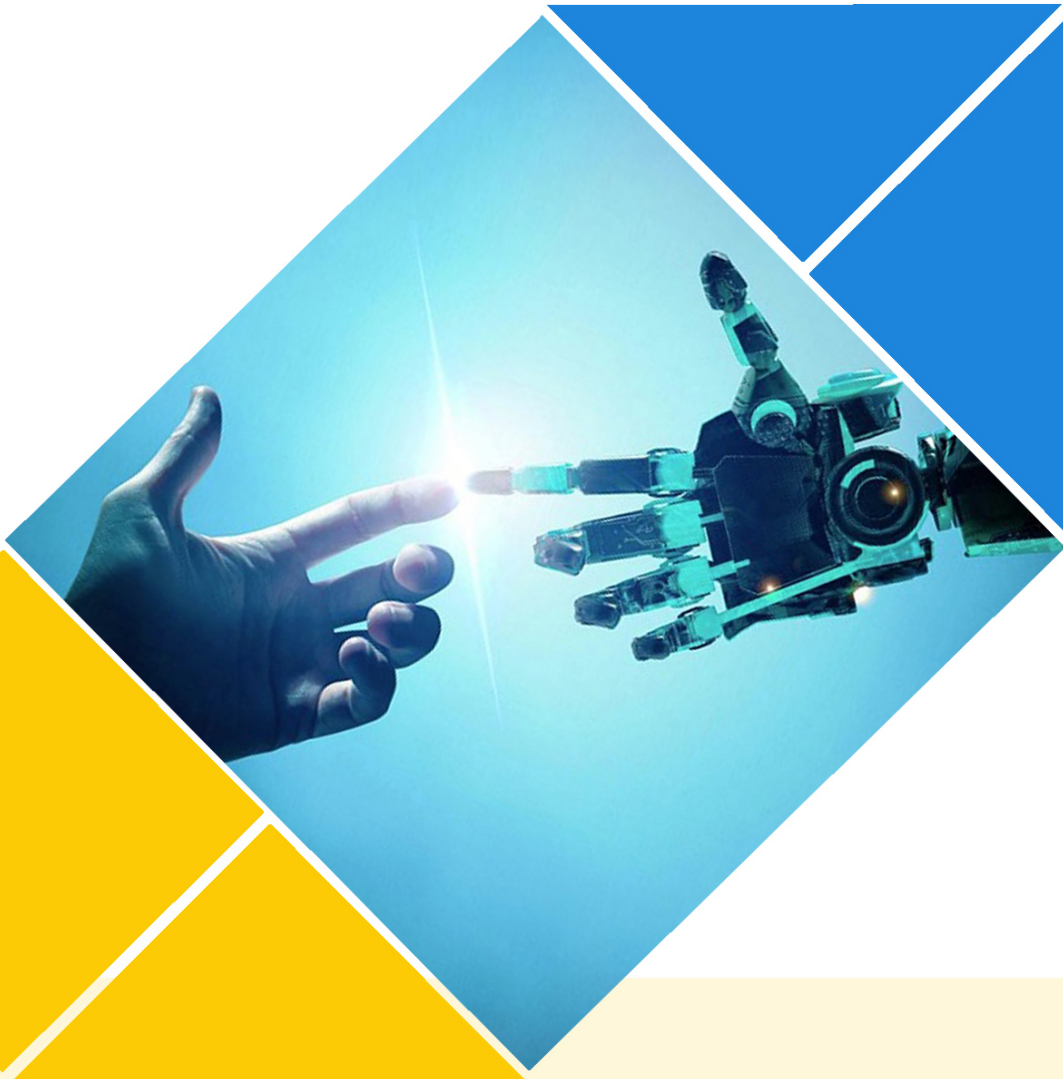




СУЧАСНИЙ СТАН ПРОВЕДЕННЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ІТ-ТЕХНОЛОГІЯХ, ГАЛУЗЯХ ЕЛЕКТРОНІКИ, ІНЖЕНЕРІЇ, НАНОТЕХНОЛОГІЯХ ТА ТРАНСПОРТНІЙ СФЕРІ

КОЛЕКТИВНА МОНОГРАФІЯ | ВИДАННЯ 1

2020-2021



EUROPEAN
SCIENTIFIC
PLATFORM

КОЛЕКТИВНА НАУКОВА МОНОГРАФІЯ

**Сучасний стан проведення наукових
досліджень у ІТ-технологіях, галузях
електроніки, інженерії, нанотехнологіях
та транспортній сфері**

Видання 1



2021 | Вінниця

ГО «Європейська наукова платформа»

Головний редактор: Голденблат М.А.

Науковий редактор: Валеренко Г.І.

Технічна редактура та верстка: Казьміна Н.П. & Бондаренко І.В.

Автори колективної монографії:

Бутко І.М. – кандидат технічних наук ¹

Воронько В. – доктор технічних наук ¹⁰

Воронько І. – кандидат технічних наук ³

Гурін О.М. – кандидат військових наук ¹¹

Ільге І.Г. – кандидат технічних наук ⁸

Каракаш С.В. ²

Коломійцев О.В. – доктор технічних наук ⁴

Носик А.М. – кандидат технічних наук ⁴

Олексенко О.О. ¹¹

Петренко О.Є. – кандидат технічних наук ¹²

Пустоваров В.В. ⁷

Старцев В.В. ¹¹

Третяк В.Ф. – кандидат технічних наук ¹¹

Філь Н.Ю. – кандидат технічних наук ⁸

Хижняк І.А. – кандидат технічних наук ¹¹

Ярошенко Я.В. ⁵

Наукові та навчальні заклади:

¹ Державне підприємство «Центр Державного земельного кадастру»

² Криворізький національний університет

³ Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

⁴ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

⁵ Національний університет оборони України імені Івана Черняховського

⁶ Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

⁷ Харківське представництво генерального замовника – Державного космічного агентства України

⁸ Харківський національний автомобільно-дорожній університет

⁹ Харківський національний університет внутрішніх справ

¹⁰ Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

¹¹ Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

¹² Харківський національний університет радіоелектроніки

С 89 **Сучасний стан проведення наукових досліджень у ІТ-технологіях, галузях електроніки, інженерії, нанотехнологіях та транспортній сфері:** колективна монографія (1-е вид.). / під ред. Валеренко Г.І. – Вінниця: Європейська наукова платформа, 2021. 160 с.

ISBN 978-617-7991-34-1

DOI 10.36074/csriteenat.ed-1

У колективній науковій монографії дослідники розглядають методи рішення багатовимірних задач оптимального синтезу та застосування паралельних обчислювальних структур; оптимальні маршрути польоту безпілотного літального апарату та області його застосування; аналізують шляхи удосконалення системи логістичного забезпечення повітряних сил Збройних Сил України; досліджують методи підтримки прийняття управлінських рішень при проведенні земельно-кадастрових робіт та автоматизовану систему моніторингу міського середовища; здійснюють аналіз методів підвищення довговічності деталей насосів та проведення ремонтних робіт на автомагістралях; аналізують перспективи удосконалення фізичної підготовки майбутніх офіцерів.



УДК 62+004

ISBN 978-617-7991-34-1

ISBN 978-617-7171-76-7 (PDF)

© ГО «Європейська наукова платформа», 2021

© Автори колективної монографії, 2021

ЗМІСТ

Розділ I.

РІШЕННЯ БАГАТОМІРНИХ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО СИНТЕЗУ
БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ЗА
ДОПОМОГОЮ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СЕПАРАБЕЛЬНОГО ПРОГРАМУВАННЯ 4

© Коломійцев О.В., Третяк В.Ф.

Розділ II.

ІНФОРМАЦІЙНО-ПОШУКОВА СИСТЕМА ВИБОРУ МІНІ-ЕКСКАВАТОРУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ
РЕМОНТНИХ РОБІТ НА МІСЬКИХ АВТОМАГІСТРАЛЯХ 15

© Ільге І.Г., Філь Н.Ю.

Розділ III.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ҐРУНТОВИХ НАСОСІВ24

© Каракаш С.В.

Розділ IV.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗРОБКИ БАЗИ ЗНАНЬ ПРО РОЗПІЗНАВАННЯ МІСЬКИХ
БУДОВ НА ЦИФРОВИХ КОСМІЧНИХ ТА АЕРОФОТОЗНІМКАХ ПРИ АВТОМАТИЗОВАНОМУ
МОНІТОРИНГУ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА 61

© Пустоваров В.В.

Розділ V.

УДОСКОНАЛЕННЯ НАУКОВО-МЕТОДИЧНОГО АПАРАТУ ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМІВ
ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ДОСТАВКИ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ В СИСТЕМІ
ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ 83

© Гурін О.М., Старцев В.В.

Розділ VI.

ПАРАЛЕЛЬНІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ СТРУКТУРИ ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧ ДИСКРЕТНОЇ
ОПТИМІЗАЦІЇ 102

© Петренко О.Є., Носик А.М.

Розділ VII.

ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ 122

© Воронько В.В., Воронько І.О.

Розділ VIII.

МЕТОД ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ ПРИ ПРОВЕДЕННІ
ЗЕМЕЛЬНО-КАДАСТРОВИХ РОБІТ НА ТИМЧАСОВО ОКУПОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ НА
ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ КАТЕГОРІЙ 137

© Бутко І.М., Хижняк І.А.

Розділ IX.

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТУ ПОЛЬОТУ БЕЗПІЛОТНОГО
ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ НА ОСНОВІ МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ 147

© Олексенко О.О., Ярошенко Я.В.

РІШЕННЯ БАГАТОМІРНИХ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО СИНТЕЗУ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СЕПАРАБЕЛЬНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

КОЛОМІЙЦЕВ Олексій Володимирович 

Заслужений винахідник України, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри обчислювальної техніки та програмування Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ТРЕТЯК Вячеслав Федорович 

кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

УКРАЇНА

Анотація: В роботі проведено дослідження методів оптимального синтезу багатофункціональних інформаційно-вимірювальних систем (БІВС) та сформовані загальні вимоги до єдиного методу оптимізації. Установлено, що методом оптимального синтезу сучасних БІВС може бути сепарабельне програмування, яке дозволяє вирішити питання багатомірності задач. Метод дозволяє отримати результати різних часток задач оптимального синтезу БІВС «зшивати» в єдине ціле. При цьому, вирішуються наступні задачі: багатомірності оптимізації технічних параметрів БІВС, зходимості отриманих результатів оптимізації, побудови кривих обміну тощо. Розглянуто переваги методу сепарабельного програмування перед існуючими методами оптимізації БІВС. Встановлено, що запропонований метод можливо застосовувати для рішення будь-якої задачі оптимального синтезу (оптимізації) багатофункціональних і однофункціональних сучасних ІВС, у тому числі, окремо, – інформаційного і вимірювальних каналів системи.

ВСТУП.

Відомо, що методи оптимального синтезу (оптимізації) інформаційно-вимірювальних систем (радіо і оптичного діапазонів довжин хвиль) можливо класифікувати за наступними формами виразів

цільової функції та функцій зв'язку:

- прямого пошуку (дихотомія, за числами Фібоначчі та ін.);
- лінійного програмування (сімплекс-метод, метод обернення матриці коефіцієнтів та ін.);
- нелінійні методи (опукле програмування – градієнтні методи першого та другого порядку і тощо).

Під час обробки статистики (при отриманні ліній середньоквадратичної регресії нечіткої вартості на параметр) змінюються форми функцій зв'язку, тобто, методи математичного програмування при розв'язанні задач оптимізації.

Таким чином, необхідний новий єдиний, універсальний і ефективний метод оптимального синтезу (оптимізації) БІВС, який би не залежав від форми функцій зв'язку та задовольняв би наступним вимогам:

- універсальності;
- мінімального часу на розв'язання задач великої розмірності;
- спрощення алгоритму оптимізації;
- сходимості і контролюємість результатів розв'язання задач оптимізації;
- мінімального часу на перевірку отриманих результатів (опуклості);
- спрощення оцінки залежності оптимізації системи від сталих факторів;
- мінімального часу на отримання кривих обміну.

Метод сепарабельного програмування дозволить вирішити проблему багатомірності, сходимості результатів, побудови кривих обміну і тощо.

ОСНОВНА ЧАСТИНА.

Вимоги щодо універсальності вирішує метод Вульфа [1], в якому лінійізуються опуклі цільова функція і функція зв'язку та задача оптимального синтезу зводиться до відомого лінійного програмування. Метод Вульфа можливо вважати універсальним, але він не задовольняє іншим вимогам, що перелічені. Інші методи оптимального синтезу ІВС також не універсальні і особливо неприйнятні для рішення задач великої

розмірності.

Основний недолік методу Вульфа саме у лінеаризації всіх функцій, що призводить до суттєвого зменшення кроку ітерації за кожним параметром i , відповідно, збільшення числа ітерацій. Однак, якщо не лінеаризувати функції, то можливе нелінійне програмування, яке буде мати якості градієнтних методів і зможе адаптувати крок ітерації, але має великі складнощі.

Відомо, що більшість постановок задач оптимального синтезу ІВС вміщують цільову функцію за головним показником системи і функцію зв'язку, яка є вартістю (витратним показником). Отже, якщо є нечіткий показник вартості, доцільно лінеаризувати лише функцію зв'язку. Для спрощеного розв'язання задачі оптимального синтезу БІВС у аналітичному вигляді достатньо мати сепарабельну цільову функцію, яку можна перетворити у сепарабельну однотипну функцію. Тобто, коли критерій точності вимірювального (інформаційного) каналу БІВС залежить від максимуму відношення сигналу до шуму:

$$\max q(\bar{X}(\bar{Y})) = \sum_{i=1}^n X_i(Y_i), \quad (1)$$

де:

n – число параметрів;

$X_i(Y_i)$ – фазовий параметр (ФП), або складна монотонна функція від технічного параметра (ТП) Y_i .

При цьому, ФП відображає вплив ТП і функцій розстроєк, збурень і неідеальностей БІВС на відношення сигналу до шуму $q(\bar{X}(\bar{Y}))$. Функція зв'язку $\varphi(\bar{Y})$ може мати будь-який вигляд тому, що при лінеаризації функції вартості $C(\bar{Y})$ в околиці Y_{i0} вона завжди стає сепарабельною:

$$\varphi(\bar{Y}) = C_d - C(\bar{Y}) = C_d - \sum_{i=1}^n [C_i(Y_{i0}) - C'_i(Y_{i0})(Y_i - Y_{i0})] \geq 0, \quad (2)$$

тобто:

$$\sum_{i=1}^n C'_i(Y_{i0})Y_i \leq C_e, \quad (3)$$

де:

$$C_e = C_d - \sum_{i=1}^n [C_i(Y_{i0}) + C'_i(Y_{i0})Y_{i0}], \quad (4)$$

C_d – допустиме значення вартості.

Задача нелінійного програмування (1), (3) може бути складною. Тому, заміна ТП на ФП задача вирішується у аналітичному вигляді та стає простою.

Функцію Лагранжа задачі нелінійного програмування (1), (3) можливо записати у наступному вигляді:

$$L(\bar{X}) = \sum_{i=1}^n X_i + [C_d - \lambda \sum_{i=1}^n C'_i(X_{i0})X_i]. \quad (5)$$

Систему рівнянь можливо записати, як:

$$\forall k \in [1, n] \rightarrow \frac{\partial L}{\partial X_k} = \frac{a}{X_k} - \lambda C'_k(X_{k0}) = 0. \quad (6)$$

У даному випадку, оскільки складові цільової функції однотипні, невизначене рішення дорівнює:

$$X_k = \frac{a}{\lambda C'_k(X_{k0})}. \quad (7)$$

Таким чином, немає потреби вирішувати систему рівнянь (6) тому, що ці рівняння ідентичні. Невизначений множник можна отримати, якщо формулу (7) підставити у формулу (3), визначити параметр λ та підставити у формулу (7):

$$\sum C'_k(X_{k0}) \frac{a}{\lambda C'_k(X_{k0})} = C_e, \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{na}{C_e}, \quad (9)$$

$$X_k = \frac{C_e}{nC'_k(X_{k0})}. \quad (10)$$

Результат можливо записати наступним чином:

$$\max q(\bar{X}) = \frac{(C_e / n)^n}{\sum_{k=1}^n C'_k(X_{k0})}. \quad (11)$$

Із зворотних функцій отримуються ТП:

$$Y_k = Y_k(X_k). \quad (12)$$

Залежність оптимуму від відношення середньоарифметичної частини до середньгеометричної частини представлена формулою (11), в якій можливо помітити зростання складності алгоритму оптимізації від розміру задачі і тощо.

Для проведення якісного оптимального синтезу БІВС необхідно враховувати вартість на основі маркетингової статистики тому, що сама

вартість є нечіткою величиною.

Запишемо вираз для визначення дисперсії похибки вимірювання параметра БІВС за рахунок випадкової шумової складової похибки для дискримінатора:

$$\sigma_{\lambda}^2 = \frac{\Delta\lambda^2}{q} = \frac{1}{(\Delta\lambda)^{-2}q} = \frac{\text{const}}{\prod_{j=1}^{n_l} X_j(Y_{ji})}, \quad (13)$$

де:

$\Delta\lambda$ – апертура, діапазон однозначності відрахунку оцінки (розкрив дискримінатора);

q – відношення потужностей сигналу до шуму;

$X_j(Y_{ji})$ – функції монотонних залежностей від ТП, які впливають на j -й показник БІВС.

При цьому, завадостійкість БІВС залежить від відношення сигнал/шум q , та з m_1 ортогональними сигналами, ймовірність похибки дорівнює:

$$p_{\text{ошср}} = \sqrt{m_1 - 1} \exp\left(-\frac{q_{\text{п}}}{2} - 1,4\right), \quad (14)$$

де:

$q_{\text{п}}$ – відношення сигнал/шум на виході приймача, або зворотно пропорційне відношенню потужностей сигналу до шуму (11) та дорівнює:

$$\frac{1}{q_{\text{п}}} \leq \frac{1}{2 \ln \frac{\sqrt{m_1 - 1}}{P_{\text{ш доп}}} - 2,8} = \frac{1}{q_{\text{н}}} = \frac{\text{const}}{\prod_{j=1}^{n_l} X_j(Y_j)}. \quad (15)$$

Найбільшу завадостійкість і точність вимірювань, повинні мати однофункціональні (одноканальні) ІВС з показниками (1), (3). Такі показники можуть служити цільовою функцією багатьох задач оптимального синтезу системи. Для них цільова функція може бути зворотною по відношенню до q :

$$\min q^{-1}(\bar{X}) = k_1 \frac{1}{\prod_{j=1}^{n_l} X_j}. \quad (16)$$

При обмеженні за вартістю, задача має рішення (17), а зворотно пропорційний результат (18):

$$X_{i(p)} = \frac{C_{E1}(\bar{X}_{(p-1)})}{nlC'_i(X_{i(p-1)})}, \quad (17)$$

де:

p – номер ітерації,

оптимум складає:

$$F(X_{\text{opt}}) = q^{-1}(\bar{X}_{\text{opt}}) = \frac{k_1 \prod_{j=1}^{nl} C_j^1(X_{j(p)})}{[C_{E1}(\bar{X}_{(p)})/nl]^{nl}}. \quad (18)$$

За умови, якщо обмеження нелінійні, то перші значення вектору параметрів і вартостей функціональних елементів (ФЕ) БІВС, які є початковим планом, підставляються у формулу для отримання вектору рішення першої ітерації. Отже, процес ітерацій продовжується до отримання оптимальних рішень за показником, параметрами та вартістю ФЕ. У даному випадку, на відміну від методу Вульфа, відбувається наступне:

- здійснюється розв'язання простішої задачі (будь-якого розміру) в аналітичному вигляді, користуючись сепарабельністю функцій, що одразу дає представлення про характер оптимуму;
- отримується рішення у аналітичному вигляді (у вигляді формули) у якості ітеративного рішення, що вирішує проблему багатомірності;
- за умови, якщо функція зв'язку була лінійна, то рішення є кінцевим;
- за умови, якщо функція зв'язку не лінійна, то її можна оцінити за критерієм близьким до апроксимації (до 10 % початкової функції) за всіма параметрами:

$$\Delta X_i \leq \frac{0,2C'_i(X_i)}{C''_i(X_i)}, \quad (19)$$

де:

$C''_i(X_i)$ – друга похідна вартості;

- для параметрів, які за областю, що задовольняє апроксимації, треба обмежити крок ітерації до межі цієї області.

