C} \neq 1, \\ \left(\sum_{i=0}^{C-1} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^C}{C!} (N - C + 1) \right)^{-1}, & \frac{\rho}{C} = 1; \end{cases} \tag{22}$$

- P_i – імовірність стану S_i

$$P_i = \begin{cases} \frac{\rho^i}{i!} P_0, 0 \leq i \leq C, \\ \frac{\rho^i}{C!C^{i-C}} P_0, C \leq i \leq N. \end{cases} \quad (23)$$

Використаємо запропонований метод розподілу часу на доставку товарів за допомогою БПЛА згідно з пріоритетом. Тоді імовірності P_0 (22) та P_i (23) цієї системи набудуть вигляду P_{0m} та P_{im} , відповідно

$$P_{0m} = \begin{cases} \left(\sum_{i=0}^{C-1} \frac{\rho_m^{2i}}{i!} + \frac{\rho_m^{2C} \left(1 - \left(\frac{\rho_m^2}{C} \right)^{N-C+1} \right)}{C! \left(1 - \frac{\rho_m^2}{C} \right)} \right)^{-1}, \frac{\rho_m^2}{C} \neq 1, \\ \left(\sum_{i=0}^{C-1} \frac{\rho_m^{2i}}{i!} + \frac{\rho_m^{2C}}{C!} (N-C+1) \right)^{-1}, \frac{\rho_m^2}{C} = 1; \end{cases} \quad (24)$$

$$P_{im} = \begin{cases} \frac{\rho_m^{2i}}{i!} P_{0m}, 0 \leq i \leq C, \\ \frac{\rho_m^{2i}}{C!C^{i-C}} P_{0m}, C \leq i \leq N. \end{cases} \quad (25)$$

Порівняння двох способів обслуговування черги замовлень (з пріоритетами та без) графічно показано на рис. 4.

З рисунку видно, що використання запропонованого методу в багатоканальних СДТ з очікуванням дозволяє збільшити імовірність стану вільного каналу P_{0m} та зменшити імовірність стану зайнятого каналу зі збільшенням черги замовлень. Це свідчить про те, що в цілому СДТ з пріоритетністю доставки в середньому за одиницю часу є менш завантаженою та дозволяє обслуговувати більше замовлень, а вхідні замовлення менше часу перебувають у черзі. Сума імовірностей з P_0 по P_3 та з P_{0m} по P_{3m} в обох випадках рівна 1, що показує правильність отриманих розрахунків.

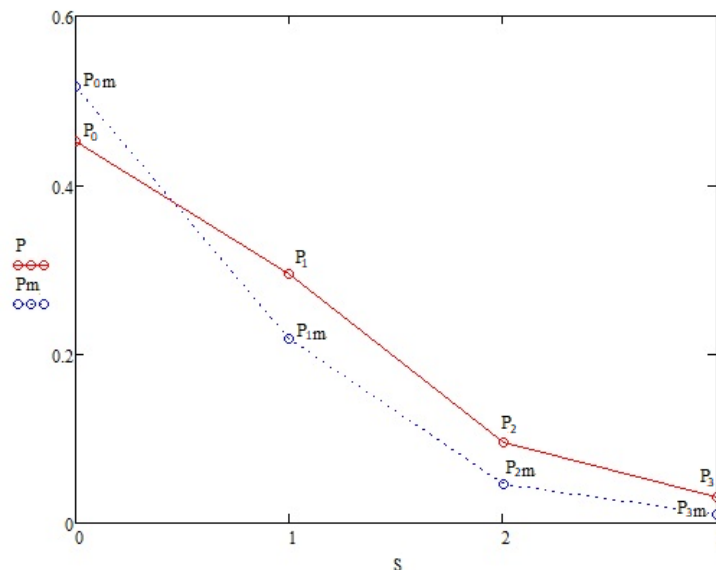


Рис. 4. Розподіл імовірностей для багатоканальних СДТ з відмовами з пріоритетністю доставки P_m та без P

Висновки

В роботі запропоновано метод, який дозволяє зменшити час доставки товарів за допомогою БПЛА за рахунок зменшення середнього часу очікування в черзі при доставці однієї одиниці товару залежно від параметрів СДТ. Експериментальні дослідження підтвердили ефективність запропонованого методу для одноканальних та багатоканальних СДТ з відмовами та з очікуванням і показали, що в цілому розглянуті СДТ з використанням пріоритетності доставки в середньому за одиницю часу є менш завантаженими та встигають обслуговувати більше замовлень, а вхідні замовлення отримують менше число відмов або менше часу перебувають у черзі. У реальних системах зменшення часу очікування призводить до збільшення прибутку, а для окремих категорій товарів є важливим показником, якщо час доставки впливає на якість цих товарів.

