

Б.І. Мороз, А.С. Круглик, Д.М. Мороз, А.А. Мартиненко

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РАЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ОБРОБКИ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ В СИСТЕМІ ДОСТАВКИ
ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ**

Анотація. У роботі розглянуто математичну модель масового обслуговування, що дозволяє розподіляти час між чергами таким чином, щоб гарантувати виконання (обробку) кожного повідомлення в чергах в межах часу, обумовленого для кожної з черг. Метою роботи є опис математичної моделі для квантування часу. Вектор управління повинен забезпечити системі гнучкість, що в свою чергу дозволить керувати системою обробки даних (СОД), в залежності від навантаження на певному проміжку часу чи кількісній зміні окремого типу повідомлень. Така модель може бути актуальною для систем доставки вантажу літальними апаратами, де навантаження на систему може змінюватись впродовж доби, а тримати парк літальних апаратів, для покриття пікових навантажень є економічно недоцільним.

Ключові слова: математична модель, квантування часу, вектор управління, пікові навантаження, літальні апарати.

Постановка проблеми. У сучасному світі, який переживає стрімке технологічне розширення, роль літальних апаратів у системах доставки стає надзвичайно важливою. З кожним роком кількість перевезень вантажу за допомогою літальних апаратів стрімко зростає. Зростання інтересу до безпілотних літаків, квадрокоптерів та інших літальних транспортних засобів визначає потребу у диспетчеризації вхідних інформаційних потоків (заявок) від множини користувачів на доставку вантажу. Питання диспетчеризації потоків повідомлень тісно пов'язане з вибором моделі раціональної організації обробки таких потоків. Тому що до такої системи пред'являються певні вимоги. Наприклад, вартість доставки може залежати від термінів, за які обумовлено таку доставку виконати. Можуть бути як термінові доставки, які потрібно виконувати якомога скоріше, або навпаки, заявка на доставку може виконуватись коли система найменш навантажена, при цьому вартість такої доставки буде нижча. Але при

цьому потрібно враховувати, незалежно від кількості заявок, їх терміновості і т. д., кожна заявка повинна бути виконана в межах її часових обмежень.

Отже розробка методів раціональної організації обробки інформаційних потоків в системах доставки літальними апаратами є актуальним завданням. Адже потрібно розробити таку систему, що буде відповідати пред'явленим до неї вимогам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенням питання масового обслуговування інформаційних потоків займаються науковці і працівники починаючи з 1900-х років. Традиційно вважається, що вперше задачу масового обслуговування вирішував датський математик, статистик та інженер Копенгагенської телефонної компанії Агнер Ерланг, який вирішував завдання з упорядкування роботи телефонної станції.

Із останніх відомих робіт у напрямку розробки систем масового обслуговування в доставці товарів БПЛА є цікавою робота Б. П. Книш «Метод розподілу часу на доставку товарів за допомогою безпілотних літальних апаратів згідно пріоритету» [3]. В роботі розглянуто розподіл кванту часу на обслуговування згідно з пріоритетом. Але недолік системи масового обслуговування з пріоритетом може полягати в тому, що така система гарантує, що будуть доставлені товари в межах визначеного часу, лише з найвищим пріоритетом. Це може бути некоректно, якщо систему доставки літальними апаратами розглядати як таку, де вартість доставки змінюється в залежності від термінів доставки. Наприклад, закономірно, що вдень навантаження на систему обслуговування буде більше, ніж вночі. З цього можна зробити висновок, що доставка вночі може бути дешевшою, щоб мінімізувати простої літальних апаратів і отримати від цього економічний ефект. Але в той же час, наприклад, якщо з'являється економічно вигідніша доставка у часи простою, не можна нехтувати вже існуючою з більш низькою вартістю доставки. Система повинна обробляти заявки вчасно, або відмовити в обслуговуванні, якщо виконати таку заявку неможливо у вказаних часових обмеженнях.

Мета дослідження – описати концептуальну модель обробки інформаційних потоків в системах доставки літальними апаратами з використанням керованої дисципліни для раціональної організації обробки інформації з урахуванням її характеристик цінності і старіння, розроблену проф. Морозом Б.І. [6].