При цьому, правилом зупинки може служити критерій точності рішення:

$$X_{j(p)} - X_{ijp-1} \leq \sigma X_{j(p-1)}, \quad (20)$$

де:

j – номер параметру;

p – номер шага ітерації;

$\sigma = 0,1 = 10\%$ – відносна точність рішення.

Отже, дане рішення має наступні переваги перед відомими методами математичного програмування:

- вирішення проблеми багатомірності (можливе врахування усіх параметрів системи);
- простіше розв'язання задачі за умовним екстремумом (при однієї функції зв'язку – не треба розв'язання системи нелінійних рівнянь);
- універсальність за відношенням до форми цільової функції і будь-яких функцій зв'язку, а при повному наборі розв'язаних простіших задач
- універсальність і для різних класів цільових функцій;
- характер випуклості (впуклості) та вплив лише на наявність екстремуму, що потребується;
- значення у числах використовуються тільки в процедурі ітерацій;
- результат отримується у вигляді алгоритму оптимізації і оптимуму в аналітичному вигляді та гідний для аналізу в області задовільної апроксимації, що важливо при стохастичному програмуванні для визначення довірчих інтервалів;
- ТП відшуковуються у вигляді обернених функцій ФП;
- результат оптимізації отримується у аналітичному вигляді та гідний для аналізу ефективності, у тому числі в якості кривої обміну за Гуткіним Л.С.;
- допустиме розв'язання задачі за частками, а потім їх зшивання у єдиний (загальний) результат;
- «криві обміну» дозволяють об'єктивно оцінити оптимальність синтезу структури БІВС і її каналів та сигналів, що застосовуються.

У проведеному дослідженні оптимального синтезу (оптимізації) БІВС можливо побачити головну ідею нового методу сепарабельного (математичного) програмування, яка усуває згадані попередні недоліки існуючих методів, що позначені у вимогах до методу, а також використовує лінійну апроксимацію складної сепарабельної функції зв'язку та однотипність цільової функції. При цьому, сепарабельність функції зв'язку необов'язкова тому, що лінеаризація будь-якої функції

обмежень призводить до лінійної, тобто до сепарабельності апроксимації, а сепарабельність цільової функції забезпечується монотонним перетворенням змінних. До іншої переваги сепарабельного програмування можна віднести те, що за частками, як у блочному програмуванні, розподіляються задачі програмування, а далі зшиваються їх результати у єдине ціле.

Попередньо розглянуту задачу оптимального синтезу БІВС, яка призначена для боротьби з завадою (підвищення відношення потужності сигналу до шуму), можливо розширити для врахування впливу похибок еталонів на результуючу похибку вимірювань:

$$F = \min \left[\frac{k_1}{\prod_{j=1}^{n_1} X_j} + \sum_{i=1}^{n_2} X_i^2 \right], \quad (21)$$

при:

$$C(\bar{X}) \leq C_{\text{доп}}, \quad (22)$$

де:

$k_1 = \text{const}$;

X_j – монотонні функції технічних та паразитних параметрів впливу розстроєк, збурень та неідеальностей (чим вони більше, тим краще для системи);

X_i – похибки за рахунок нестабільності еталонів (чим вони менше, тим краще для системи).

Вартість на параметри першої складової у (21) роздільні від вартості на параметри другої складової. У даному випадку можливі дві стандартні задачі:

- за типом (7), (9);
- за типом (21), (22) – мінімум другої складової при обмеженнях на свої асигнування $C_{\text{д2}}$:

$$\min \sum_{i=1}^{n_2} X_i^2, \quad (23)$$

при:

$$C_{(i)}(\bar{X}_{(i)}) \leq C_{\text{д2}}, \quad (24)$$

отримуємо умову:

$$\sum_{i=1}^{n_2} C_i^1(X_{0i})X_i \leq C_{E2}, \quad (25)$$

$$C_{E2} = C_{d2} - \sum_{i=1}^{n_2} [C_i(X_{0i}) - C_i^1(X_{0i})X_{0i}]. \quad (26)$$

Для задачі (23), (25), (26) функцію Лагранжу можливо записати у наступному вигляді:

$$L_2 = \sum_{i=1}^{n_2} X_i^2 + \lambda_2 [C_{E2} - \sum_{i=1}^{n_2} C_i^1 X_i]. \quad (27)$$

За умови:

$$\frac{dL_2}{dX_k} = 2X_k - \lambda_2 C_k^1 = 0, \quad (28)$$

можливо отримати наступне значення:

$$X_k = \lambda_2 C_k^1 / 2, \quad (29)$$

яке, для отримання значення параметра λ_2 , підставляємо в умову (25), (26).

Отже, друга задача матиме аналітичне рішення і оптимум:

$$X_{i(r)} = \frac{C_{E2}(\bar{X}_{(r-1)})C_i'(\bar{X}_{i(r-1)})}{\sum_{i=1}^{n_2} [C_i'(X_i)]^2}, \quad (30)$$

$$F_2(C_{E2}) = \frac{C_{E2}}{\sum_{i=1}^{n_2} [C_i'(X_i)]^2}. \quad (31)$$

Отримані рішення двох задач (17), (18) та (30), (31) можливо зшити рішенням послідовної (простої) двохмірної задачі:

$$\sigma_\lambda^2 = F_1(C_{E1}) + F_2(C_{E2}), \quad (32)$$

$$C_{E1} + C_{E2} \leq C_E. \quad (33)$$

За методом Ньютона-Рафсона може бути отримане рішення у вигляді ітеративної формули. Наприклад, оптимум задачі (21), (22), (23) можливо знайти, при вже відомих оптимумах двох часткових задач:

$$F = \frac{A}{C_{E1}^{n1}} + \frac{C_{E2}^2}{B}, \quad (34)$$

при:

$$C_{E1} + C_{E2} = C_E, \quad (35)$$

де:

$$A = n!^{n!} \prod_{j=1}^{n!} C'_j, \quad (36)$$

$$B = \sum_{i=1}^{n^2} (C'_i)^2. \quad (37)$$

Отже, задачу оптимального синтезу можливо вирішити за одною змінною за методом підстановки з умови:

$$\frac{dF}{dC_{E1}} = 0, \quad (38)$$

в аналітичному вигляді – за методом Ньютона-Рафсона з рівняння:

$$C_{E1} = C_E - \frac{D}{C_{E1}^{n1+1}}, \quad (39)$$

де:

$$D = \frac{n_1 AB}{2}. \quad (40)$$

При цьому, однотипність функцій досягається заміною (нескладною) змінних задачі на ФП.

ВИСНОВКИ З ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

Таким чином, запропонований новий метод сепарабельного програмування не містить недоліків, які мають відомі методи, що були згадані раніше та представлені як вимоги до методу оптимізації IBC, який необхідний. Даний метод вирішує проблему багатомірності, сходимості результатів, простоти, побудови кривих обміну і тощо. Метод легко може бути використаний і для рішення цільової функції як у вигляді добутку однотипних функцій, так і у вигляді додатку при відповідних монотонних змінних:

$$\min q = \min \prod_{i=1}^n X_i(Y_i) = \min [\exp \sum_{i=1}^n \lg X_i(Y_i)], \quad (41)$$

Наприклад, призначимо:

$$Z_i(X_i) = \lg X_i(Y_i), \quad (42)$$

та:

$$C_i(X_s) = C_i(\exp Z_i). \quad (43)$$

Додаток функцій в цільовою функцію можна представити навпаки як добуток змінних функцій. За умови, якщо різні частки задачі, то можливе зшивання результатів оптимізації. При цьому, спрощення

цільової функції призводить до монотонного ускладнення обмежень за вартістю, які враховуються при розрахунку похідних від складних функцій.

Отже, перелічені особливості нового методу сепарабельного програмування та вказані його переваги перед відомими методами нескладно пристосувати практично до будь-якої задачі оптимального синтезу (оптимізації) сучасних БІВС (або їх інформаційних та вимірювальних каналів).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Wolfe, Ph. (1959). The simplex method for quadrate programming. *Econometrica*, 3(28), 600-606.
- [2] Алешин, Г.В., Панченко, С.В. & Приходько, С.І. (2018) Оптимізація цифрових систем передачі. Харків.
- [3] Коломійцев, О.В. (2013). Лазерна інформаційно-вимірювальна система, побудована на нових принципах роботи з літальними апаратами. *Системи обробки інформації: Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії (Т. 2)*, 3(110), 192.
- [4] Aloshin, G.V., Kolomiitsev, O.V., Tkachev, A.M. & Posohov, V.V. (2019). Separable programming method for solving multi-dimensional problems of optimizing the parameters of laser information measurement systems. *Сучасні інформаційні системи (Т. 3)*, (1), 23-28.
- [5] Aloshin, G.V., Kolomiitsev, O.V., Tkachev, A.M., Klivets, S.I. & Posohov, V.V. (2019). Metod of optimization of radioelectronic measurers. *Сучасні інформаційні системи (Т. 3)*, (3), 113-119.

УДК 004.738:69.002

Опубліковано 28 вересня 2020 року

ІНФОРМАЦІЙНО-ПОШУКОВА СИСТЕМА ВИБОРУ МІНІ-ЕКСКАВАТОРУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РЕМОНТНИХ РОБІТ НА МІСЬКИХ АВТОМАГІСТРАЛЯХ

ІЛЬГЕ Ігор Генріхович

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ФІЛЬ Наталія Юріївна

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

УКРАЇНА

Анотація: В роботі розглянута проблема вибору міні-екскаваторів для проведення ремонтних робіт на міських автомагістралях, сформовані загальні критерії вибору. На основі аналізу предметної області сформульовані вимоги до інформаційно-пошукової системи вибору міні-екскаватору для проведення ремонтних робіт на міських автомагістралях. Обрано базовий програмний засіб – СУБД MS Access. Проведено інфологічне, даталогічне та логічне проектування. Інформаційно-пошукову систему вибору міні-екскаватору за технічними та економічними параметрами дозволяє скоротити час вибору машини для проведення ремонтних робіт на міських автомагістралях.

ВСТУП.

Ринок використання міні-екскаваторів в Україні стійко зростає. В першу чергу це пов'язано з відновленням будівельної галузі, і якщо нові селища або багатоповерхові будинки вимагають потужної техніки, то роботи невеликого обсягу або в обмеженому просторі (наприклад, прибудова до приватного будинку) швидше і дешевше провести за допомогою міні-техніки та міні-екскаваторів в тому числі.

Найчастіше до міні-екскаватора звертаються на стадії організації інфраструктури. Завдяки своїм, по суті, ексклюзивним габаритам міні-екскаватор використовують під час прокладення комунікацій.

Платформа, яка обертається, з поворотною стрілою дозволяє маневрувати на ділянці й акуратно виконувати поставлене завдання. Техніку також використовують при демонтажі та реконструкції будівель, знесення перекриттів і навіть при будівництві тунелів (тут підійдуть міди-екскаватори від 6 тонн). На будівельному майданчику міні-екскаватор знайшов застосування на всіх етапах, починаючи від розчищення ділянки для будівництва, і закінчуючи прибиранням території та вивезенням будівельного сміття після закінчення робіт.

Міні-екскаватори використовуються також в сільському господарстві. Мала вага дозволяє легко транспортувати міні-екскаватор в потрібне місце. За допомогою нього підготовлюється системи зрошення полів, переміщення вантажів, захоронення компосту та інші роботи. Продуктивність і універсальність техніки в господарстві забезпечується за рахунок використання навісного обладнання.

Міні-екскаватори широко використовуються в дорожній галузі. За допомогою міні-екскаваторів здійснюється виїмка ґрунту, вирівнюється пісок і щебінь при будівництві та ремонті доріг в місті. Перевагою використання техніки є те, що ремонтні роботи ведуться без припинення руху транспорту. Міні-екскаватор використовують при ландшафтному дизайні, для благоустрою річок і дворів, посадки дерев.

Використання міні-екскаваторів дозволяє виконувати необхідні роботи на невеликих ділянках місцевості.

Разом з тим в сучасних умовах постає проблема доцільного вибору дорожньо-будівельної техніки виходячи з критеріїв необхідної функціональності й економічної ефективності. Вирішити цю проблему можна лише на основі аналізу масиву даних про зразки машин, представлених на ринку, використовуючи сучасні інформаційні технології.

Отже, міні-екскаватори по своїм технологічним можливостям посідають унікальне місце серед дорожньо-будівельних машин, а науково-обґрунтований вибір міні-екскаватора дозволить підвищити ефективність всього процесу будівництва. Тому проблема розробки інформаційно-пошукової системи вибору міні-екскаватора є актуальною.

До міні-екскаваторів відносять землерийні машини масою до 10 т. Від повноцінних моделей компактні зразки, незважаючи на зовнішню схожість, часто відрізняються по функціоналу. Втім, усередині класу ці машини також часто відрізняються габаритними розмірами, конструктивними особливостями, технічними характеристиками.

На ринку представлений великий вибір моделей міні-екскаваторів різних виробників і вибір міні-екскаватора при такому різноманітті стає складніше.

В роботі [1] проведено аналіз експлуатаційних показників міні-екскаваторів в умовах реальних будівельних об'єктів і їх конструктивних і технологічних параметрів. На основі аналізу і досвіду використання міні-екскаваторів на різних будівельних об'єктах показані конкурентні переваги і недоліки застосування досліджуваних машин в будівельній галузі. Зроблено висновок про рентабельність використання машин з різними термінами експлуатації.

Для визначення норм і тривалості часу роботи на будівельних об'єктах міні-екскаватора в роботі [2] використовується комп'ютерне моделювання.

Короткий огляд конструкцій навісних і причіпних міні-екскаваторів, що випускаються за кордоном приведено в роботі [3]. Показані можливі напрямки розробки мініатюрної землерийної техніки.

Щоб машина стала дійсно цінною одиницею автопарку, а її покупка – вигідним вкладенням коштів у розвиток і підвищення рентабельності бізнесу, до вибору моделі слід підійти з усією відповідальністю.

Метою роботи є підвищення ефективності процесу вибору міні-екскаваторів, за рахунок розробки інформаційно-пошукової системи, яка дозволить скоротити час науково-обґрунтованого вибору міні-екскаватора за багатьма критеріями.

ОСНОВНА ЧАСТИНА.

Розглянемо основні фактори, які слід враховувати при покупці міні-екскаватора.

Першим фактором є характер робіт, що належить виконувати машині, умови експлуатації та об'єктів.

Другим фактором є вартість машини. При виборі міні-екскаватору, необхідно розуміти, що неналежна якість машини може спричинити не тільки витрачені даремно гроші, але і зрив термінів проекту, простої техніки.

Третій фактор – це вибір компанії-постачальника, яка зможе швидко і в обумовлені терміни, здійснити поставку необхідної техніки, а також якісно і своєчасно вирішувати завдання по плановому техобслуговуванню і ремонту машин.

Технічні характеристики міні-екскаватора впливають на

ефективність його використання.

Головною характеристикою міні-екскаватора є потужність гідравлічної системи, яка визначає швидкість і ефективність роботи міні-екскаватора, безпосередньо впливає на загальну продуктивність. Отже, потрібна максимальна продуктивність залежить від вирішуваних завдань. Так, якщо машина буде застосовуватися переважно для риття неглибоких траншей, в потужній моделі немає необхідності. Якщо ж техніка потрібна для більш глибокого копання, то варто віддати перевагу більш продуктивним зразкам.

Характеристики силового агрегату не менш важливі, що гарантують безперебійну роботу машини при інтенсивних навантаженнях, економічну витрату палива, а також відмінні ходові якості на різних ґрунтах.

Конструкція та комплектацію кабіни безпосередньо впливає на продуктивність роботи оператора і його здатність концентруватися на виконанні робочих операцій. Ергономічні важелі управління, системи клімат-контролю, достатній запас вільного місця, грамотне розташування робочих органів і хороша оглядовість допомагають водієві менше перевтомлюватися і виконувати роботу з максимальною ефективністю.

Характеристики двигуна міні-екскаватора не менш важливі. Мулового агрегату не менш важливі. Сучасний двигун гарантують безперебійну роботу машини при інтенсивних навантаженнях, економічна витрата палива, а також відмінні ходові якості на різних ґрунтах.

Габарити міні-екскаватор ще один важливий параметр. Чим компактніше дизайн, тим краще техніка буде справлятися з роботою в умовах обмеженого простору і на майданчиках з обмеженим запасом вільного місця.

Вага машини є також важливим фактором, так як від ваги залежить спосіб транспортування міні-екскаватора на об'єкт, особливо, якщо мова йде про гусеничні машини. Так, компактні міні-екскаватори перевозять в причепах, на евакуатори, бортовою вантажівкою з маніпулятором. Чим менше вага машини, тим зручніше її доставляти на об'єкт.

Міні-екскаватори самі по собі є універсальною технікою, здатної справлятися з багатьма завданнями, але можливість установки різного змінного навісного обладнання, дозволяє ще більше розширити функціонал і сфери застосування цих машин.

Таким чином, ринок малогабаритних екскаваторів України є дуже складним, насиченим технічними зразками зарубіжних та вітчизняних брендів, що різняться за своїми характеристиками.

В цих умовах для успішного вибору міні-екскаватора необхідно застосування сучасних інформаційних технологій, що базуються на використанні баз даних, які містять інформацію про параметри міні-екскаваторів, про їх постачальників і виробників, враховують вимоги клієнтів.

Інформаційно-пошукова система вибору міні-екскаватору повинна задовольнити наступним вимогам:

- забезпечити накопичення і зберігання масивів даних щодо моделей міні-екскаваторів, їх постачальників і виробників, а також замовників;
- мати ефективні засоби пошуку моделей міні-екскаваторів з прийнятними технічними і економічними параметрами;
- мати засоби накопичення і зберігання інформації щодо замовлень на міні-екскаватори і співробітників організації, що відповідають за реалізацію цих замовлень;
- формувати необхідну звітну документацію.

На першому етапі проведено інфологічне проектування предметної області (рис. 1).