Література

1. Перебийніс В.І. Транспортно-логістичні системи підприємств: формування та функціонування : монографія / В. І. Перебийніс, О. В. Перебийніс. – Полтава : РВВ ПУСКУ, 2005. – 207 с.
2. Yang Xin-She. Computational optimization, modelling and simulation: Past, present and future / Xin-She Yang, Slawomir Koziel, Leifur Leifsson // International Conference on Computational Science. Procedia Computer Science, 2014. – No 29(0). – P. 754–758.
3. Zhu Xueping. Model of Collaborative UAV Swarm Toward Coordination and Control Mechanisms Study / Xueping Zhu, Zhengchun Liu, Jun Yang // International Conference On Computational Science. Procedia Computer Science. – 2015. – Volume 51. – P. 493–502.
4. Книш Б.П. Класифікація безпілотних літальних апаратів та їх використання для доставки товарів / Б.П. Книш, Я.А. Кулик, М.В. Барабан // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. – № 3. – С. 246–252.
5. В'юненко О.Б. Дослідження операцій. Системи масового обслуговування / О.Б. В'юненко, Л.П. Воронець. – Суми : СНАУ, 2008. – 370 с.
6. Dogan A. Probabilistic approach in path planning for UAVs / A. Dogan // Intelligent Control. 2003 IEEE International Symposium. – 2003. – P. 608-613. – ISSN 2158-9860.
7. Bortoff S.A. Path planning for UAVs / S. A. Bortoff // American Control Conference, IEEE, Chicago, IL, USA. – 28-30 June, 2000. – ISBN: 0-7803-5519-9, ISSN: 0743-1619. – DOI: 10.1109/ACC.2000.878915.
8. Андросенко О.С. Постановка и решение задач Марковских процес сов на ЭВМ / О.С. Андросенко, Л.Д. Девятченко, Е.П. Маяченко. – Магнитогорск : ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. – 510 с.
9. Бэкон Д. Операционные системы. Параллельные и распределенные системы / Д. Бэкон, Г. Харрис. – СПб : Питер, 2004. – 800 с.
10. Dai Ran. Path planning for multiple unmanned aerial vehicles by parameterized cornu-spirals / Ran Dai, John E. Cochran // American Control Conference. – 2009. – P. 2391–2396. – ISSN 0743-1619.

References

1. Perebyinis V.I. Transportno-lohistychni systemy pidpriemstv: formuvannia ta funktsionuvannia : monohrafiia / V. I. Perebyinis, O. V. Perebyinis. – Poltava : RVV PUSKU, 2005. – 207 s.
2. Yang Xin-She. Computational optimization, modelling and simulation: Past, present and future / Xin-She Yang, Slawomir Koziel, Leifur Leifsson // International Conference on Computational Science. Procedia Computer Science, 2014. – No 29(0). – R. 754–758.
3. Zhu Xueping. Model of Collaborative UAV Swarm Toward Coordination and Control Mechanisms Study / Xueping Zhu, Zhengchun Liu, Jun Yang // International Conference On Computational Science. Procedia Computer Science. – 2015. – Volume 51. – P. 493–502.
4. Knysh B.P. Klyasyfikatsiia bezpilotnykh litalnykh aparativ ta yikh vykorystannia dlia dostavky tovariv / B.P. Knysh, Ya.A. Kulyk, M.V. Baraban // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2018. – № 3. – S. 246–252.
5. Viunenko O.B. Doslidzhennia operatsii. Systemy masovoho obsluhovuvannia / O.B. Viunenko, L.P. Voronets. – Sumy : SNAU, 2008. – 370 s.
6. Dogan A. Probabilistic approach in path planning for UAVs / A. Dogan // Intelligent Control. 2003 IEEE International Symposium. – 2003. – R. 608-613. – ISSN 2158-9860.
7. Bortoff S.A. Path planning for UAVs / S. A. Bortoff // American Control Conference, IEEE, Chicago, IL, USA. – 28-30 June, 2000. – ISBN: 0-7803-5519-9, ISSN: 0743-1619. – DOI: 10.1109/ACC.2000.878915.
8. Androsenko O.S. Postanovka i reshenie zadach Markovskih proces sov na EHVM / O.S. Androsenko, L.D. Devyatchenko, E.P. Mayachenko. – Magnitogorsk : GOU VPO «MGTU», 2007. – 510 s.
9. Behkon D. Operacionnye sistemy. Parallel'nye i raspredelelynye sistemy / D. Behkon, G. Harris. – SPb : Piter, 2004. – 800 s.
10. Dai Ran. Path planning for multiple unmanned aerial vehicles by parameterized cornu-spirals / Ran Dai, John E. Cochran // American Control Conference. – 2009. – R. 2391–2396. – ISSN 0743-1619.

Рецензія/Peer review : 26.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Бісікало О.В.