Виклад основного матеріалу дослідження. Концептуальна модель доставки вантажу за допомогою дронів представляє собою структурний та функці-

ональний зразок, що визначає основні етапи, аспекти та взаємодії у системі доставки. Цей опис включає ключові складові концепції, які спрямовані на оптимізацію процесу доставки вантажу та максимізацію ефективності використання безпілотних апаратів. Пропонується розглянути модель як систему, що має такі основні складові: мережа дронів, джерела даних (складів, аптек, точок поставки та ін.), множина користувачів, що є динамічною величиною і постійно змінюється в часі, а також диспетчерський пункт (див. рис. 1).

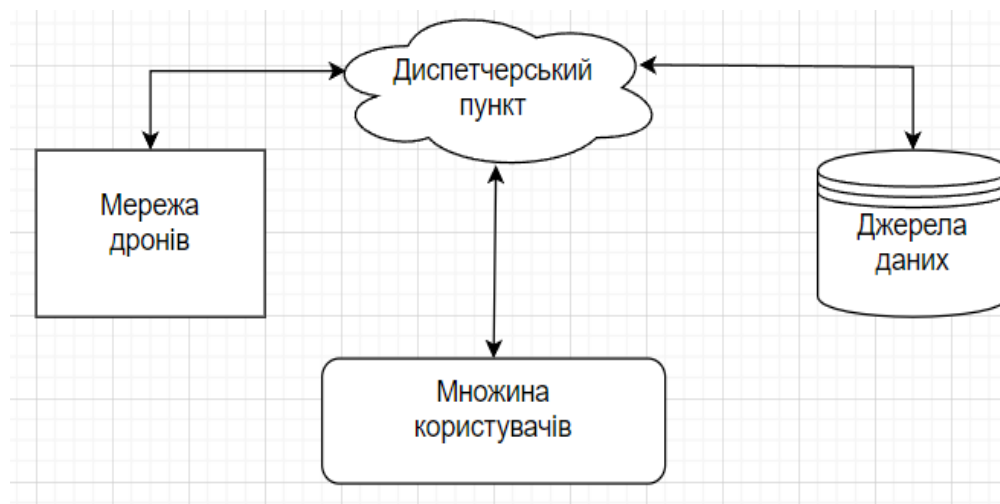


Рисунок 1 – Концептуальна модель організації обробки вхідних інформаційних потоків та доставки літальними апаратами

Замовлення та розміщення завдань. Користувач розміщує замовлення диспетчеру за допомогою додатку або веб інтерфейсу, вказуючи точний адресат та параметри доставки. Параметри доставки є характеристикою, що визначає час, необхідний для обробки заявки (пошук об'єкта доставки в динамічній системі магазинів, побудова оптимального маршруту доставки, погодження часу завантаження/відвантаження, терміновість доставки і т. ін.) а також час, необхідний безпосередньо для завантаження/відвантаження і транспортування літальним апаратом за адресатом. Тобто по суті, кожна заявка має різну цінність а також характеристики старіння.

Мережа дронів представляє собою цілісну систему – парк літальних апаратів з різними технічними характеристиками. Також включає в себе обслуговуючий персонал, необхідний для ремонту та обслуговування парку. Мережу парку літальних апаратів пропонується розглядати як економічно доцільну величину, де кількість дронів та їх характеристики визначаються мінімально достатньою величиною для виконання усіх заявок а також враховуючи амортизацію і поточні ремонти.

Джерела даних є динамічною величиною. Це можуть бути магазини, що пропонують свої товари та послуги, які може замовити користувач. Аптеки або склади, пункти перевантаження і т. д. А також є різновіддаленими від користувача. Цю складову системи слід розглядати як будь яке джерело, звідки можна отримати дані про вантаж, його наявність, достатню кількість, інші параметри, які можна отримати і проаналізувати для досягнення кінцевої мети – своєчасної доставки вантажу за вказаною замовником адресою.

Диспетчер приймає заявку від користувача, обробляє її і виконує. Під диспетчером слід розуміти автоматизоване програмне забезпечення (ПЗ) із мінімальним втручанням оператора або без втручання такого. Диспетчер, використовуючи алгоритми, займається пошуком товару, побудовою оптимального маршруту доставки, подає заявку до оператора з надання послуг використання літальних апаратів з відповідними характеристиками і т. ін.

Із вказаного вище стає зрозуміло, що саме диспетчерське ПЗ повинно раціонально організувати обробку вхідних інформаційних потоків, щоб забезпечити виконання вхідної заявки згідно з накладеними на таке ПЗ вимогами.