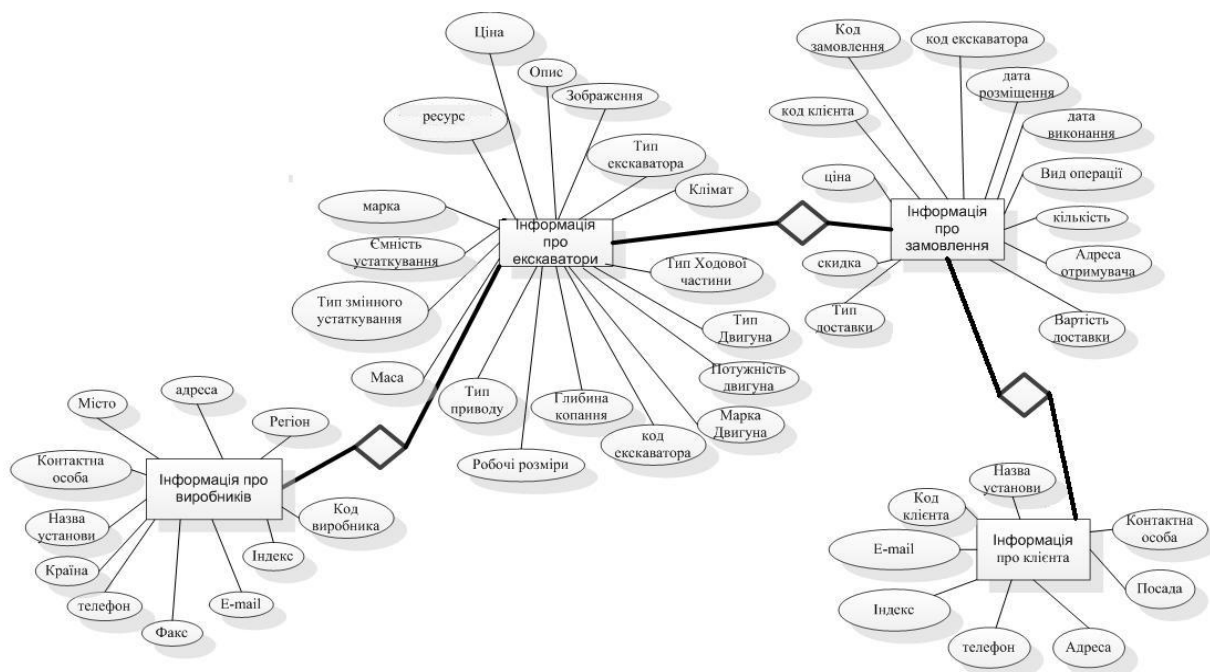


Рис. 1. Інфологічна модель вибору міні-екскаватору

Другим етапом при розробці інформаційно-пошукової системи є вибір СУБД. Аналіз джерел, дозволив визначити, що кількість можливих моделей міні-екскаватору не може перевищити тисяч, навіть якщо враховувати окремі модифікації однієї й тієї марки екскаватору. Разом з тим, необхідності у використанні розподіленої СУБД для даної предметної області немає. Таким чином, вибір обмежується СУБД настільного типу [5, 6].

Фактичними лідерами на ринку СУБД настільного типу є MS Access і Visual FoxPro, тому доречно їх порівняти. При приблизному співпадині більшості параметрів цих систем, MS Access має суттєві переваги по наступним параметрам:

- наявність розгорнутих допоміжних засобів (майстрів);
- можливості навчання персоналу;
- підтримка VISUAL BASIC;
- інтеграція з пакетом MS OFFICE;
- час розробки готового додатку.

Таким чином, СУБД MS Access обрано як базове програмне забезпечення для розробки інформаційно-пошукової системи вибору міні-екскаваторів.

Проведене даталогічне та логічне моделювання, що дало можливість розробити схему даних, орієнтовану на СУБД MS Access. Схема даних інформаційної системи вибору екскаватора представлена на рис. 2.

Інформація про сутності інформаційно-пошукової системи вибору міні-екскаватору зберігається в таблицях бази даних, які розроблено в MS Access. Всього розроблено 9 таблиць. В режимі конструктора визначено найменування полів, їх властивості, а також які поля таблиці мають бути ключовими.

Для полів, які використовуються для зв'язування таблиць в розділі опису додано інформацію щодо значень поля співпадаючої таблиці.

Для зручності використання інформаційно-пошукової системи розроблено інтерфейс користувача у вигляді форм. Форма «Тип_міні-екскаватора» представлена на рис. 3.

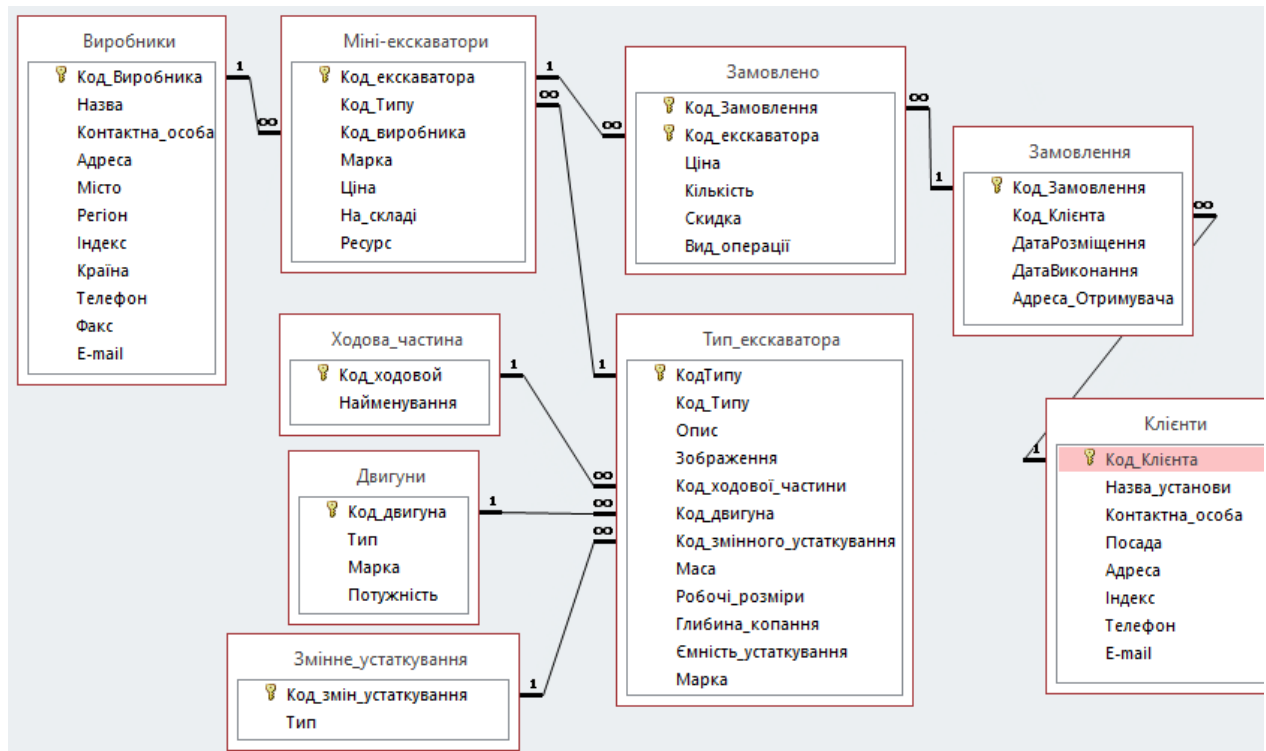


Рис. 2. Схема бази даних

Тип_екскаватора

Марка:

Тип міні-екскаватора:

Опис:

Ходова частина:

Двигун:

Змінне устаткування:

Маса, т:

Робочі розміри, м:

Глибина копання, м:

Ємність ковша, м3:

Зображення

Рис. 3. Форма «Тип_міні-екскаватору»

Для вибору міні-екскаватору за певними технічними та економічними характеристиками розроблені запити. На рис. 4 представлено побудований в режимі конструктора відповідний запит, який дає можливість знаходити дані про міні-екскаватор, вага якого не перевищує 4 тони, глибина копання не менше 2,5 метра, що має ківш типу зворотна лопата і коштує від 400000 до 500000 гривень. Результат виконання запиту приведено на рис. 5.

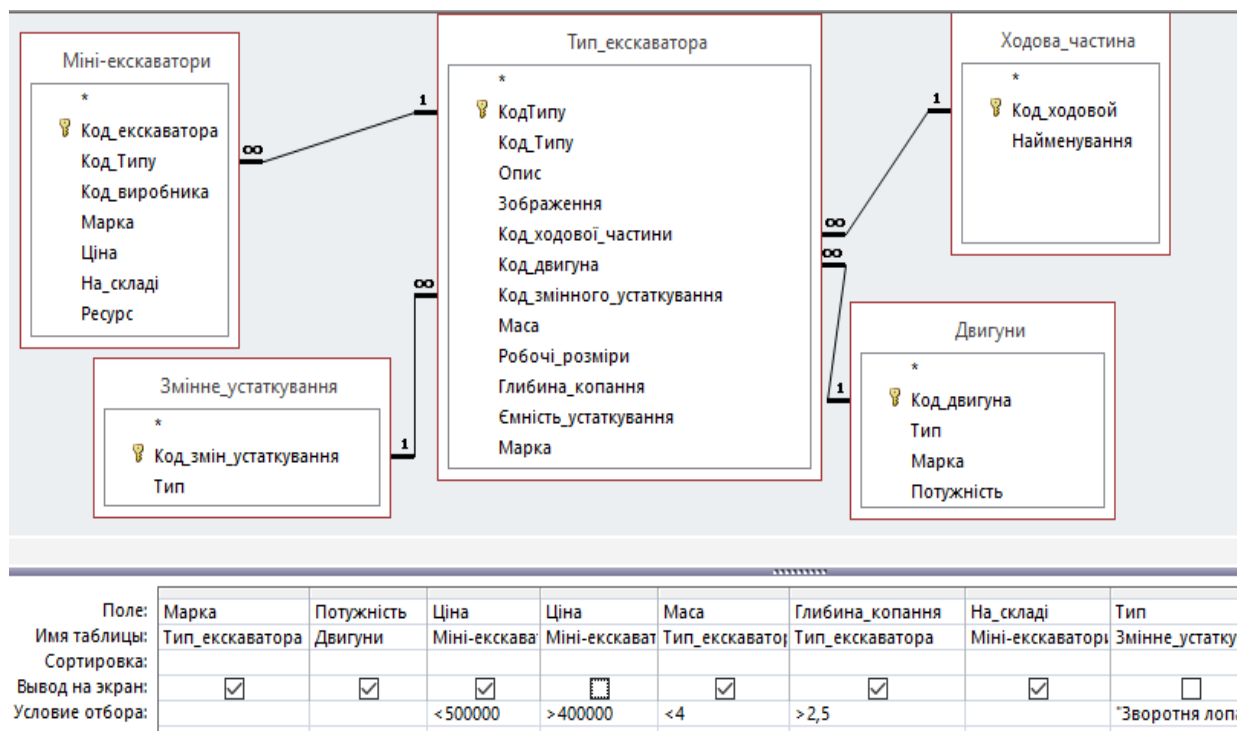


Рис. 4. Структура запиту «Пошук міні-екскаватора за характеристиками»

Марка	Потужність	Ціна	Маса	Глибина_копанн.	На склад
Hitachi EX 22-2	18	414000,00	2	3	3
*					
Записи: 1 из 1					
Нет фильтра					
Поиск					

Рис. 5. Дані за запитом «Пошук міні-екскаватора за характеристиками»

Важливо отримувати інформацію щодо найбільших замовників міні-екскаваторів. Для цього побудовано відповідний запит, який дозволяє визначити клієнтів, що зробили замовлення на суму більше 400000 гривень.

Для зручності розроблені звіти за всіма запитами. Так, звіт «Міні-екскаватори» містить найбільш важливі характеристики обраних міні-екскаваторів.

ВИСНОВКИ З ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

На основі аналізу предметної області сформульовані вимоги до інформаційно-пошукової системи вибору міні-екскаватору для проведення ремонтних робіт на міських автомагістралях.

Виходячи з аналізу сучасних систем управління базами даних і вимог до інформаційно-пошукової системи обрано базовий програмний засіб – СУБД MS Access.

Проведено інфологічне, даталогічне та логічне проектування. В програмному середовищі MS Access розроблено інформаційно-пошукову систему вибору міні-екскаватора для проведення ремонтних робіт на міських автомагістралях.

Інформаційно-пошукову система вибору міні-екскаватору за технічними та економічними параметрами дозволяє скоротити час вибору машини для проведення ремонтних робіт на міських автомагістралях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Ананин В.Г. & Эмилов А.Б. (2016). О рентабельности применения, достоинстве и недостатках мини-экскаваторов в промышленности и народном хозяйстве. *Символ науки*, (6), 36-40.
- [2] Frank A. Bender, Simon Göltz, Thomas Braunl & Oliver Sawodny. (2017). Modeling and Offset-Free Model Predictive Control of a Hydraulic Mini Excavator. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, (14/4), 1682-1694, doi: 10.1109/TASE.2017.2700407.
- [3] Караваев В.И. (2017). Краткий обзор конструкций мини-экскаваторов Инженерные и социальные системы *Сборник научных трудов инженерно-строительного института ИВГПУ*, 68-70.
- [4] Как и какой выбрать мини-экскаватор? Вилучено із <https://bobcatrussia.ru/articles/kak-vybrat-mini-eksavator/>.
- [5] Дейт К. Дж. (2013). Введение в системы баз данных. (Ф. П. Тарасенко пер. с англ.). Москва: «Вильямс».
- [6] Советов Б. Я. (2015). Базы данных: теория и практика: учебник для вузов. Москва: «Высшая школа».

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ҐРУНТОВИХ НАСОСІВ

КАРАКАШ Сергій Вадимович

асистент кафедри технології машинобудування
Криворізький національний університет

УКРАЇНА

Анотація: У системі безперервного виробництва, у якому насосам відведена значна роль у підтримці технологічного процесу, надійності й довговічності цього виду встаткування варто приділяти велику увагу. Надійність насоса, як властивість виконувати задані функції, зберігаючи в певних межах експлуатаційні режими протягом необхідного проміжку часу, обумовлюється безвідмовністю, ремонтпридатністю й довговічністю всіх деталей. На надійність насосів, що транспортують високоабразивні суміші, впливає: стан робочих коліс, бронециліндрів, чепцевих ущільнень і ущільнень деталей з боку підведення потоку в робочі колеса; порушення герметизації в ущільнюючих з'єднаннях; ослаблення кріплень робочих коліс, вібрації роторів насосів і вихід з ладу підшипникових вузлів. В ході досліджень були розглянуті фактори прояву абразивного зношення ґрунтонасосів. А також методи, що підвищують надійність і довговічність швидкозношуваних деталей. Тому було встановлено, що для кращої надійності та довговічності, необхідно:

- використання для зносостійких матеріалів - хромистих чавуну, сталей, гуми й мінералополімерних покриттів нерухомих деталей, а також нових сплавів - норихард і норидур;
- зниження швидкостей руху абразивної суміші в робочому колесі шляхом зменшення частоти обертання вала насоса в допустимих межах;
- модернізація конструкції відводу на виході з робочого колеса у бік розширення перетину відводу, що дає можливість одержати плавний перехід від бічної стінки перетину відводу до його циліндричної частини. Проведені заходи дають можливість підвищити довговічність ґрунтових насосів на 36%.

ВСТУП.

На збагачувальних фабриках для транспортування пульпи застосовуються ґрунтові насоси наступних марок: 4ГР-М, 8ГР-, 8ГР-М, 5НШ-1, 5ГР-8. Для видалення хвостових пульп у відвал застосовують ґрунтові насоси 28Гр-8Т, НП-500, НП-700, НП-800, 20Р-ІІ. Пульпа, що

перекачує, містить велику кількість високоабразивних часток, що приводить до інтенсивного зношування робочих деталей насосів. Вітчизняні ґрунтові насоси, особливо їхні останні зразки, мають гарні енергетичні показники й не уступають закордонним зразкам. Однак існуючі промислові ґрунтові насоси недостатньо стійкі до абразивного зношування при переробці сильноабразивних гравійних ґрунтів.

Розрахунок ґрунтового насоса дозволяє визначити оптимальні форми й розміри деталей проточного каналу, що забезпечують високий к.к.д. і висоту усмоктування. Внаслідок абразивного зношування деталі проточного каналу насосів істотно змінюють свою геометричну форму. Так, наприклад, перед профілактичним ремонтом часто можна бачити лопатки, зношені на 30-40% своєї довжини. Природно, насос із таким робочим колесом значно знижує свій напір і продуктивність.

Дослідження показують, що втрата через абразивне зношування первісної маси деталей на 25—30% виникає потреба заміни їх новими запасними частинами. Середнє зношування металу на 1 тис. м³ перекошеного ґрунту звичайно становить 1,4-5,2 кг для піщаних і до 70 кг для гравійних ґрунтів. Таким чином, насоси на гравійних ґрунтах зношуються в багато разів інтенсивніше, чим на піщаних.

Якщо врахувати величезні обсяги виконуваних у нашій країні гідромеханізованих робіт, обчислювальні сотнями мільйонів кубічних метрів, то стане очевидним, що заміна зношених деталей вимагає колосальної витрати засобів. Витрати, викликувані зношуванням, складаються не тільки з вартості зношених деталей, але й у значній мірі є наслідком непродуктивних простоїв земснарядів, які на великих ґрунтонасосних установках можуть тривати більше доби. Крім того, зношування знижує енергетичні показники насосів. Так граничне зношування ґрунтового насоса ЗГМ-1-350А викликає зниження напору на 10-15%, а продуктивності по ґрунті на 30% і більше.

Способами підвищення терміну служби розглянутого встаткування є:

- застосування зносостійких матеріалів;
- зміцнення зношеної поверхні наплавленням твердих сплавів;
- розробка зносостійкої гідравлічної форми проточної частини ґрунтових насосів і рівностійких до абразивного зношування елементів їхнього каналу;
- зміна геометрії руху часток у насосах.

ОСНОВНА ЧАСТИНА.

Закордонні фірми приділяють велику увагу підвищенню терміну служби ґрунтових насосів. При розробці раціональних конструкцій часто проводять дослідницькі роботи.

Іноземні фірми найбільшу увагу приділяють застосуванню зносостійких матеріалів і розробці стійких до зношування конструкцій насосів.

Американські фахівці вважають, що ще немає універсального матеріалу, що міг би в достатньому ступені виявити свої зносостійкі якості для будь-яких умов експлуатації. Тому вони рекомендують підбирати стійкі до зношування матеріали з урахуванням фізико-механічних властивостей.

Для насосів, що працюють на перекачуванні гідросуміші з великими включеннями скельних порід, часто використовуються сплави з додаванням молібдену, хрому, нікелю й інших металів. Для переробки ґрунтів, що створюють у насосі невеликі й середні ударні навантаження, знаходять застосування метали з високим змістом хрому. Одним з таких металів є сплав НС-250, використовуваний для виготовлення робочих коліс і равликів ґрунтових насосів. Зносостійкість цього сплаву в 2 рази вище, ніж вуглецевих сталей.

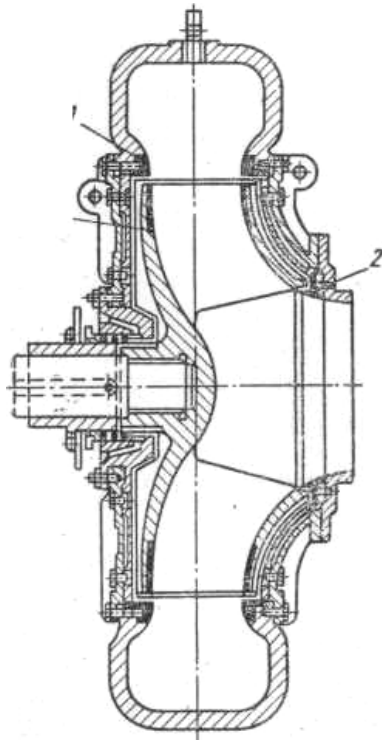
Для переробки дрібних піщаних ґрунтів знаходить застосування нікельхромистий сплав АВК «Мітел», який відноситься до ніхардових чавунів.

Як неметалічні матеріали для деталей ґрунтових насосів у США застосовується так званий «алмазний» сплав, що має твердість по Брінеллю 600 кгс/мм². Американська фірма «АММКО» рекомендує використати цей сплав для переробки сильноабразивних гравійних ґрунтів. За даними фірми, термін служби деталей із цього сплаву в 2 і більше рази вище, ніж зі звичайних вуглецевих сталей.

При роботі на дрібних ґрунтах проточний канал насосів іноді покривають зносостійкою футеровкою з корунду й карборунду. Цей спосіб захисту від зношування може підвищити термін служби насосів приблизно в 7 разів, по зарубіжним даним.

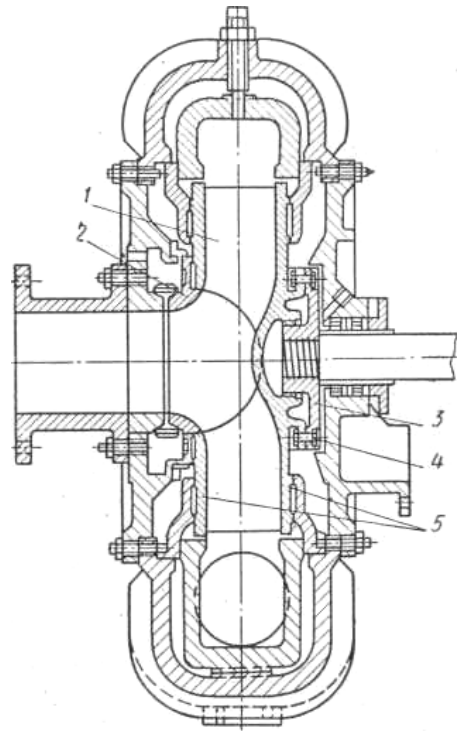
Деякі фірми випускають насоси в гумованому виконанні. За даними фірм, ці насоси успішно працюють в умовах переробки ґрунтів, крупністю не перевищуючих 9 мм. Термін служби їх в 10 разів вище стосовно насосів зі звичайних вуглецевих сталей.

Відновлення деталей наплавленням високоякісними електродами в закордонній практиці не знаходить широкого застосування. У США, де широко розвинений гідромеханізований спосіб провадження робіт, цей метод використовується рідко. В основному його застосовують для покриття окремих лише швидкознушуваних ділянок деталей, як наприклад, наплавлення зносостійкими сплавами вихідних елементів робочого колеса (Рис. 1) і ін.



**Рис. 1. Грунтовий насос
земснаряда «Комбер»:**

*1 и 2 — зйомні елементи з
зносостійких матеріалів;
3 — наплавка з стіких до
зношування сплавів*



**Рис. 2. Грунтовий насос
фірми «Томас»**

Багато фірм підвищують термін служби насосів шляхом створення раціональних конструкцій. При розробці таких конструкцій ставлять метою не тільки підвищення довговічності, але й здешевлення робіт із заміни зношених деталей.

Як такий приклад можна привести насос (Рис. 2) фірми «Томас» (США). Цей насос призначений для розробки високоабразивних кускових матеріалів. Деталі його проточного каналу виготовлені з високохромистого сплаву «Ніхард» і аустенітної марганцовистої сталі.

Робоче колесо складається зі знімного кільця 2 і маточини 3, які кріпляться до дисків 5 за допомогою закладних болтів 4. З метою пропуску через насос великих шматків породи входні крайки лопаток обрізані по кривій лінії.

Приділяється належна увага швидкорозємності конструкцій. У насосі фірми «Моріс» (Рис. 3) равлик, поміщений між передньою й задньою кришками, які стискають його за допомогою відкидних болтів. Такий простий пристрій дозволяє швидко замінити зношені равлики.

Закордонні фірми відзначають необхідність при підборі насосів керуватися конкретними умовами експлуатації. Залежно від гранулометричного складу твердої фракції рекомендується застосовувати робочі колеса з різним профілюванням лопат.

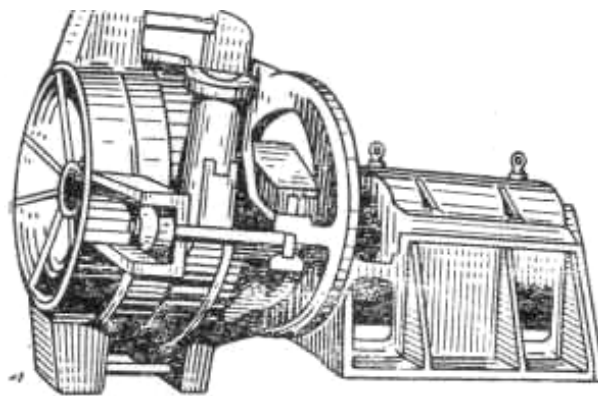


Рис. 3 Грунтовий насос фірми «Моріс»

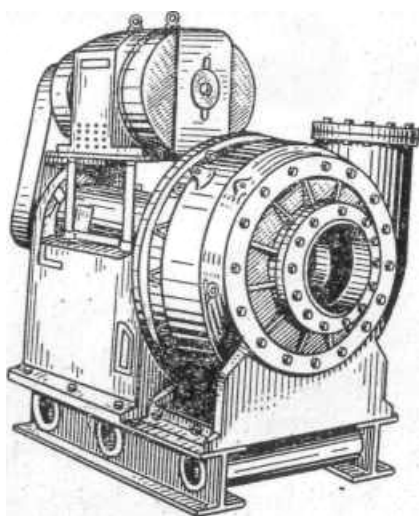


Рис 4. Грунтовий насос фірми «Денвер»

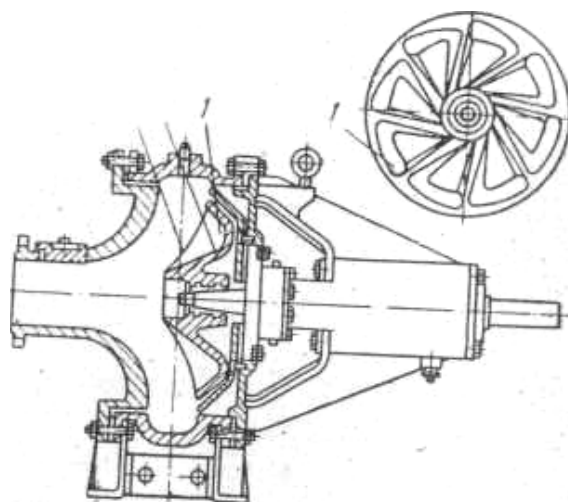


Рис 5. Грунтовий насос «Вемко»

При сильноабразивних гравійних ґрунтах для зниження зношування проточного каналу насосів іноземні фірми рекомендують працювати на знижених швидкостях. Для цього застосовується з'єднання валів насоса із двигуном за допомогою пасової передачі (Рис. 4), що дозволяє змінювати числа обертів вала насоса.

За даними закордонної печатки, фірмою «Вестерн Машинери» (США) випускаються ґрунтонасоси «Вемко» (Рис. 5). По нашій термінології їх називають смерчковими насосами. Конструктивно ці насоси відрізняються тим, що лопатки 1 поміщені в спеціальні поглиблення, утворені фігурним диском 2 робочі колеса 3. У такого насоса обертове робоче колесо в каналі равлика створює вихровий рух потоку гідросуміші. Як указується в закордонній пресі, завдяки такому руху потоку абразивні частки мають мінімальне зіткнення з лопатками колеса, що знижує інтенсивність зношування останніх. Однак проведені Вніігідромашем дослідження насосів, що працюють на такому принципі, не підтвердили їхніх переваг.

У цей час є великий парк ґрунтонасосних установок різних марок. Серед них експлуатуються установки як нових, так і старих зразків.

Деталі цих насосів виготовлені з нестійких до зношування сталей, в основному сталей 25Л и 55Л. Тому заходом щодо підвищення строку їхньої служби є зміцнення робочих поверхонь електронаплавкою твердими сплавами. Розглянемо конструктивні особливості цих насосів. До таких ставляться ґрунтові насоси 8НЗУ й 12НЗУ. Їхня характерна риса полягає в тім, що периферійні стінки каналу равлика зроблені товще бічних його стінок. Така конструкція равликів сприятливо позначається на підвищенні терміну служби цих деталей, особливо при роботі на сильноабразивних гравійних ґрунтах.

Ґрунтові насоси 20Р-11 і 20Р-11М. Перший із цих насосів виконаний у легкому, а другий - у важкому варіанті. У модернізованого насоса у важкому виконанні для полегшення його розбирання при заміні зношених деталей зовнішній корпус має рознімання в горизонтальній площині.

З метою збільшення усмоктувальної здатності насоса й підвищення терміну служби робочого колеса модернізована кришка усмоктувальної сторони й робоче колесо ґрунтового насоса 20Р-11.

Сутність модернізації складалася в збільшенні усмоктувального отвору до 550 мм і товщини вхідних елементів лопат з боку заднього

диска колеса, де спостерігається інтенсивне їхнє зношування (Рис.6). Природно думати, що лопатки з підвищеною товщиною вхідних крайок передбачені з метою збільшення терміну служби робочих коліс при роботі на гравійних ґрунтах.

Як показали дослідження, довговічність робочих коліс при експлуатації їх на гравійних ґрунтах доцільно підвищувати за рахунок збільшення не товщини, а довжини лопаток шляхом розташування вхідних крайок останніх ближче до осі насоса.

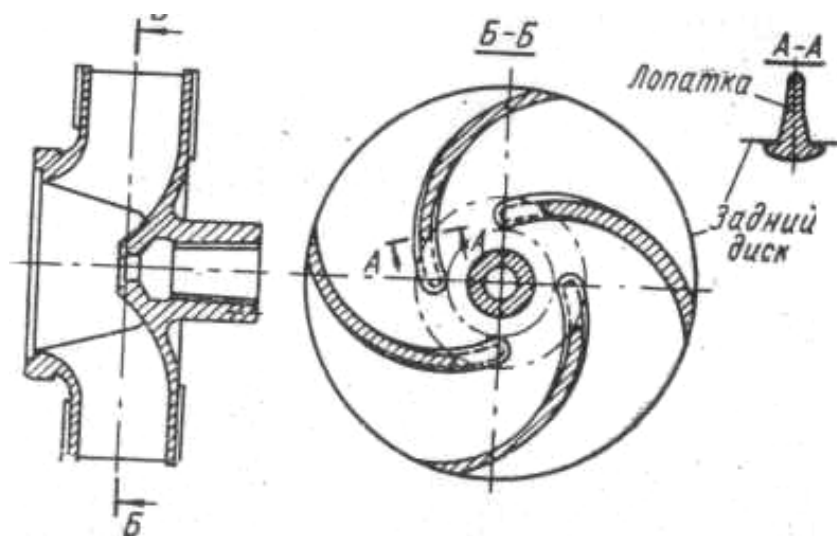


Рис. 6 Робоче колесо насоса 20Р-11М

У ґрунтових насосів ЗГМ, 20Р-11 і 500-60 вхідні краї лопаток обрізані до лінії, що становить із віссю насоса кут, приблизно рівний 4—5°. У робочого колеса насоса 1000—80 цей кут приблизно дорівнює 10°. З погляду підвищення терміну служби робочих коліс при роботі на гравії другий варіант переважніше, тому що він створює запас довжини лопаток на зношування й дозволяє розташувати швидкозношувані елементи їх у зоні менших окружних швидкостей.

В основу насосів нових марок лягли моделі, які отримані в результаті проведеного комплексу досліджень. По своїх гідравлічних показниках ці ґрунтонасоси значно перевершують раніше випущені вітчизняні насоси й перебувають на рівні показників кращих закордонних зразків.

Для таких насосів широке застосування знаходить високохромистий чавун ИЧХ28Н2. Цей сплав має підвищену зносостійкість приблизно в 4 рази стосовно сталі Ст.3. Він в основному використовується для деталей насосів, підданих малим ударним навантаженням, як наприклад, для

бронедисків. Для робочих коліс і внутрішніх корпусів його використовують лише в насосів «Гр», призначених для перекачування піску, золи й шламу.

Для більше важких по абразивності умов, коли попадаються великі уламкові включення, звичайно використовують насоси «Гру», які мають розширені прохідні канали. Для таких насосів в основному застосовується сталь 55Л, що має низьку зносостійкість.

Через недостатність механічної міцності високохромистий чавун не знаходить широкого застосування для насосів, експлуатованих на гравійних ґрунтах, особливо з великоуламковими включеннями.

У ґрунтових насосів 8Грк-8 равлика мають зносостійку футеровку з корунду на бакелітовій основі. Як показала експлуатація таких насосів на гірничозбагачувальному комбінаті при перекачуванні гідросуміші зі зливу кульових млинів, термін служби їх приблизно в 3 рази вище, ніж насоса 8Гр-8т, виготовленого з високохромистого чавуну.

Досвід експлуатації таких насосів у ВНІІНеруді на більших матеріалах (піщано-гравійних і гравійних ґрунтах) не дав істотного підвищення строку їхньої служби. Футеровка їх від ударних навантажень абразивних часток відносно швидко руйнується.

Таким чином, відносно застосування зносостійких матеріалів насоси нових марок мають істотну перевагу перед насосами старих марок. Однак це стосується не всіх моделей розглянутого ряду. Так, у насосів з розширеними прохідними перетинами, які використовуються для переробки гравійних ґрунтів, застосовують звичайно слабку до абразивного зношування сталь 55Л, що мало відрізняється по зносостійких якостях від звичайної сталі Ст. 3.

У конструктивному відношенні в насосів ряду «Гр» зроблений також істотний крок уперед. Якщо в насосів старих марок гідравлічні форми спрацьовувалися в основному в енергетичному відношенні, то з новими проведені додаткові дослідження на зношування, які дозволили виявити раціональну, більш стійку до зношування форму їхнього каналу. Для переробки ґрунтів щодо дрібних фракцій поліпшення умов протікання гідросуміші в насосах дало можливість підвищити строк їхньої служби. Однак для переробки великих гравійних ґрунтів ці насоси в конструктивному відношенні відпрацьовані недостатньо.

Ґрунтові насоси розглянутого ряду випускаються як у легкому так і важкому виконанні. Останні мають двохкорпусного равлика, що дає

можливість відносно легко замінити внутрішній корпус, що піддається зношуванню.

Розглядаються насоси з нормальним і розширеним перетином їхнього проточного каналу. У першому випадку передбачені робочі колеса із чотирма, а в другому — із трьома лопатками. Виробник рекомендує використати ці насоси на перекачуванні гідросуміші з об'ємною вагою $\gamma_{см} = 1,3 \text{ тс/м}^3$, що містить як твердий компонент пісок, шлаки, гравій і гальку.

По гідравлічним параметрам, к.к.д., розмірам прохідних перетинів і числам обертів вітчизняні ґрунтові насоси мало відрізняються від аналогічних показників насосів закордонних фірм. Однак у відношенні антиабразивних якостей вітчизняні насоси залишаються усе ще недостатньо зносостійкими. Особливо цей недолік проявляється при перекачуванні сильноабразивних гравійних ґрунтів.

За даними досліджень ВНІГа, корпус насоса 20Р-11 до повного свого зношування може пропустити піску 215, а гравію — 34 тис. м^3 . Зношування робочих коліс при цьому на гравії відбувається в 6 разів швидше, чим на піску.

Звітні дані ряду виробничих підприємств трестів гідромеханізації й дані літературних джерел, свідчать, що зношування деталей проточного каналу насосів на сильноабразивних ґрунтах в 10 і більше раз інтенсивніший, чим на піщаних.

Експлуатація насосів 10Гру-8л показала, що при переробці дрібнозернистих пісків робоче колесо може пропустити близько 50 тис. м^3 ґрунту. Випробування на зношування такого ж насоса на гравії середньої крупності 16—18 мм, проведені у ВНІНеруді, показали, що робоче колесо може пропустити тільки 6 тис. м^3 ґрунту.

Таким чином, ці приклади ще раз свідчать про те, що насоси нових марок недостатньо зносостійкі при експлуатації їх на гравійних ґрунтах. Це пояснюється тим, що насоси з розширеними прохідними перетинами виготовляють зі звичайних, нестійких до зношування сталей.

ДОВГОВІЧНІСТЬ І ЗНОШУВАННЯ. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

У процесі роботи проточна частина ґрунтових насосів безупинно перебуває в контакті з гідросумішшю. Під дією твердих часток робочого

потоків постійно відбувається руйнування матеріалу деталей насоса й пов'язане із цим зміна геометрії їхнього каналу й поява в деталях наскрізних отворів. Як характерний приклад у прояві першого фактора можна привести зношування лопаток робочого колеса. При проектуванні ґрунтових насосів діаметр робочого колеса й форму його лопаток розраховують відповідно до оптимальних гідравлічних показників насоса й заданої його характеристики. Через зношування порушується оптимальна геометрія лопаток і зменшується діаметр робочого колеса. Це знижує показники H і Q і порушує нормальний режим експлуатації не тільки насоса, але й усього комплексу установок.

Іншими факторами прояву зношування є втрата металу й збільшення непродуктивних простоїв насосів на заміну зношених їхніх деталей. Безумовно, все це є основною причиною зниження експлуатаційних якостей розглянутого встаткування й подорожчання гідромеханізованих робіт.

За середніми даними, на кожні 1000 м³ ґрунту, переробленого способом гідромеханізації, губиться через зношування близько 0,75 кг металу.

Тому що землесосними снарядами виконуються величезні обсяги робіт, то заміна зношених деталей землесосного встаткування і їхня реставрація коштують значних витрат.

Дослідження абразивного зношування ґрунтонасосів дозволяють розкрити основні причини інтенсивного зношування деталей проточного їхнього каналу й намітити раціональні методи боротьби з ним.

Відсутність необхідної теорії гідроабразивного зношування деталей насосів не дозволяє здійснити перерахування отриманих лабораторних даних моделі насоса на промисловий його зразок. У теперешній час є робота з моделювання зношування лопаток робочого колеса, що розглядає це питання для умов перекачування дрібнозернистих ґрунтів. Зовсім неясним залишається моделювання зношування деталей насосів при роботі на сильноабразивних гравійних ґрунтах. Це ставить необхідним проведення досліджень розглянутого питання на промислових зразках насосів, що дозволить одержати для них надійний експериментальний матеріал не тільки якісних, але й кількісних показників.

Інтенсивність зношування насосів залежить від характеру руху твердих часток у проточному каналі й інтенсивності впливу останніх на стінки їхнього каналу. По цих ознаках деталі установок можна підрозділити на наступні групи: деталі, що зношують у результаті контакту з основним потоком гідросуміші (робоче колесо, равлик або відвід), і деталі, що зношують у результаті перетікання пульпи усередині насоса (бронедиски, ущільнювальні кільця й ін.). Були досліджені деталі першої групи, експлуатовані в різних умовах.