Виконання функції диспетчеризації вимагає створення цілого ряду процедур, які забезпечать оптимальну (раціональну) організацію порядку їх обробки. При цьому також необхідно забезпечити реалізацію ряду проблем, пов'язаних з організацією етапів збору, очистки і зберігання даних від зовнішніх джерел. В якості джерел можуть використовуватися різні бази даних (БД), архівні справи і заявки (оперативні джерела).

При створенні інформаційно-аналітичних систем з використанням OLAP технології, існує ряд проблем, пов'язаних з організацією етапу збору, очистки, і погодження даних із зовнішніх джерел. В якості джерел використовуються різні бази даних різних інформаційних систем, що містять в собі оперативні, довідкові, архівні і т. ін. дані, рис. 2

З рис. 2 видно, що оперативні, довідкові, архівні і інші дані поступають у вигляді окремих повідомлень з БД1, БД2, БД3 і т. д. в систему попередньої обробки СОД (система обробки даних) чи СОД1, СОД2, СОД3 і т. д., обробляються цією системою (чи системами), накопичуються в базі даних попереднього зберігання (БДПЗ) або БДПЗ1, БДПЗ2, БДПЗ3 і т. д. Після цього завантажуються у сховище даних (СД) або вітрину даних (ВД).

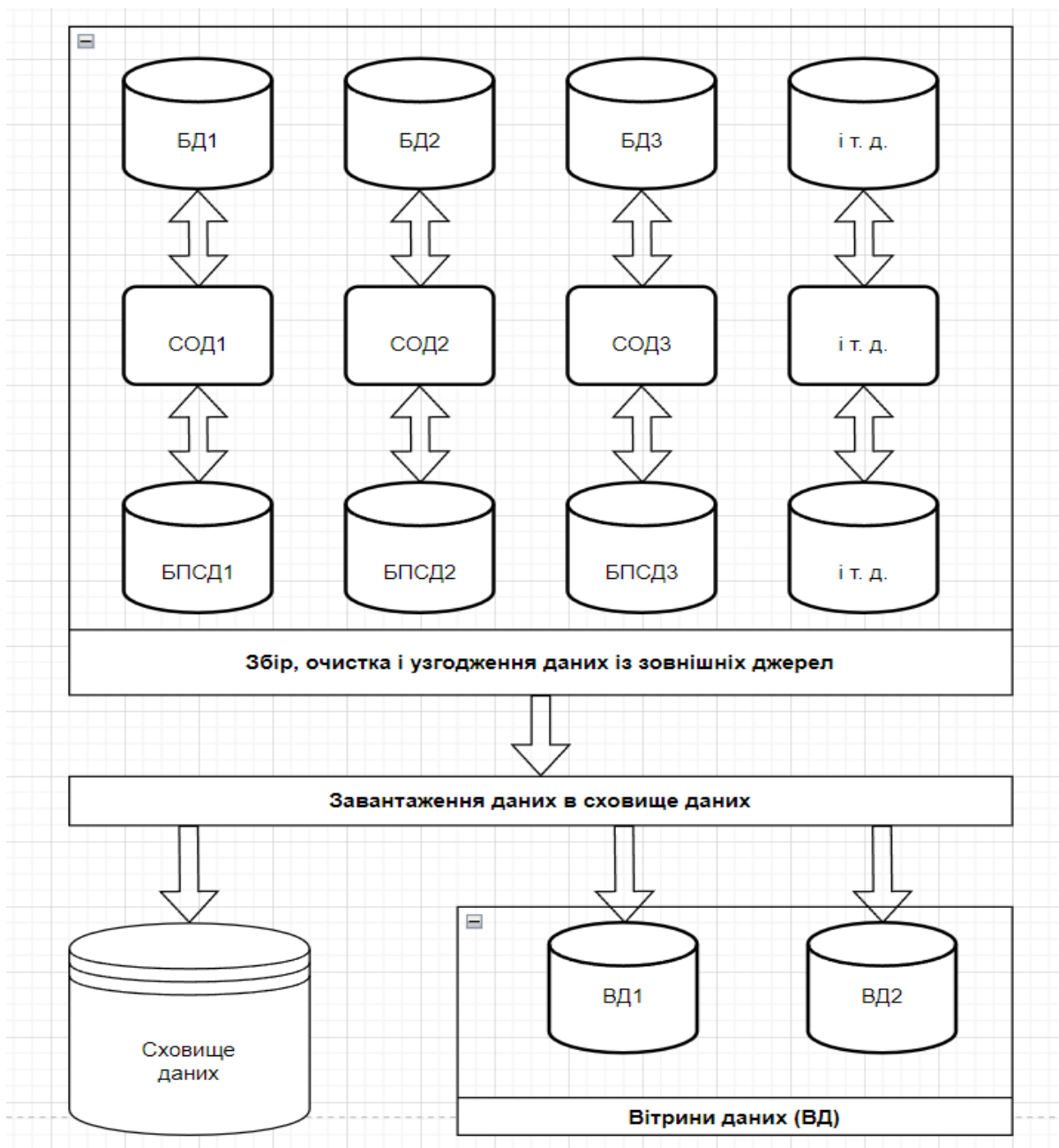


Рисунок 2 – Схема збору даних і їх завантаження в сховище даних

Усі оперативні, довідкові, архівні та інші дані відповідають певному моменту часу на часовій осі і врешті решт повинні бути сформовані у вигляді фактів пов'язаних з відповідним моментом часу.

Факти і їх агрегації в СД повинні з необхідною точністю і в необхідні моменти часу відображати стан предметної області, відносно якої приймаються рішення.

Необхідно відзначити, що дані з БД в СОД поступають у виді регулярних або випадкових потоків повідомлень з певною інтенсивністю, що змінюється в

часі. Повідомлення обробляються як в автоматичному, так і в автоматизованому режимі.