Для здійснення наведеного в даній главі комплексу досліджень по зношуванню деталей ґрунтових насосів у ВНІІНеруді побудована експериментальна база, що дозволяє вивчати антиабразивні якості розглянутих установок як на моделях, так і безпосередньо на промислових зразках насосів з витратою від 150 до 2000 м³/ч.

Експериментальна база має 2 великих і 2 малих стенди для випробувань ґрунтових насосів.

Великі стенди землесосних установок побудовані по проекту ГПІ «Проектгідромеханізація» і розраховані на максимальну витрату досліджуваних насосів до 2000 м³/год при номінальній потужності електродвигуна 250 і 600 кВт із напругою 380 і 6000 В.

Стенд (Рис. 7) складається із залізобетонного зумпфа ємністю близько 60 м³, нижня частина якого має форму усіченого конуса, пульпопроводу діаметром 300 і 400 мм, системи перемикачів для відбору робочого потоку гідросуміші в мірні ємності обсягом 4 м³ і контрольно-вимірювальної апаратури.

Досліджуваний насос 10Гру-8т забирав із зумпфа 5 гідросуміш і перекачував її по пульпопроводу 3. Робоча рідина транспортувалася ґрунтонасосом по системі пульпопроводу в компенсаційний бак 6, з якого вливалася назад у той же зумпф.

Компенсаційний бак розташовувався над зумпфом і мав призначення регулювати баланс витрати засмоктуваної насосом і вступника назад у зумпф робочої рідини при відборі останньої в мірну ємність 8. Наповнення компенсаційного бака регулювали шиберною заслінкою так, щоб під час перемикання потоку в мірну ємність робоча рідина з компенсаційного бака продовжувала безупинно перетікати в зумпф, завдяки чому рівень води в зумпфі залишався практично постійним.

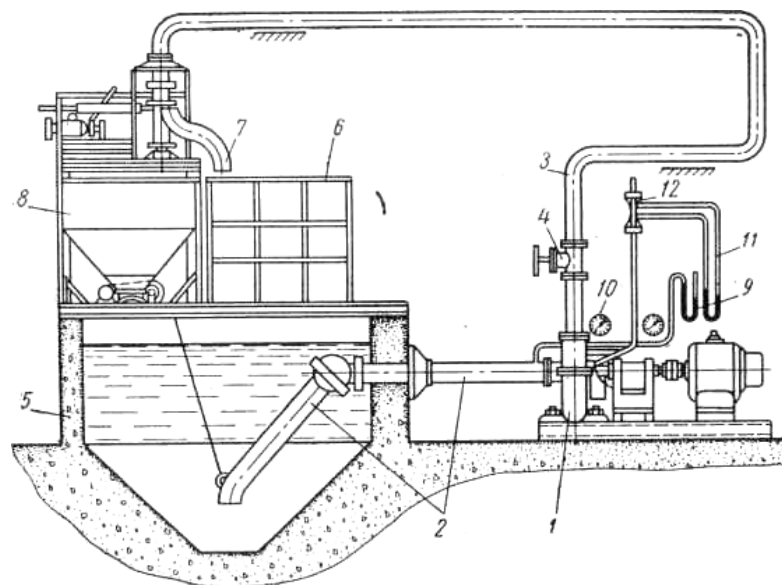


Рис. 7. Стенд для випробувань великих землесосних установок

Для перемикання потоку в мірну ємність на викидному кінці пульпопровода передбачений чепцевий шарнір, що дозволяє повертати навколо вертикальної осі патрубков 7. З метою автоматичного фіксування часу наповнення мірних ємностей він був заблокований з електричним секундоміром ПВ-53 Л.

Подачу води в ущільнювальні зазори між робочим колесом і бронедисками, а також на чепцеве ущільнення досліджуваного ґрунтонасоса здійснювали за допомогою насоса ЗК-6, витрату якого визначали витратоміром «Вентурі» 12 по перепаду тиску, заміряному диференціальним манометром ДТ-50.

У процесі роботи мулисті частки роздрібненого ґрунту виносилися із зумпфа через зливальну трубу надлишковим потоком, утвореним у циркуляційній системі стенда внаслідок подачі води в ущільнювальні зазори ґрунтонасоса.

Напір досліджуваного насоса заміряли зразковим, а вакуум - ртутним манометрами. Споживану насосом потужність визначали за показниками контрольно-вимірювальних приладів ДО-50. Число обертів робочого колеса насоса вимірювали строботометром СТ-МЭ. Витрату ґрунтонасоса визначали об'ємним, а консистенцію гідросуміші - об'ємно-вагарням способами.

З електродвигуна потужністю 160 кВт, з'єднаного із ґрунтовим насосом 10Гру-8т, знімали електричну характеристику, у результаті якої отримані графічні залежності впливу навантаження на к. к. д. двигуна.

Малі стенди землесосних установок призначені для досліджень як промислових насосів порівняно малих розмірів, так і модельних установок. Ці стенди являють собою лабораторну установку, що працює по системі відкритої циркуляції робочого потоку.

На (Рис. 8) показаний стенд по дослідженню абразивного зношування промислових зразків ґрунтових насосів. Досліджуваний насос засмоктував робочу рідину із зумпфа 3 і по напірному пульпопроводу 4 діаметром 100 мм повертав її назад у зумпф обсягом 4,5 м³.

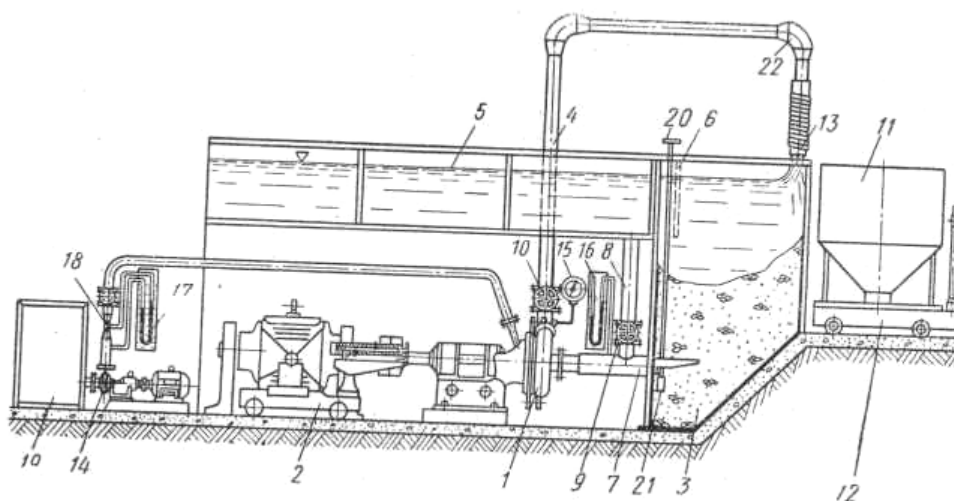


Рис. 8. Лабораторна установка для досліджень абразивного зношування малих насосів

Угорі зумпф з'єднувався з горизонтальним лотком 5, що у значній мірі збільшував розміри зумпфа в плані, що дозволяло підтримувати в ньому рівень води під час відбору робочого потоку в мірну ємність майже постійним. Поворотом гнучкого шланга 13, що перебуває на викидному кінці пульпопровода, робоча рідина направлялася в мірну ємність 11, розташовану на товарних вагах 12. Із зумпфа ґрунт забирався через усмоктувальну трубу 7 діаметром 125 мм, що за допомогою відвідної труби 8 сполучалася з горизонтальним лотком.

З метою подачі води для промивання чепцевого ущільнення вала досліджуваного насоса використали насос 14 типу ЗК-6. Для визначення величини витрати останнього використався витратомір «Вентури», перепад тиску в якому визначався диференціальним манометром 17.

Напір і висоту усмоктування насоса під час проведення експериментів визначали відповідно зразковим і ртутним манометрами 15 і 16, а споживану насосом потужність мотор-вагами 2. Витрата насоса,

як і в попередньому випадку, визначали об'ємним, а консистенцію гідросуміші - об'ємно-вагарням способами. Час відбору проби в мірну ємність визначали звичайним секундоміром.

Лабораторна установка працювала в такий спосіб. Перед запуском насоса заслінкою 21 закривали вхідний отвір усмоктувальної труби 7 шляхом підняття важеля 20. Потім у зумпф засипали визначений по гранулометричному складу ґрунт у кількості, необхідному для завалу їм отвору усмоктувальної труби. Потребну кількість ґрунту в цьому випадку оцінювали візуальним спостереженням через прозору частину стінки в зумпфі з органічного скла. Перед експериментами зумпф із горизонтальним лотком повністю заливали водою. Потім насос запускали в роботу при повністю відкритій засувці 9.

У цьому випадку насос працював на воді. Дроселюванням засувки 10 можна було змінювати витрату насоса, необхідний для зняття його робочої характеристики. Для перекладу роботи насоса на гідросуміш у зумпфі відкривали вхідний отвір усмоктувальної труби шляхом опускання заслінки. Регулюванням ступеня відкриття заслінки 21 і засувки 9 міняли співвідношення води, що надходить до насоса з горизонтального лотка, й засмоктуваного із зумпфа ґрунту.

Консистенцію гідросуміші контролювали відбором проби в мірну ємність 11.

Розглянутий спосіб дозволив у процесі проведення досвідів підтримувати консистенцію гідросуміші, що надходить у ґрунтовий насос, у заданих межах. Відхилення консистенції гідросуміші в досвідах від середньої її величини склало 10-15%.

Під час роботи насоса частки твердого компонента гідросуміші роздрібнюються й гублять свої абразивні властивості. Тому для відновлення втрачених абразивних властивостей ґрунту роздрібнені його частки повинні віддалятися із циркуляційної системи й додаватися нові порції ґрунту.

Для цієї мети служив горизонтальний лоток, куди попадали дрібні частки ґрунту й відстоювалися там. Після кожного експерименту лоток очищали від дрібних часток, що потрапили. З метою запобігання влучення в лоток великих часток перед входом у нього встановлювали сітку 6 з розміном осередків 2,5×2,5 мм. У міру потреби в зумпф додавали нові порції ґрунту.

Слід зазначити, що дослідження абразивного зношування ґрунтових насосів є трудомісткою роботою, що вимагає порівняно більших засобів і часу. При роботі на абразивних гідросумішах зношуванню піддаються не тільки досліджувані деталі насоса, але й окремі частини самого експериментального стенда. Причому найбільш інтенсивному зношуванню піддаються дросельні засувки й коліна.

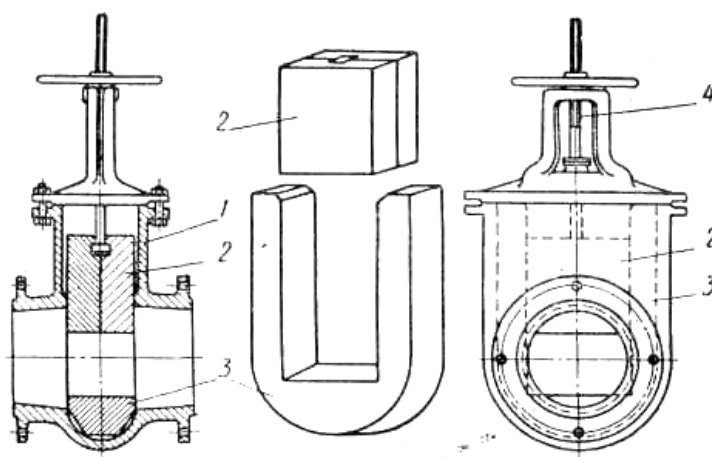


Рис. 9. Модернізована засувка «Лудло» для абразивної гідросуміші

Малий термін служби часто змушував переривати експерименти для заміни зношених деталей,

З метою підвищення довговічності експериментальної установки в стенді застосовували коліна 22 зі збільшеним діаметром стосовно прямих ділянок пульпопровода. Це дозволило знизити швидкість потоку гідросуміші й збільшити тим самим термін служби колін в 5-10 разів. Для підвищення терміну служби засувок «Лудло», використовуваних на експериментальних стендах, були виготовлені змінні частини проточного їхнього каналу.

На (Рис. 9) показана модернізована засувка «Лудло» зі змінними деталями. У корпус 1 вставляли захисний вкладиш 3, що охороняє корпус засувки від впливу на нього абразивних часток. Для дроселювання потоку гідросуміші в напрямні пази захисного вкладиша вставляли затвор 2, що представляє масивну деталь із товстими стінками, що кріпилася до гвинтового штока 4. Це дозволяло зношені частини порівняно легко й швидко замінити новими.

Іноді змінні частини засувки наплавляли зносостійкими сплавами. Термін служби таких засувок збільшився в 6-8 разів.

Зношування робочих поверхонь каналу насосів носить нерівномірний характер. Все зношування можна підрозділити на загальний і місцевий. Перший з них розподіляється по всій поверхні проточного каналу, а другий концентрується на окремих ділянках.

Другий з названих видів зношування викликає швидка поява наскрізних отворів у деталях і зміна довжини й форми лопаток, що є основною причиною малої довговічності розглянутих машин. Загальне зношування, поширюючись по всій поверхні каналу, є основною причиною порівняно великої втрати останніми металу.

На характер зношування деталей насоса істотно впливає крупність ґрунту, що він переробляє. При роботі на піщаних ґрунтах найбільш інтенсивному зношуванню піддаються одні елементи проточного каналу, а на гравійних - інші.

Розглянемо результати досліджень характеру зношування досліджуваних деталей при переробці як порівняно дрібних, так і великих ґрунтів.

При роботі на піску. Вивчення характеру зношування деталей насосів проводили в лабораторних, стендових і виробничих умовах як самостійно, так і паралельно з іншими завданнями досліджень.

Як модельна установка був досліджений насос 5Гр-8, стендової - насоси 10Гру-8т і 12Гр-8 і у виробничих умовах був випробуваний насос 500-60.

Насос 5Гр-8 з деталями проточної частини зі сталі 55Л мав діаметр робочого колеса 325 мм, що обертається із числом обертів 1460 у хвилину. Він переробляв піщану гідросуміш із середньої крупністю зерна твердого компонента 0,5 мм. Дослідження проводили в лабораторних умовах при роботі в оптимальному режимі з витратою 56 л/сек.

Як установлено, граничне зношування колеса наступило після пропуску насосом 310, а равлика — 480 м³ піску (20—30 годин роботи). Найбільш інтенсивному зношуванню, в робочому колесі, піддався задній диск. Поява в ньому наскрізних отворів визначило такий порівняно малий термін служби розглянутої деталі. Передній диск і лопатки піддавалися незначному зношуванню. Тому з метою доведення до граничного зношування лопат після реставрації заднього диска дослідження були продовжені. Вони показали, що найбільш інтенсивному зношуванню в лопаток піддаються вихідні крайки, особливо в місцях сполучення їх із заднім диском.

При граничному зношуванні лопат товщина їх зменшилася на 40-50%, а діаметр розташування вихідних їхніх крайок з боку заднього диска колеса - на 20-25%.

Інтенсивне зношування заднього диска колеса можна пояснити порівняно великою концентрацією абразивних часток у зоні його розташування.

Висока інтенсивність зношування вихідних крайок лопат може бути пояснена порівняно більшими їхніми окружними швидкостями й відносно високими швидкостями руху абразивних часток на виході з колеса, де концентрація цих часток досить висока.

З метою одержання наочної картини характеру абразивного зношування було випробувано експериментальне робоче колесо з розбірними елементами, виготовленими з нестійкого до зношування матеріалу - алюмінію. На (рис.10) показане таке колесо в зношеному стані.

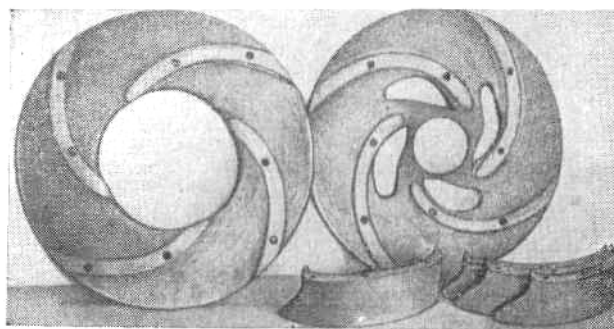


Рис. 10. Характер абразивного зношування окремих елементів проточного каналу робочого колеса насоса 5Гр-8

Ліворуч - передній, а праворуч - задній диски розбірного робочого колеса, виготовлені з алюмінію. Обидва диски мають однакову товщину.

Поява наскрізного зношування в задньому диску визначило ресурс роботи колеса в цілому. Передній диск і лопатки його зношені незначно й придатні до подальшої роботи.

Зношування равлика насоса мало загальний і місцевий характер. Перший вид зношування спостерігався по всьому проточному каналі деталі, а другий - у розрахунковому перетині. Критерієм для визначення граничного терміну служби равлика служила поява наскрізного зношування її стінки в розрахунковому перетині. При граничному зношуванні равлик може втрачати 30-40% своєї первісної ваги.

Найменше зношування деталі в початковому, а найбільший - у розрахунковому перетині її проточного каналу пояснюється розходженням швидкостей потоку гідросуміші. Периферійна стінка равлика особливо в її розрахунковому перетині зношувалася інтенсивніше, ніж бічна стінка. Обидві стінки початкового перетину каналу мали майже однакове зношування.

У насоса 10Гру-8т досліджувалися робочі колеса й равлики, виготовлені зі сталі 55Л. Цей насос мав робоче колесо діаметром 700 мм, що обертається із числом обертів 730 у хвилину. Стендові випробування насоса проводили на піску із середньої крупністю зерен 1,5 мм в оптимальному режимі роботи з витратою 220 л/сек.

Найбільш інтенсивному зношуванню піддалися задній диск і вихідні елементи лопаток. Вихідні елементи лопаток по ширині колеса найбільше інтенсивно зношувалися в місцях сполучення їх із заднім диском. При граничному зношуванні товщина лопаток зменшилася на 40-50%, а діаметр розташування вихідних їхніх крайок у заднього диска - на 18-22%.

Найбільш інтенсивне зношування внутрішнього корпусу равлика насоса спостерігався в розрахунковому перетині каналу. Периферійна стінка каналу зношувалася трохи інтенсивніше, чим бічна. Втрата металу склала при зношуванні: колеса 32%, а внутрішнього корпусу - 35%.

Виробничі випробування насоса 500-60 на піщаних ґрунтах із середньої крупністю зерен 0,9 мм показали аналогічний двом попереднім насосам характер зношування елементів проточного каналу. Найменш стійкими до зношування в насоса виявилися вихідні крайки лопаток і задній диск колеса. Равлик насоса піддавався інтенсивному місцевому зношуванню в розрахунковому перетині каналу в районі сполучення його з напірним патрубком.

При граничному зношуванні колеса товщина лопаток у середній їхній частині (по діаметрі колеса) зменшилася на 30-40%. У напрямку виходу з колеса ці елементи зношувалися з наростаючою інтенсивністю. Найменша товщина лопаток спостерігалася у вихідних їхніх крайок. Втрата металу через зношування деталей розглянутого насоса склала в робочого колеса 34%, а в равлика - 40%.

Таким чином, при переробці піщаних ґрунтів найбільше сильно зношуються вихідні елементи лопаток і задній диск колеса. У каналі

равлика насоса місцеве зношування спостерігається в розрахунковому її перетині.

На дрібних піщаних ґрунтах периферійні й бічні стінки каналу равлика зношуються майже з однаковою інтенсивністю. Зі збільшенням крупності зерна твердих часток інтенсивність зношування периферійних її стінок збільшується.

При роботі на гравійних ґрунтах.

Вивчення зношування деталей при переробці сильноабразивних гравійних ґрунтів проводили з насосами 5Гр-8, 10Гру-8т і 12Р-7. Випробування перших двох насосів проводили в лабораторних і стендових умовах. Насос 12Р-7 випробовували при вивантаженні піщано-гравійної суміші з річкових барж.

Насос 5Гр-8 мав такі ж розміри деталей проточного каналу, як і в раніше розглянутому випадку. Зношування вивчали на гравії із середньої крупністю часток 8,5 мм.

На (Рис.11) показаний характер зношування робочого колеса насоса. Задній диск піддається більшому зношуванню, чим передній. Він має як загальний, так і місцевий характер зношування. Останній проявляється у вигляді наскрізних отворів у задньому диску.

Лопатки колеса піддаються найбільш інтенсивному зношуванню з боку входних їхніх крайок. Вихідні крайки лопаток у розглянутому випадку зношуються незначно. Мале зношування лопаток на виході з колеса пояснюється кінематикою руху порівняно великих абразивних часток у міжлопаточному просторі колеса. Абразивні частки виходять із колеса під більшим кутом, чим кут виходу лопат. Тому вони не можуть впливати на вихідні елементи лопаток.

На (Рис.12) показаний характер абразивного зношування равлика розглянутого насоса. Найбільшому абразивному зношуванню піддаються периферійні стінки каналу, особливо в розрахунковому перетині II. Бічні стінки залишаються малозношеними. З малюнка видно, що інтенсивність зношування периферійних стінок також не залишається постійної. Починаючи від перетину 1 і до самого напірного патрубку равлика зношування їх зростає.

Найбільше зношування їх, що виразилося в появі наскрізних отворів, спостерігається в розрахунковому перетині равлика. Це можна пояснити підвищенням швидкості руху абразивних часток у равлику в напрямку потоку гідросуміші до напірного її патрубка.

Візуальний огляд проточного каналу равлика показав, що зношені елементи мають рівну поверхню. Вона покрита численними дрібними вибоями у вигляді лунок, що свідчать про удар абразивних часток.

Насос 10Гру-8т досліджували в стендових умовах при переробці гравію середньої крупності 11 мм. Характер абразивного зношування його деталей залишався аналогічний характеру зношування насоса 5Гр-8.

У робочого колеса задній диск зношувався інтенсивніше переднього, а лопатки піддавалися швидкому зношуванню з боку вхідних крайок. На поверхнях, що зношувались, спостерігалися вибої в металі у вигляді лунок.

Равлик насоса найбільш інтенсивному зношуванню піддавався в розрахунковому перетині каналу. Периферійні її стінки, особливо в розрахунковому перетині, піддавалися значно більшому зношуванню, чим бічні. Напірний патрубок равлика мав рівномірний по окружності характер зношування.

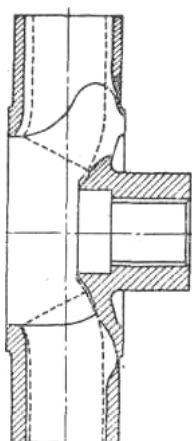


Рис. 11. Характер зношення робочого колеса насоса 5Гр-8 при роботі на гравії:

Штриховими лініями позначені контури проточного каналу нового, а суцільними — зношеного колеса. Нижня половина колеса відповідає перекачці 480, а верхня — 990 т гравію. У другому випадку кількість перекачаного ґрунту приймали з урахуванням реставрації заднього диска колеса

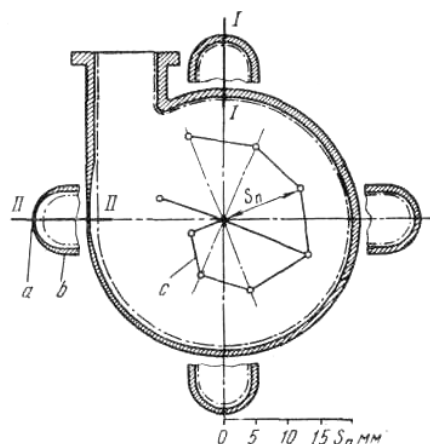


Рис. 12. Характер зношення равлика насоса 5Гр-8 при роботі на гравії:

I-а II — відповідно початковий і розрахунковий перетин каналу равлика; а и б — відповідно периферійна й бокова стінки равлика; с, σ_n — відповідно епюра зношення і товщина стінки а в різних її перетинах. Для виявлення товщини стінки а внизу приведена шкала, яка відноситься до епюри зносу. Штрихпунктирні лінії відповідають новому равлику, а суцільні — зношеному.

Насос 12Р-7 був випробуваний на піщано-гравійному ґрунті зі змістом гравію до 20%. Випробування показали, що найбільш інтенсивному зношуванню в робочому колесі, як і у двох попередніх випадках, піддаються вхідні крайки лопаток, а в равлику насоса швидке зношування стінок каналу відбувається в розрахунковому її перетині. Зношування периферійних стінок відбувалося значно сильніше, чим бічних.

Таким чином, дослідження виявили характер абразивного зношування деталей насосів при роботі як на піщаних, так і на гравійних ґрунтах. Вони свідчать про істотний вплив крупності ґрунту, що переробляється, на перерозподіл місць інтенсивного зношування проточного каналу насоса. При переробці дрібних піщаних ґрунтів найбільш інтенсивному зношуванню піддаються вихідні елементи лопат, а при переробці гравійних ґрунтів - вхідні. Крім того, крупність ґрунту значно впливає на співвідношення величини зношування периферійних і бічних стінок каналу равликів. Великі абразивні частки викликають інтенсивне зношування перших з названих елементів, а дрібні піщані ґрунти сприяють більш-менш рівномірному зношуванню всього каналу равликів.

Як піщані, так і гравійні ґрунти викликають більше зношування заднього диска колеса, чим переднього (з боку внутрішньої їхньої частини). В обох випадках найбільш інтенсивному зношуванню піддаються равлики в розрахунковому їхньому перетині.

Наявність у проточному каналі ґрунтових насосів місць із підвищеною інтенсивністю їхнього абразивного зношування знижує термін служби тієї або іншої деталі в цілому.

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ НАЙБІЛЬШ ЗНОШУВАНИХ ДЕТАЛЕЙ. РАВЛИК (ВНУТРІШНІ КОРПУСИ).

Абразивне зношування цих деталей не викликає помітного зниження енергетичних показників насосів. Однак підвищення їхньої зносостійкості має першорядне значення. Це викликано труднощами заміни зношених деталей новими, порівняно більшими витратами засобів і непродуктивних простоїв усього технологічного встаткування.

Проведені дослідження показали, що форми каналу й конструкції сучасних равликів недостатньо досконалі. Це підтверджується тим, що

більші швидкості потоку гідросуміші в їхньому каналі й особливо в розрахунковому перетині викликають інтенсивне зношування деталей, наявність циркуляційних мас потоку гідросуміші викликає додаткове зношування равликів, а окремі елементи їхнього каналу не відповідають вимогам рівностійкості до зношування. Природно, удосконалення конструкцій равликів повинне бути спрямоване на усунення цих недоліків.

Зниження швидкості потоку гідросуміші в місцях інтенсивного зношування каналу равликів. Тому що зношування пропорційне кубу швидкості, то одним з основних напрямків у підвищенні терміну служби равликів є зниження швидкостей потоку гідросуміші.

Швидкість потоку гідросуміші можна знизити шляхом збільшення площі перетину каналу деталей. Однак цей захід може викликати додаткові гідравлічні втрати в насосі. Рекомендується знижувати швидкість потоку в равлику не у всьому перетині каналу, а тільки в районі розміщення периферійної стінки шляхом зміни форми перетину. Воно досягається збільшенням радіального розміру перетину равлика за рахунок зменшення ширини його до розміру, близького до ширини робочого колеса. Таке конструктивне рішення дає можливість підвищити термін служби розглянутих деталей приблизно на 30%. Крім того, у цьому випадку вдало вирішується питання сполучення поверхонь дисків робочого колеса й равлика, що дозволяє намітити шляхи зниження циркуляційних мас потоку в розглянутій деталі.

Зниження циркуляційних мас потоку гідросуміші. Равлики в початковому перетині мають порівняно більші прохідні розміри, які визначаються безперешкодним пропуском умовної кулі діаметром, рівним ширині колеса b_1 (Рис.13). У цьому випадку равлики, у яких ширина каналу в початковому його перетині не перевищує ширину колеса, будуть мати найменший циркуляційний потік стосовно інших конструкцій равликів.

На (Рис.13) наведені характерні конструкції ґрунтонасосів. У третьому варіанті конструкції площа початкового перетину значно менше.

Таким чином, вона в меншому ступені, чим інші, сприяє утворенню циркуляційних мас потоку гідросуміші. Це свідчить про порівняно кращі її антиабразивні якості.

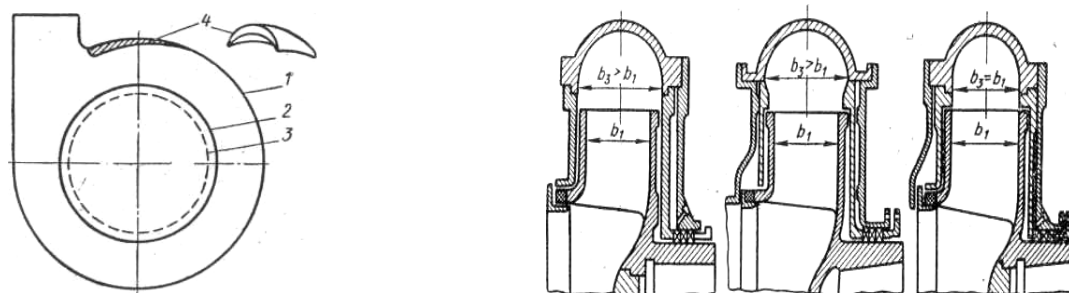


Рис. 13. Характерні конструкції каналу ґрунтових насосів:

b_1 , и b_3 — ширина відповідно робочих колес і рагликів; 1 — раглик насоса з компенсуючою вставкою; 2 и 3 — контури діаметру відповідно нормального і обточеного колеса; 4 — компенсуюча вставка

Іноді для розширення області використання ґрунтових насосів обточують робочі колеса по зовнішньому діаметрі, а потім використовують ці деталі в тій же самому раглику. З аналізу існуючих конструкцій виявлено, що при гранично припустимому обточуванні робочих коліс на 10-15% збільшення перетину каналу раглика в районі рівчака циркуляційних мас гідросуміші може досягати 25-30%. Таке велике збільшення площі початкового перетину каналу раглика викликає додаткова витрата циркуляційних мас абразивної гідросуміші, що сприяє підвищенню зношування.

З метою усунення цього недоліку доцільно в початковому перетині вставляти відповідній формі каналу раглика компенсуючу вставку, як це показано на (рис 13). Товщина її повинна відповідати величині обточеної частини колеса.

Створення робочих коліс із рівностійкими до зношування елементами. Як показали дослідження, що існуючі конструкції робочих коліс не відповідають вимогам рівностійкості до зношування окремих своїх елементів. Так, задній диск їх зношується швидше переднього, а ресурс роботи лопаток не відповідає терміну служби заднього диска. Ці всі фактори тісно пов'язані з фізичною сутністю процесу руху абразивних часток у каналі насоса. Тому усунути їх повністю не представляється можливим.

За даними літературних джерел, інтенсивність зношування заднього диска можна трохи знизити за рахунок раціональної форми

меридіонального перетину робочого колеса. Однак і в цьому випадку абразивні частки продовжують переважно впливати на задній диск.

Таким чином, задній диск колеса піддається більшому впливу абразивних часток, чим передній. Тому для рівності до абразивного зношування заднього й переднього дисків товщина першого повинна бути більше другого.

Підвищення терміну служби робочих коліс шляхом зниження відносної швидкості абразивних часток. Дослідження кінематики руху великих абразивних часток (гравію) у насосі показали, що відносна швидкість їх у момент удару об вхідні крайки лопаток близька по величині окружної швидкості останніх. Природно, для підвищення терміну служби лопаток необхідно знизити окружну швидкість вхідних їхніх крайок і в першу чергу тієї частини, що прилягає до заднього диска колеса.

Окружну швидкість вхідних крайок лопат можна знизити двома способами: зниженням числа обертів робочого колеса й зсувом при проектуванні розглянутих елементів на окружності менших діаметрів. Перший із цих способів відноситься до режиму експлуатації насосів, а другий - до конструювання робочих коліс.

Відомо, що переміщення вхідних елементів лопаток до осі насоса паралельно вихідному їхньому положенню, через звуження площі входу в міжлопаточний канал пов'язане з деяким зниженням кавітаційних якостей насоса. Тому цей спосіб можна застосовувати в обмежених межах. Ці межі можна трохи розширити, якщо переміщати на менші діаметри тільки частина вхідної крайки, що розташовується в заднього. диска колеса, зберігаючи незмінним положення її у переднього диска. У цьому випадку вхідні елементи лопаток здобувають різко виражену форму косих крайок. Робочі колеса з такою формою вхідних крайок лопат мають підвищені антиабразивні якості.

Випробувано на зношування колесо насоса 10Гру-8т з новим варіантом розташування їхніх крайок. У цього колеса вхідні крайки лопаток були зміщені на 50 мм, у заднього диска на окружність меншого, а в переднього диска — на окружність більшого діаметра. Це дало можливість не тільки перемістити швидкозношувані частини лопаток у зону менших окружних швидкостей, але й дозволило при цьому зберегти колишніх розмірів площу входу в міжлопаточний канал і прохідні

розміри колеса. Тому що вхідні елементи лопаток у переднього диска піддаються малому впливу абразивних часток і працюють у зоні потоку гідросуміші, абразивні частки в якого віджаті до заднього диска, то переміщення їх на окружності більшого діаметра не викликало побоювання в істотному підвищенні інтенсивності їхнього зношування. Таке розміщення вхідних елементів лопат не знижувало припустимої висоти усмоктування.

Така модернізація дозволила збільшити довжину тієї частини лопатки, що найбільше інтенсивно піддається зношуванню, створивши як би запас металу на зношування. Дійсно, якщо у звичайного колеса діаметр розташування вхідних крайок лопат у заднього диска мав величину $D_3=252$ мм, то в нового $D_3 = 202$ мм.

Як показали випробування, модернізоване в такий спосіб колесо пропустило 8,7 тис. м³ гравію, у той час як звичайне переробило лише 5,6 тис. м³.

Досліди свідчать про те, що форма вхідних крайок лопат впливає на підвищення терміну служби робочих коліс, експлуатованих в умовах переробки гравійних ґрунтів. Підвищення довговічності розглянутих деталей у цьому випадку можна домогтися за рахунок зниження окружних швидкостей швидкозношуваних елементів лопат і збільшення довжини останніх у зоні інтенсивного впливу на них абразивних часток.

Застосування зносостійких матеріалів для ґрунтових насосів є ефективним заходом у підвищенні довговічності землесосного встаткування.

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ҐРУНТОВИХ НАСОСІВ.

Основними завданнями по підвищенню довговічності ґрунтових насосів є вибір раціональної конструкції насосів і вибір методів підвищення їхньої зносостійкості.

Застосування покриттів з абразивних матеріалів. Застосування покриттів з абразивних матеріалів для підвищення терміну служби деталей насосів знаходить застосування як у закордонній, так і у вітчизняній практиці.

Розроблено й освоєна технологія виготовлення корундированих ґрунтонасосів 8Грк-8 і 5Грк-8. З метою збільшення терміну служби цих

насосів їхній проточний канал покривають футеровкой шаром товщиною 30 мм, що складається із суміші електрокорунда певного гранулометрического состава й бакелітового лаку. Футеровки равликів здійснюється в прес-формах (Рис. 14) і після термічної обробки вона здобуває підвищену зносостійкість.

З метою виявлення зносостійких якостей були проведені порівняльні випробування дослідно-промислового корундированого ґрунтонасоса 8Грк-8 і насоса 8Гр-8т, у якого деталі виготовлені з високохромистого чавуну ИЧХ30Н2.

Обидва насоси працювали в однакових умовах на переробці роздрібненої в кульових млинах мідно-молібденової руди.

Тому що у випробуваних насосах установлювали однакові робочі колеса зі сплаву ИЧХ30Н2, то при порівнянні зносостійких якостей насосів у розрахунок приймали термін служби равликів у першому випадку корундированної, а в другому - звичайної, зі згаданого вище сплаву. У табл. 7.2 наводяться дані випробувань цих насосів.

Для порівняння зношування корундированого равлика зі звичайної в таблиці наведена відносна зносостійкість.

Якщо для равлика насоса 8Гр-8т прийняти відносну зносостійкість за одиницю, то для равлика насоса 8Грк-8 вона складе 3,56.

Таким чином, зносостійкість корундированого равлика більш ніж в 3 рази вище зносостійкості равлика зі сплаву ИЧХ30Н2. При цьому вартість насоса, футерованого корундом, усього лише на 17% вище звичайного.

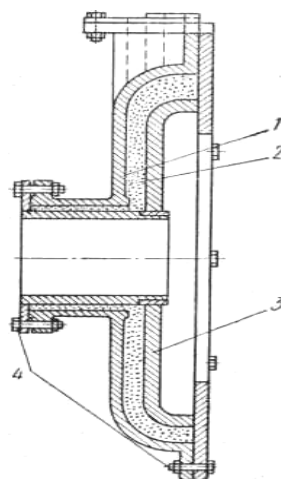


Рис. 14. Прес-форма для корундування внутрішнього каналу равликів ґрунтових насосів:

1 — равик; 2 — абразивне покриття (футеровка);

3 — прес-форма; 4 — зажимні болти

Використання зносостійкого сплаву 300Х12М. Розглянутий вище сплав ИЧХ28Н2, що широко застосовується в насособудуванні, як відомо, важко піддається механічній обробці на металорізальних верстатах. Його можна проточувати лише з малою швидкістю різання (8—10 м/хв), а нарізати різьблення на деталях із цього сплаву й довбати шпонкові канавки взагалі неможливо. Електроерозійна обробка його часто приводить до утворення тріщин, що знижує механічну міцність деталей.

У ВНІПТУглемаші розроблений сплав 300Х12М. Він при відповідній термічній обробці (відпал при температурі 860—880° С) здобуває властивості, що дозволяють застосовувати механічну обробку.

Швидкість різання сплаву в цьому випадку підвищується приблизно в 3 рази в порівнянні зі сплавом ИЧХ28Н2. Після механічної обробки деталі зі сплаву 300Х12М піддають загартуванню й наступній їхній відпуску. Загартування здійснюють шляхом нагрівання сплаву до температури 920—940° С и певної витримки його при цих умовах. Відпуск деталей здійснюється при температурі 200° С на протязі 2 год.