Головними і необхідними вимогами до обробки повідомлень є наступні:

1. Жодне повідомлення не повинно бути втрачено (тобто всі повідомлення повинні бути оброблені)

2. Усі повідомлення повинні бути оброблені в рамках певних часових обмежень. Ці часові обмеження визначаються виходячи із чітко визначеної необхідності завантаження кожного факту в чітко визначений час.

3. Обробка всіх повідомлень повинна бути виконана в умовах мінімальної фактичної продуктивності $P_{\text{факт}} \text{ СОД}$.

4. Організація обробки потоків повідомлень повинна виконуватися з урахуванням якісно-кількісних характеристик інформації (таких як цінність, старіння та ін.), якими характеризуються окремі повідомлення.

Розглянемо питання організації обробки повідомлень на деякому інтервалі часу Δt в СОД більш детально.

На вхід СОД поступає потік повідомлень, на інтервалі часу Δt характеризується вектором:

$$\Lambda \Delta t = \{\lambda_1 \Delta t, \lambda_2 \Delta t, \lambda_i \Delta t, \lambda_h \Delta t\}, \quad (1)$$

де, $\lambda_i \Delta t$ – інтенсивність потоку повідомлень i -го типу на проміжку часу Δt .

i – індекс повідомлення по його належності до деякого порогового часу обробки СОД.

Введемо вектор:

$$T_{\text{порог.}} = \{T_{\text{порог.1}}, T_{\text{порог.2}}, \dots, T_{\text{порог.i}}, \dots, T_{\text{порог.h}}\}, \quad (2)$$

де $T_{\text{порог.i}}$ – максимальний час перебування повідомлення i -го типу в СОД.

Час обробки повідомлення i -го типу визначимо як

$$b_i = \int_0^{\infty} t dBi(t), \quad (3)$$

де $B_i(t)$ функція розподілу часу обробки повідомлень i -го типу.

Повідомлення інтенсивностей $\lambda_1\Delta t$, $\lambda_2\Delta t$, $\lambda_i\Delta t$, $\lambda_h\Delta t$ з'являються в СОД на проміжку часу Δt через інтервали часу $t_{ц.г.i}$ і стають в черги кожного потоку в свою, рис. 3.

$t_{ц.г.i}$ – час циклу генерації повідомлення i -го типу.

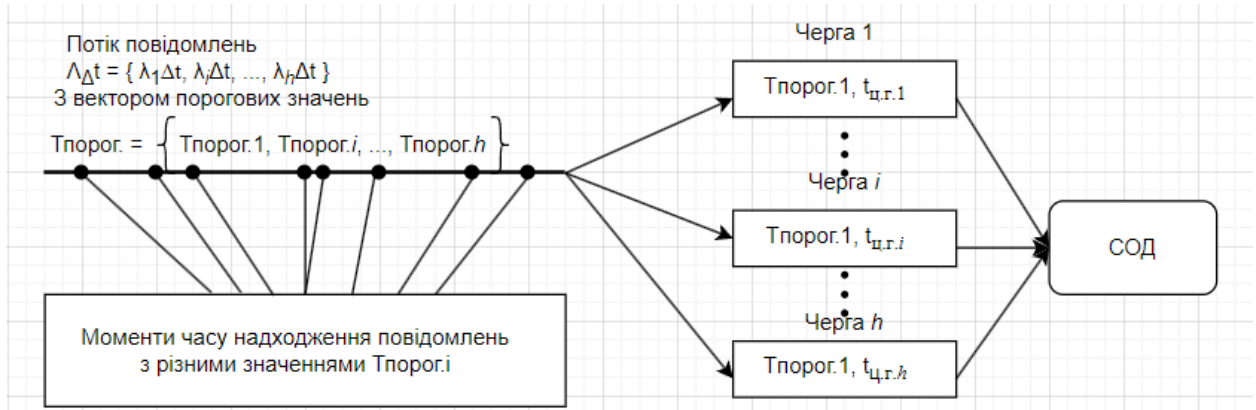


Рисунок 3 – Формування черг з різним пороговим часом обробки $T_{порог.i}$, що поступають через проміжки часу $t_{ц.г.i}$

Обробка повідомлень організується із наступною дисципліною: СОД віддає кожній черзі по чергово квант часу T_{ki} , за який можна обробити 1, 2, 3...12 і т. д. повідомлень i -ї черги, тобто

$$t_{ki} / b_i = 1, 2, 3... \text{ і т. д.} \quad (4)$$

Така дисципліна дозволяє керувати обробкою потоків повідомлень при зміні вектору інтенсивності потоку повідомлень $\Lambda\Delta t$.

Цикл обробки для i -ї черги дорівнює:

$$t_{ци} = t_{k1} + t_{k2} + \dots + t_{kh} = \sum_{i=1}^h t_{ki} \quad (5)$$

Кількість повних циклів на момент часу t – n_{ti} буде дорівнювати:

$$n_{ti} = \frac{t - t_{непр.oi}}{t_{ци}}, \quad n_{ti} = 0, 1, 2, 3 \text{ і т.д.} \quad (6)$$

Час закінчення n -го циклу для i -ї черги

$$t_{(зак.ци)}^{(n)} = t_{непр.oi} + t_{ци}n_i, \quad (7)$$

де n_i порядковий номер циклу i -ї черги.

Час початку n-го циклу для i-ї черги:

$$t_{(поч.ци)}^{(n)} = t_{(зак.ци)}^{(n)} + t_{ци}. \quad (8)$$

Введемо значення $c_i(t)$:

$$c_i(t) = r_i - \frac{t}{b_i} + \frac{t_{непр.i} n t_i}{b_i} + \frac{(t - t_{поч.непр.i}) d}{b_i} + \frac{t_{непр.0i} d_1}{b_i} + \frac{(t - t_{поч.прод.i}) d_2}{b_i} + \left(\frac{t}{t_{ц.з.i}} - 1 \right) - \sum_{j_i^t=1}^{j_i^t+\Delta t} (C_i(t - t_{ц.з.i}) d_3)_{j_i^t} \quad (9)$$

де r_i – початковий стан черг;

$$d = \begin{cases} 0, t > t_{поч.ци}^{(1)} \\ 1, t \leq t_{поч.ци}^{(1)} \end{cases}, \quad d_1 = \begin{cases} 0, t \leq t_{поч.ци}^{(1)} \\ 1, t > t_{поч.ци}^{(1)} \end{cases};$$

$$d_2 = \begin{cases} 0, t - t_{поч.непр.i}^{(n)} \leq 0, \\ 1, t - t_{поч.непр.i}^{(n)} > 0; \end{cases}, \quad d_3 = \begin{cases} 0, C_i(t - t_{ц.з.i}) \geq 0, \\ 1, C_i(t - t_{ц.з.i}) < 0; \end{cases} \quad (10)$$

Величина $c_i(t)$ – це кількість повідомлень i-ї черги, яке повинно бути оброблене до того, як наступить черга обробки повідомлень i-ї черги в момент часу t .

Введемо вектор управління:

$$T_k = \{t_{k1}, t_{k2}, \dots, t_{ki}, \dots, t_{kh}\}, \quad (11)$$

де t_{ki} – квант часу, який СОД віддає на обробку повідомлень i -го типу.

Вибираючи вектор управління T_k можливо знайти таке управління, при якому виконуються умови:

$$\begin{cases} w_i(t) + b_1 \leq T_{порог.1} \\ w_i(t) + b_i \leq T_{порог.i} \\ w_i(t) + b_h \leq T_{порог.h} \end{cases} \quad (12)$$

$W_i(t)$ – функція часу очікування обробки повідомленням, що надійшло в СОД у момент часу t .