Випробування деталей насосів 8Гр-8М зі сплаву 300Х12М на збагачувальній фабриці Ново-Криворізького гірничо-збагачувального комбінату показали, що при перекачуванні гідросуміші, що містить абразивні частки крупністю 0,07—0,5 мм, термін служби насоса підвищився в 1,4 рази в порівнянні з насосом зі сплаву ИЧХ28Н2.

Були проведені випробування бронецилиндрів насоса 8НЗУ зі згаданого сплаву, що працює в більше важкі по абразивності умовах. Розроблювальний земснарядом кар'єр складався із ґрунту IV категорії зі змістом гравію близько 40%. По даним цього інституту, згадані деталі зносилися після пропуску насосом 60 тис. м³, у той час як цієї ж деталі зі звичайної сталі зношувалися після переробки 5—6 тис. м³ такі ж ґрунти. Інститутом відзначена дефектність лиття дослідних деталей, на поверхні яких були виявлені тріщини.

Слід зазначити, що бронецилиндри майже не відчують ударних навантажень валунів і великоуламкового матеріалу. Вони в основному піддаються стиранню під дією абразивних часток, що попадають у зазори між розглянутими деталями й зовнішньою частиною дисків робочого колеса. Тому бронецилиндри не є характерними деталями, по випробуванню яких можна було б судити про зносостійкість інших відповідальних детал-робочих коліс і равликів. Для всебічної перевірки зносостійких

властивостей сплаву 300Х12М стосовно до ґрунтових насосів доцільно виготовити дослідницькі зразки робочих коліс і равликів і випробувати їх у різних виробничих умовах.

Використання сталі 40ХГСНЛ. ВНІІГідромашем для деталей проточного каналу ґрунтових насосів рекомендована сталь 40ХГСНЛ. Для підвищення зносостійкості сталь піддається термічній обробці.

Були проведені випробування робочого колеса насоса 20Р-11, вставні лопатки якого були відлиті із цієї сталі. Насос працював на сильноабразивних ґрунтах зі змістом гравію 35%. За звітними даними термін служби досліджуваного колеса підвищився в 1,3 рази стосовно звичайного робочого колеса зі сталі 35Л. За даними літературних джерел, ця сталь в аналогічних умовах може підвищити термін служби деталей насосів до 3 разів. Таким чином, розглянута сталь становить певний інтерес для виготовлення деталей ґрунтових насосів.

Використання сталі Г13Х2Л. Сталь Г13Х2Л знаходить широке застосування для деталей машин, що піддаються ударним навантаженням. За замовленням ВНІІНеруду були відлиті лопатки насосів 5Гр-8, 10Гру-8т і 20Р-11МР із зазначеної сталі для випробувань.

Випробування робочих коліс зі зносостійкими лопатками для насосів 5Гр-8 і 10Гру-8т проводилися на стендах у ВНІІНеруді при перекачуванні ґрунтів різного гранулометричного складу, у тому числі й гравію крупністю 10—20 мм. Крім того, з насосом 10Гру-8т проводили спеціальні випробування по перевірці роботи колеса на валунах розміром 100—150 мм. Як показали випробування, термін служби лопаток з розглянутої сталі підвищився більш ніж в 3 рази стосовно лопаток, зі звичайної сталі 55Л.

Таким чином, приклади використання матеріалів 300Х12М, 40ХГСНЛ і Г13Х2Л свідчать про те, що вже є можливість істотно підвищити термін служби ґрунтових насосів, що працюють у важких абразивних умовах. Для виявлення області використання розглянутих вище матеріалів необхідно виготовити з них промислові зразки насосів і випробувати їх у різних умовах, у тому числі й при роботі на сильноабразивних гравійних ґрунтах з великими включеннями.

Термічна обробка деталей зі сталі 55Л. У насособудуванні широко застосовується якісна сталь 55Л твердістю 200—230 кгс/мм². Із цієї сталі звичайно виготовляють деталі проточного каналу ґрунтових насосів.

Для підвищення твердості, а отже, і зносостійкості цієї сталі була зроблена відповідна термічна обробка дослідної партії знімних лопаток розбірному колесу насоса 5Гр-8.

Випробування їх у ВНІІНеруді показали, що при переробці ґрунтів крупністю від 0,5 до 17 мм зносостійкість лопаток з термічно обробленої сталі в 2,4 рази вище, ніж зі звичайної.

У такий спосіб розкриваються перспективи підвищення терміну служби деталей насосів, виготовлених зі сталі 55Л, шляхом термічної їхньої обробки. Цей метод простий і не вимагає великих витрат.

Зносостійкі електронаплавки. Машинобудівні заводи більшість ґрунтових насосів випускають із нестійких до зношування сталей. Тому на виробничих підприємствах, де експлуатують ці насоси, змушені тим або іншим способом зміцнювати робочі поверхні їхнього каналу. Найбільше часто в цьому випадку використовується електронаплавка твердими сплавами.

З 30 обстежених гідромеханізованих підприємств на 24 з них відновлення форми зношених деталей насосів робили в основному електронаплавкою крейдовими електродами, а зміцнення їхніх робочих поверхонь - якісними електродами Т-590 і Т-620. Значно рідше використовують електроди ЕТН-1 і ЕТН-2. Для зниження трудомісткості операції часто використовують автоматичне наплавлення порошковим дротом у сполученні з відповідним флюсом і напівавтоматичним наплавленням сталінітовими пластинчастими електродами.

За даними підприємств, розглянутий спосіб дозволяє в 2 і більше рази збільшити термін служби деталей насосів при роботі їх на піщаних ґрунтах, якщо відсутні ударні навантаження великих абразивних часток і валунів.

При роботі на гравії наплавлений шар зносостійкого сплаву досить швидко руйнується й відпадає. Таким чином, розглянутий метод підвищення терміну служби деталей найбільше ефективно використовується для насосів, що працюють на піщаних ґрунтах.

Гуммування деталей насосів. Закордонні фірми наводять дані про те, що термін служби гумованих насосів в 10-50 разів вище, ніж насосів, виготовлених із чавуну. Таких порівняно високих антиабразивних якостей гуми вони звичайно досягають використанням натурального каучуку або певних співвідношень натурального й синтетичного каучуку.

У практиці для **гуммування** деталей піщаних насосів до останнього часу застосовувалася гума 8ЛТИ на основі синтетичного каучуку, що показала порівняно низьку зносостійкість. Знаходить застосування зносостійка гума марок 2566 і 6252 на основі синтетичного й натурального каучуку.

Для випробувань цих гум у ґрунтових насосах ряду «Гр» ВНІІГідромашем був розроблений технічний проект ґрунтового насоса 5Гр-8Гум, призначеного для перекачування абразивної гідросуміші (рис.15). По цьому проекті був виготовлений дослідний зразок насоса 5Гр-8Гум, гумований зносостійкою гумою марки 6252, а ВНІІНеруд випробував його.

Після 568 ч роботи, що відповідало 13639 м³ перекачаного піску, стан гуми був цілком задовільним і насос був придатний до подальшої експлуатації, тому що на його робочих поверхнях були лише невеликі сліди зношування.

Звичайний насос зі сталі 55Л у цих умовах переробляв близько 1600 м³ піщаного ґрунту.

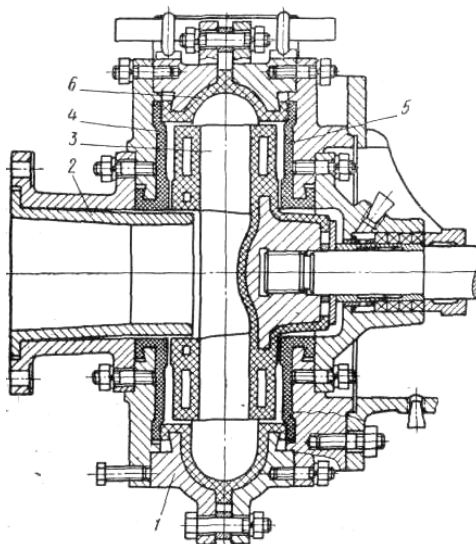


Рис. 15. Гумований насос 5Гр-8Гум

1 і 2 - металеві корпус і патрубок; 3 - гумоване робоче колесо; 4, 5 - знімне гумове облицювання відповідно передньої й задньої кришок насоса; 6 - знімне гумове облицювання внутрішньої частини корпусу.

З викладеного випливає, що насос 5Гр-8Гум, гумований гумою марки 6252, має досить високі антиабразивні якості при переробці піщаних ґрунтів крупністю до 5 мм.

На (рис.16) наведена робоча характеристика насоса 5Гр-8Гум на воді. Його енергетичні показники досить високі й не уступають звичайному насосу цього типу.

Процес покриття робочих поверхонь деталей насоса гумою є поки ще трудомістким, потребуючим спеціальних пристосуванні й складних технологічних прийомів.

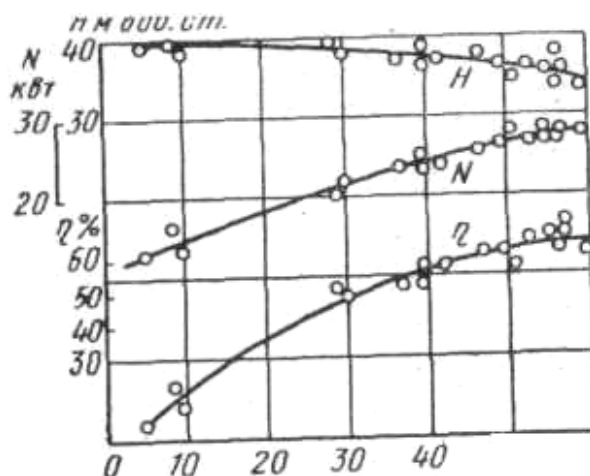


Рис. 16. Робоча характеристика гумованого насоса 5Гр-8Гум:

η - к.к.д.; H - напір; N - споживана насосом потужність

Проточний канал ґрунтових насосів піддається як рівномірному, так і місцевому абразивному зношуванню. Останнє є однією з основних причин порівняно швидкого виходу з ладу деталей насосів. Локальне зношування виникає там, де потік змінює свій напрямок, рухається з великою відносною швидкістю, є зони завихрень або з'являються циркуляційні маси абразивної гідросуміші. Таким чином, з метою підвищення терміну служби насосів необхідно передбачати такі форми їхнього проточного каналу, які могли б протистояти зношуванню або знизити ступінь впливу цих факторів.

Зносостійкі гідравлічні форми каналу насосів. Створення стійких до зношування форм проточного каналу насосів нових марок ряду «Гр» базується на дослідженнях ВНІГІдромаша, що свої експерименти проводив при роботі насосів на піщаній гідросуміші із крупністю твердого компонента 2—4 мм. Розроблені ним зносостійкі форми

деталей насосів можуть задовольняти вимогам зносостійкості при перекачуванні ґрунтів дрібні фракції. Для цих умов роботи кут виходу лопаток робочих коліс насосів ряду «Гр» приймають 20-25%.

По даним Горьківського інституту інженерів водного транспорту цей кут може бути знижений до 10° . Так, у робочого колеса насоса 12Р-7, у якого лопатки були виконані з кутом виходу 10° замість 30° , довговічність підвищилася в 1,8 разів.

З метою зменшення зношування заднього диска робочого колеса; дослідним шляхом підбирається форма меридіонального перетину колеса. Вхідні крайки лопаток цих насосів розташовуються на трохи більших радіусах, де потік при вході на лопатки має менший поворот.

Як показали дослідження ВНІІНеруду, таке розташування крайок лопаток доцільно при роботі на піщаних ґрунтах.

При розробці зносостійких конструкцій равликів необхідно знижувати в них швидкості гідросуміші, особливо в їхньому розрахунковому перетині. Це зрозуміло, тому що величина абразивного зношування пропорційна швидкості потоку гідросуміші в кубічному ступені.

Ця циркуляція викликає додаткове зношування равликів. Однак у силу конструктивної особливості деталі, що полягає в необхідності пропуску нею великих включень розроблювальних ґрунтів, повністю запобігти появі циркуляційного потоку в насосів не вдається. Однак знизити його частково можливо.

Дослідження показують, що рішення цього завдання може підвищити термін служби равликів ґрунтових насосів.

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ.

Дослідження гідроабразивного зношування матеріалів.

Відомо, що характер і інтенсивність зношування матеріалу істотно залежать від умов впливу на нього абразивних часток. Це сильно впливає на довговічність устаткування гідромеханізації в тому числі й ґрунтових насосах. Так, у ґрунтових насосів руйнування вхідних крайок лопат відбувається в основному за рахунок удару про їх абразивних часток, що викликає пластичну деформацію матеріалу у вигляді численних вибоїв і лунок, а механізм зношування вихідних їхніх крайок визначається сколюванням матеріалу або зрізанням мікростружок, про що свідчать численні канавки й ризики на зовнішній поверхні.

Метод дослідження відносної зносостійкості матеріалів за допомогою циліндричних зразків, поміщених у потік гідросуміші, або інші відомі методи не дозволяють досить точно імітувати роботу деталей насосів в умовах порівняно більших ударних навантажень, що зустрічаються при переробці гравійних ґрунтів з валунами. Тому у ВНІІНеруде в минулому проведені досвіди по пошуку стійких до зношування металів для ґрунтових насосів, що працюють у реальних умовах.

Для дослідження було виготовлено розбірне робоче колесо до насоса 5Гр-8 діаметром 325 мм зі знімними лопатками, виконаними з різних металів, зносостійкість яких необхідно було визначити. Перед випробуванням це колесо комплектували чотирма лопатками: одну - зі сталі Ст. 3, що служила еталоном, а три інші - з досліджуваних на зношування інших сталей.

Робоче колесо із вставними лопатками поміщали в насос, установлений на звичайному стенді, що працює по відкритій системі циркуляції потоку гідросуміші.

В іншому розглянута методика не відрізнялася від загальноприйнятої й полягала в зношуванні лопат при перекачуванні насосом абразивної гідросуміші. Величину зношування цих деталей визначали шляхом зважування їх до й після досвіду на вагах з точністю до 0,1 г.

Тому що всі чотири, лопатки випробовували на тому самому робітнику колесі, то роздрібнений у якомусь ступені в процесі роботи ґрунт заміняли на свіжий після завершення кожного циклу експериментів.

Крупність ґрунту в експериментах визначали за середнім значенням розміру його зерен до й після завершення кожного циклу.

Насоси працювали на гравійних ґрунтах крупністю 17-20 мм в оптимальному його режимі. Для експериментів ґрунт брали з того самого штабеля, а потім розсіювали його на сита по фракціях.

Матеріали були обрані на підставі попереднього аналізу їхньої зносостійкості, певної за даними підприємств.

Завдання випробувань складалося у визначенні зносостійкості цих матеріалів стосовно до ґрунтових насосів для переробки великих гравійних ґрунтів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Найкращими антиабразивними якостями володіють сталь Г13Х2Л и сплав ИЧХ28Н2. Трохи меншу стійкість до зношування має сплав ИЧХ16МТ, термічно оброблена сталь 55Л и сталь 70ХЛ, хімічний склад яких приводиться в табл. 11.

Інші матеріали по своїх зносостійких якостях мало відрізняються від сталі Ст.3.

Досліди показують, що для насосів порівняно дрібних розмірів, у яких через малі прохідні перетини каналу включається можливість влучення великих включень ґрунту, поряд зі сталлю Г13Х2Л можуть застосовуватися сплави ИЧХ28Н2 і ИЧХ16МТ.

У цьому випадку їхня зносостійкість у кілька разів вище зносостійкості насосів, виконаних зі звичайної середньовуглецевої сталі 55Л. Для цих умов досить корисною може виявитися термічна обробка сталі 55Л.

Поряд з високими антиабразивними якостями високохромистий чавун ИЧХ28Н2 має й істотні недоліки. Вони полягають у тім, що через велику твердість цього сплаву утруднена його механічна обробка, а при роботі насоса на гідросуміші, що містить великоуламкові включення, механічна міцність його виявляється недостатньою. Так, стендові випробування насоса 12Гр-8т із цього сплаву, проведені у ВНІІнеруді, показали, що влучення в переробляемому ґрунті, навіть одиничних валунів розміром 100-150 мм істотно впливає на міцність деталей насоса. На лопатках виникали тріщини, а потім відколи. Спостерігалися випадки, коли при роботі навіть на піщаних ґрунтах через великий крутного моменту в робочому колесі з'являлися тріщини.

ВНІІГідромаш рекомендує застосовувати для деталей ґрунтових насосів сплав високохромистого чавуну ИЧХ16МТ із добавкою молібдену й титана. Цей сплав вигідно відрізняється попереднього сплаву тим, що у відпаленому стані він краще піддається механічній обробці. Як показали випробування на піщаному ґрунті, він має трохи знижені анти абразивні якості стосовно сплаву ИЧХ28Н2. Цей сплав знаходить застосування при виготовленні піщаних насосів на Уфимському заводі гірського встаткування, що випускає насоси порівняно невеликих розмірів.

Таким чином, для малих насосів зараз не стоїть така гостра проблема в підвищенні строку їхньої служби, як для насосів великих розмірів. Якщо для перших можна використати високохромисті чавуни, то для других ці

сплави не дають таких переваг через недостатню ударну їхню в'язкість. Тому для таких умов ґрунтонасоси змушені виготовляти зі звичайної сталі 55Л, що має низькі антиабразивні якості.

У цьому зв'язку здобувають особливе значення спеціальні сталі, які поряд з вимогою підвищеної зносостійкості могли б задовольняти й умові міцності. До такої сталі можна віднести високомарганцовисту сталь Г13Х2Л, що показала порівняно високу зносостійкість стосовно сталі 55Л.

Тому були проведені додаткові випробування сталі Г13Х2Л для умов переробки гравію з більшим змістом валунів розміром 100-150 мм. Ці випробування здійснювали на стенді більших землесосних установок експериментальної бази ВНІІНеруда. Як досвідчений зразок був прийнятий насос 10Гру-8т, лопатки робочого колеса якого були виготовлені зі згаданої сталі.

Через підвищений термін служби, що вимагає тривалих експериментів, лопатки не вдалося довести до граничного зношування. Однак отримані дані свідчать не тільки про високі антиабразивні якості сталі Г13Х2Л, але й цілком задовільної її міцності. Поряд з пошуком нових матеріалів, не менш важливе значення має підвищення зносостійкості існуючих сталей шляхом їхньої термічної обробки.

ВИСНОВКИ З ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

У системі безперервного виробництва, у якому насосам відведена значна роль у підтримці технологічного процесу, надійності й довговічності цього виду встаткування варто приділяти велику увагу. Надійність насоса, як властивість виконувати задані функції, зберігаючи в певних межах експлуатаційні режими протягом необхідного проміжку часу, обумовлюється безвідмовністю, ремонтпридатністю й довговічністю всіх деталей. На надійність насосів, що транспортують високоабразивні суміші, впливає: стан робочих коліс, бронецилиндрів, чепцевих ущільнень і ущільнень деталей з боку підведення потоку в робочі колеса; порушення герметизації в ущільнюючих з'єднаннях; ослаблення кріплень робочих коліс, вібрації роторів насосів і вихід з ладу підшипникових вузлів.