Висновки. В роботі наведено аналіз публікацій, в яких проведені дослідження розглянутої вище дисципліни, а також наведена математична модель, що дозволяє визначити головну характеристику обслуговування – функцію часу очікування обробки повідомлення, що поступило в СОД в момент часу t .

ЛІТЕРАТУРА

1. Agner Erlang, biography [Internet resource]. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Agner_Krarup_Erlang.
2. Яганов П. О. Дослідження систем масового обслуговування: Тексти лекцій. Київ: Національний технічний університет України «КПІ», 2006. 40 с.
3. Книш Б. П., Кулик Я. А., Лісовенко А. І. Метод розподілу часу на доставку товарів за допомогою безпілотних літальних апаратів згідно з пріоритетом. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2018. № 6. С. 232-240.
4. Книш Б.П., Кулик Я. А., Барабан М. В. Класифікація безпілотних літальних апаратів та їх використання для доставки товарів. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2018. № 3. С. 246 – 252.
5. Shvachych G. G., Moroz B. I. Pobochii I. A., Sushco L. F., Busydin V. V. *Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем*. Матеріали 4 Міжнародної науково – технічної конференції (Дніпро, 1-2.11.2018) / уклад. кафедра інформаційних систем ДВНЗ УДХТУ. Дніпро: Баланс-Клуб, 2018. С.196 – 199.
6. Moroz B., Pokotylenko O. Analysis of development on creation of delivery organization systems using drones. *Комп'ютерно-інтегровані технології: «освіта, наука, виробництво»*. 2019. № 34. С. 74 – 78.

REFERENCES

1. Agner Erlang, biography [Internet resource]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Agner_Krarup_Erlang.
2. Yaganov P. O. Investigation of mass service systems: Texts of lectures. Kiev: National Technical University of Ukraine “KPI”, 2006. 40 p.
3. Knysh B. P., Kulik J. A., Lisovenko A. I. The method of the time distribution for the goods shipment by the means of unpiloted aerial vehicles based on a priority. *Bulletin of Khmelnytsky National University*. 2018. № 6. P. 232-240.
4. Knysh B. P., Kulik J. A., Baraban M. V. Classification of unmanned aerial vehicles and their use for delivery of goods. *Bulletin of Khmelnytsky National University*. 2018. № 3. P. 246 – 252.
5. Shvachych G. G., Moroz B. I. Pobochii I. A., Sushco L. F., Busydin V. V. *Computer modeling and optimization of complex system*. 4-th International scientific-technical conference. (Dnipro, 1-2.11.2018) / prod. by the the Department of Information Technology SHEI USCaTU. Dnipro : Balance-Club, 2018. P. 196 – 199.
- Moroz B., Pokotylenko O. Analysis of development on creation of delivery organization systems using drones. *Computer-integrated technologies: "education, science, production"*. 2019. № 34. P. 74 – 78.

Received 19.02.2024.
Accepted 21.02.2024.

Mathematical model of the rational organization of the information flows processing in aircraft delivery system

The growing interest in unmanned aircrafts, quadcopters and other flying vehicles determines the need for dispatching incoming information flows from multiple users for the delivery of cargo by these flying vehicles. The issue of dispatching message flows is closely related to the choice of a model for the rational organization of processing such flows.

Analyzing the latest research and publications in this area, I would like to point the work of B. P. Knysh " The method of the time distribution for the goods shipment by the means of unpiloted aerial vehicles based on a priority." But the such priority mass service system can guarantees that the only highest priority goods will be delivered in time.

The purpose of this work is to describe a conceptual model of information flow processing in aircraft delivery systems using the discipline for the rational organization of information processing based on several characteristics. There are provides mathematical model that allows determining the main characteristic of the service - function of the waiting time for processing of a message received in the data processing system(DPS) at the time t .

Мороз Борис Іванович – д.т.н., професор, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Круглик Андрій Сергійович – здобувач вищої освіти рівня доктор філософії, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Мороз Дмитро Максимович – доктор філософії, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Мартиненко Андрій Анатолійович – доктор філософії, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Boris Moroz - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology.

Andrii Kruhlyk – PhD student, Dnipro University of Technology.

Dmytro Moroz -Doctor of Philosophy (PhD), Associate Professor of the Software Engineering Department, Dnipro University of Technology.

Andrii Martynenko - Doctor of Philosophy (PhD), Associate Professor of the Software Engineering Department, Dnipro University of Technology.