Показником довговічності як властивості деталей зберігати працездатність може бути прийнятий термін служби деталей до їхнього граничного стану (зношування). Цей термін служби виключає всі

ремонтні простої, якщо дана деталь після відновлення продовжує виконувати свої функції. Прагнення до прогнозування довговічності деталей насосів з достатньою точністю поки не принесло позитивних рішень. Причиною цього є різноманітні види абразивних сумішей, швидкості переміщення, розходження в їхні абразивності, умови експлуатації насосів і т.п. Навіть зміна одного із цих факторів, наприклад, швидкості потоку абразиву дає можливість збільшити довговічність усмоктувальної частини насоса і його робочого колеса в 1,2-1,6 рази.

Незважаючи на значні труднощі в конкретній регламентації довговічності деталей відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 17011-71 "Насоси відцентрові піщані й ґрунтові. Технічні вимоги" установлені гарантійний наробіток і середній ресурс із використанням запасних деталей і залежно від виду й складу матеріалу, що транспортує. Так, при перекачуванні хвостів руд чорних металів (кварцитів, магнетитів) гарантійний наробіток і середній ресурс відповідно становлять 1500 і 2100 год., а для гравійно-дроблених порід - 800 і 1400 год.

В умовах транспортування високоабразивних матеріалів дрібної фракції ці показники можуть бути набагато нижче.

Деталі насосів зношуються неоднаково, що не дозволяє при ремонті виконувати одночасну заміну всіх зношених деталей. У таких випадках, як показав досвід експлуатації насосів на багатьох підприємствах, є кратне співвідношення довговічності деталей, наприклад, робочого колеса, що відводить і підводить пристрою. Тут заміна пристрою, що підводить, може вироблятися при якійсь черговій заміні робочого колеса. Така система дає можливість зменшити число ремонтів, матеріальні й фізичні витрати на розбирання й збірку.

Експлуатаційні характеристики насосів залежать більшою мірою від якості виготовлених запасних частин. Більшість деталей, використовуваних на вуглі - і гірничо-збагачувальних комбінатах, значно уступають по якості виготовлення й по міцності деталям, виготовленим серійним способом.

Основними напрямками, що підвищують надійність і довговічність швидкозношуваних деталей, є: використання для виготовлення зносостійких матеріалів - хромистих чавуну, сталей, гуми й мінералополімерних покриттів нерухомих деталей; застосування досвіду західногерманської фірми КСВ, що полягає у використанні нових сплавів - норихард і норидур (норихард містить, в %: 2,4-2,8 С; 0,3-0,8 Si ; 0,5-0,8

Mn; 14-16 Cr; 2,4-2,8 Mo, а норидур max 0,04 C; max 1,5 Mn; max 1,5 Si ; 24-26,5 Cr; 5-7 Ni ; 2-2,75 Mo; 2,75-3,5 Cu); зниження швидкостей руху абразивної - суміші в робочому колесі шляхом зменшення частоти обертання вала насоса в припустимих межах; модернізація конструкції відводу на виході з робочого колеса убік розширення перетину відводу, що дає можливість одержати плавний перехід від бічної стінки перетину відводу до його циліндричної частини.

Проведені заходи дають можливість підвищити довговічність ґрунтових насосів на 36%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Малюшенко, В. В. & Михайлов, А.К. (1981). *Энергетические насосы: справочное пособие*. Москва: Энерго-издат.
- [2] Животовский, Л. С. & Смойловская, Л. А. (1986). *Техническая механика гидросмесей и грунтовые насосы*. Москва: Машиностроение.
- [3] Карелин, В. Я. & Минаев, А.В. (1986). *Насосы и насосные станции*. Москва: Стройиздат.
- [4] Лобачев, П.В. (1990) *Насосы и насосные станции*. Москва: Стройиздат
- [5] Хрущев, М.М. & Бабичев, М.А. (1970). *Абразивное изнашивание*. Москва: Наука
- [6] Кропивный, В.Н., Кулешков, Ю.В. & Русских, В.В. (2003). *Влияние износа деталей шестеренного насоса на его работоспособность. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Кіровоград: КДТУ.
- [7] Рыбкин, К.А. & Усов, Л.А. (1960). *Шестеренные насосы для металлорежущих станков*. Москва: Машгиз.

УДК 621.384

Опубліковано 21 жовтня 2020 року

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗРОБКИ БАЗИ ЗНАНЬ ПРО РОЗПІЗНАВАННЯ МІСЬКИХ БУДОВ НА ЦИФРОВИХ КОСМІЧНИХ ТА АЕРОФОТОЗНІМКАХ ПРИ АВТОМАТИЗОВАНОМУ МОНІТОРИНГУ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

ПУСТОВАРОВ Володимир Володимирович 

начальник групи

Харківське представництво генерального замовника –
Державного космічного агентства України

УКРАЇНА

Анотація: У роботі розроблено та запропоновано архітектуру ансамблю нейронних мереж на основі модифікованої згорткової нейронної мережі для сегментації зображень (автокодувальника) U-net. Використання розробленої архітектури дозволить підвищити точність сегментації міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища. Також запропоновано технологію формального представлення побудови інформаційної технології розробки бази знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища. Розроблена технологія визначає взаємозалежну сукупність етапів, з можливістю подальшого розпаралелювання виконання підетапів, з урахуванням особливостей подання (формалізації) знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища.

ВСТУП.

Відомо, що за веденням постійного моніторингу за змінами міського середовища можливе ефективне управління сучасним містом [1, 2]. Основними вимогами, що пред'являються до такого моніторингу, є оперативність і достовірність до отриманої інформації.

Одним із ефективних підходів щодо підвищення оперативності і достовірності отримання інформації про зміни міського середовища при моніторингу – є розробка автоматизованої системи розпізнавання міських об'єктів (забудов і тощо) на цифрових космічних та

аерофотознімках з визначенням наявності їх змін як інтелектуальної автоматизованої системи.

При цьому, використовується база знань міського середовища, як елемент автоматизованої системи розпізнавання міських об'єктів. Така база – є сукупністю правил, фактів, механізмів виведення, реалізованих на основі використання глибоких нейромережевих або гібридних (нечітких нейромережевих) моделей. Однак, розробка бази знань – є одним з найбільш трудомістких етапів при створенні інтелектуальних систем. Тому, на даний час, питання комплексного підходу щодо розробки бази знань на промисловому рівні для подання і накопичення знань про процеси розпізнавання міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках з використанням глибоких нейронних мереж і гібридних (нечітких нейромережевих) моделей – є недостатньо дослідженими.

Таким чином, у предметній області існує протиріччя, яке, з одного боку, полягає у необхідності розробки бази знань для автоматизованих систем розпізнавання міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках з використанням глибоких нейронних мереж і нечіткої логіки, а з іншого боку – у обмежених можливостях існуючих технологій розробки подібного класу бази знань при комплексному поданні і накопиченні знань як про процеси розпізнавання визначених об'єктів на цифрових космічних та аерофотознімках, так і про процеси виявлення змін міського середовища і аналіз причин їх виникнення при веденні відповідного моніторингу.

ОСНОВНА ЧАСТИНА.

Відомо багато публікацій, що присвячені питанням розробки баз знань за різними напрямками. В основі базової технології створення бази знань використовуються класичні технології розробки інтелектуальних систем.

При цьому, у якості базового підходу використовується метод прототипування, заснований на виконанні певної послідовності етапів розробки бази знань з проміжним поданням, уточненням і формуванням відповідного прототипу. А для етапів класичних технологій створення інтелектуальних систем характерно досить умовне, не формалізоване визначення меж виконання цих етапів і переходів між ними.

Дані обставини значно ускладнюють забезпечення технологічності

створення прототипу бази знань моніторингу міського середовища з промислової точки зору, не дозволяє мінімізувати необхідний обсяг робіт зі створення бази знань, ускладнюють управління веденням розробки, ускладнюють формулювання завдань і функціональних обов'язків розробників.

Формальне представлення інформаційної технології розробки бази знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища.

Формально інформаційну технологію розробки бази знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища з використанням глибоких нейромереж та нечіткої логіки пропонується представити у вигляді кортежу

$$T^{KBF} = \langle P^{KBF}, \{S_i^{KBF}\}, \{C_j^{KBF}\}, \{L_m^{KBF}\}, \{M_n^{KBF}\} \rangle \quad (1)$$

де P^{KBF} – постановка завдання щодо розробки бази знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках;

$\{S_i^{KBF}\}$ – множина етапів розробки відповідної бази знань;

$i = \overline{1, \dots, I}$, I – загальна кількість етапів розробки;

$\{C_j^{KBF}\}$ – множина зав'язків між етапами з множини $\{S_i^{KBF}\}$;

$j = \overline{1, \dots, J}$, J – загальна кількість зав'язків;

$\{L_k^{KBF}\}$ – множина мов представлення знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних і аерофотознімках;

$k = \overline{1, \dots, K}$, K – загальна кількість мов представлення знань;

$\{M_n^{KBF}\}$ – множина моделей представлення знань;

$n = \overline{1, \dots, N}$, N – загальна кількість моделей.

В якості базових етапів з множини $\{S_i^{KBF}\}$ розглядаються модифіковані етапи розробки класичних інтелектуальних систем:

- етап ідентифікації знань $S_1^{KBF} \in \{S_i^{KBF}\}$ щодо розпізнавання міських будов на цифрових космічних і аерофотознімках;
- етап концептуалізації знань $S_2^{KBF} \in \{S_i^{KBF}\}$;
- етап формалізації знань $S_3^{KBF} \in \{S_i^{KBF}\}$;
- етапи програмної реалізації (прототипування) $S_4^{KBF} \in \{S_i^{KBF}\}$;
- верифікації бази знань $S_5^{KBF} \in \{S_i^{KBF}\}$.

На етапі ідентифікації знань – S_1^{KBF} виконується загальна постановка задачі щодо розробки бази знань – P^{KBF} , визначаються необхідні ресурси і джерела знань.

На етапі концептуалізації – S_2^{KBF} формується концептуальна модель (поле знань) бази знань – $M_1^{KBF} \in \{M_n^{KBF}\}$ при виконанні наступних підетапів:

- за результатами аналізу предметної області – визначається склад основних знань у вигляді вербального опису (склад поля знань) про розпізнавання міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища – $S_2^{K(KBF)}$;

- за результатами аналізу знань – формується безпосередньо поле знань (структура предметної області) M_1^{KBF} з використанням відповідної мови описів поля знань (у даній технології використовуються конструкції подання концептуальних моделей на основі мови об'єктно-орієнтованого моделювання UML $L_1^{KBF} \in \{L_k^{KBF}\}$) – $S_2^{M_1(KBF)}$.

На етапі формалізації (подання) знань – S_3^{KBF} формується математична – $M_2^{KBF} \in \{M_n^{KBF}\}$ та логічна – $M_3^{KBF} \in \{M_n^{KBF}\}$ моделі бази знань при виконанні наступних підетапів:

- визначається формалізований склад знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних і аерофотознімках, а також – наявність змін у міському середовищі – $S_3^{KS(KBF)}$;

- визначаються способи представлення знань та обираються (розробляються) методи формалізації знань – $S_3^{KR(KBF)}$. Для представлення знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних і аерофотознімках, а також наявність змін у міському середовищі пропонується використання методів, що засновані на: інтервальних нечітких множинах другого типу – $L_2^{KBF} \in \{L_k^{KBF}\}$, інтервальних нечітких логічних системах другого типу – $L_3^{KBF} \in \{L_k^{KBF}\}$ і модифікованих глибоких нейронних мережах (згорткових нейронних мережах) на основі попередньо навчених моделей – $L_4^{KBF} \in \{L_k^{KBF}\}$ та моделей для семантичної сегментації – $L_5^{KBF} \in \{L_k^{KBF}\}$;

- виконується формалізований опис знань (формується математична модель – M_2^{KBF}) з використанням обраних способів подання і розроблених методів формалізації знань – $S_3^{KD(KBF)}$;

- розробляється узагальнений алгоритм рішення знань (у рамках

формування математичної моделі – M_2^{KBF}), враховуються формалізовані знання і забезпечується виявлення тенденцій перебігу процесу побудови бази знань і представлення результатів вирішення підзадач – $S_3^{AM(KBF)}$ для кожної формалізованої підзадачі (сегментація міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках, виявлення наявності змін у міському середовищі);

– розглядаються як процедурні знання елементи математичної моделі – M_2^{KBF} , що перетворюються у логічну модель бази знань – M_3^{KBF} , яка описується з використанням конструкцій представлення логічних моделей мови об'єктно-орієнтованого моделювання UML – L_1^{KBF} – $S_3^{LM(KBF)}$.

На етапі програмної реалізації (попереднього прототипування) бази знань – S_4^{KBF} формується фізична модель бази знань – $M_4^{KBF} \in \{M_n^{KBF}\}$ і безпосередньо програмний прототип бази знань при виконанні наступних підетапів:

– розробляється архітектура бази знань, яка визначає структуру, функції і взаємозв'язок компонентів бази знань – $S_4^{BA(KBF)}$. При цьому, у якості основних елементів бази знань використовуються функції приналежності нечітких множин, навчальна вибірка (неявна база знань) і синаптичні карти нейромереж;

– виконується реалізація (прототипування) компонентів бази знань – $S_4^{BP(KBF)}$. При цьому, реалізація компонентів бази знань включає розробку проектних рішень (формування моделі M_4^{KBF}) щодо програмної реалізації бази знань з використанням фізичних моделей мови об'єктно-орієнтованого моделювання UML – L_1^{KBF} та безпосередню програмну реалізацію бази знань з використанням високорівневої мови програмування – $L_6^{KBF} \in \{L_k^{KBF}\}$ та (або) системи управління базою даних (знань) – $L_7^{KBF} \in \{L_k^{KBF}\}$;

– здійснюється наповнення бази знань на основі елементів математичної моделі – M_2^{KBF} , розглянутих як декларативні знання – $S_4^{BK(KBF)}$. Наповнення бази знань здійснюється як за результатами безпосереднього введення декларативних знань у базу, (наприклад, при введенні нової або розширення існуючої навчальної вибірки), так і за результатами навчання елементів бази знань (наприклад, при навчанні нейромереж формуються відповідні синаптичні карти). При цьому,

знання представлені у вигляді синаптичних карт пропонується визначати за результатами побудови і подальшого навчання нейромереж з використанням спеціалізованих засобів моделювання.

Тестування (верифікація) бази знань – $S_5^{KBF} \in \{S_i^{KBF}\}$ безпосередньо виконується або над проектними рішеннями, представленими у вигляді моделей UML, або над програмним кодом, які реалізують безпосередньо прототип або остаточну версію бази знань про розпізнавання. У разі виявлення похибок повернення може здійснюватися на будь-який попередній етап розробки бази знань залежно від типу виявленої похибки. При цьому, множина зв'язків $\{C_j^{KBF}\}$ між етапами з множини $\{S_i^{KBF}\}$ визначається порядком виконання цих етапів (прямі зв'язки $C_1^{KBF} - C_4^{KBF}$) та результатами тестування (зворотні зв'язки $C_5^{KBF} - C_8^{KBF}$).

Таким чином, множину етапів інформаційної технології T^{KBF} можливо задавати наступним чином:

$$\{S_i^{KBF}\} = \{S_1^{KBF}, S_2^{KBF}, S_3^{KBF}, S_4^{KBF}, S_5^{KBF}\}, \quad (2)$$

$$S_2^{KBF} = S_2^{K(KBF)} \cup S_2^{M(KBF)}, \quad (3)$$

$$S_3^{KBF} = S_3^{KS(KBF)} \cup S_3^{KR(KBF)} \cup S_3^{KD(KBF)} \cup S_3^{AM(KBF)} \cup S_3^{LM(KBF)}, \quad (4)$$

$$S_4^{KBF} = S_4^{BA(KBF)} \cup S_4^{BP(KBF)} \cup S_4^{BK(KBF)}. \quad (5)$$

У подальшому буде розглянуто детально найбільш складні 2 і 3 етапи інформаційної технології розробки бази знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках, які пов'язані з формалізацією відповідних процесів.

Архітектура нечіткої згорткової нейронної мережі для сегментації міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища.

Першим етапом безпосередньо процесу аналізу космічних і аерофотознімків при автоматизованому моніторингу міського середовища можна розглядати етап автоматичного розпізнавання різноманітних об'єктів на місцевості.

У даному дослідженні визначені два класи для розпізнавання: міська будова та не будова. У якості базового методу у рамках інформаційної

технології розробки бази знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних і аерофотознімках використовується семантична сегментація.

Семантична (або смислова) сегментація зображень полягає у виділенні на зображенні областей, кожна з яких відповідає певній ознаці. У загальному вигляді завдання семантичної сегментації важко алгоритмізуються. Тому, для сегментації зображень на даний час широко використовуються глибокі нейронні мережі, які показують достатньо високу точність розпізнавання об'єктів сегментації.

Найбільш ефективними для вирішення завдань семантичної сегментації, у межах теорії глибокого навчання, – є різні реалізації автокодувальника (autoencoder). Для реалізації семантичної сегментації у межах глибокого навчання, був проведений аналіз основних архітектур глибоких нейронних мереж, кожна з яких у загальному випадку розглядається як мережа кодувальника, за якою слідує мережа декодера: FCN, SegNet, U-Net, FC-Densenet, E-Net & Link-Net, RefineNet, PSPNet, Mask-RCNN, G-FRNet, DecoupledNet, GAN Based Approaches.

Для сегментації міських будов на цифрових космічних і аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища у якості критеріїв вибору архітектури глибоких нейронних мереж використовувалися:

- прикладна спрямованість архітектури;
- забезпечення передбачуваної точності розпізнавання;
- мінімальна навчальна вибірка для забезпечення передбачуваної точності розпізнавання;
- мінімальна кількість епох для навчання;
- швидкість розпізнавання у режимі реального часу.

За результатами проведеного аналізу основних архітектур глибоких нейронних мереж встановлено, що найбільш повно відповідає визначеним критеріям архітектура згорткової нейронної мережі U-Net [3].

Архітектура мережі U-Net – є повнозв'язана згорткова мережа, модифікована таким чином, щоб вона могла працювати з меншою кількістю прикладів (навчальних образів) і робила більш точну сегментацію. Мережа містить енкодер і декодер. При цьому, архітектура U-Net відрізняється від традиційного автоенкодера наявністю конкатенації у частині декодера з картами ознак із частини кодера.

На кожному кроці архітектури подвоюється кількість каналів ознак. Кодер – є типова згортчна мережа і містить два послідовних шари згортки розміром 3×3 , після яких йде шар ReLU і пулінг з функцією максимуму 2×2 з кроком 2. Кожен крок декодери містить шар, зворотний пулінгу, що розширює карту ознак, після якого використовується згортка 2×2 , що зменшує кількість каналів ознак. Конкатенація виконується з відповідним чином обрізаною картою ознак кодера і двох згорток 3×3 , після кожної з якої йде шар ReLU. Обрізка потрібна через те, що при конкатенації втрачаються граничні пікселі у кожній згортці. На останньому шарі використовується повнозв'язна згортка розміром 1×1 для приведення кожного 64-компонентного вектора ознак до необхідної кількості класів.

Особливістю використання модифікованої загорткової нейронної мережі U-Net як підмережі вилучення ознак у даному дослідженні є:

- використання попередньо навченої загорткової нейронної мережі VGG16 у якості енкодера,
- відсутність додаткових класифікаторів, які є в оригінальній версії загорткової нейронної мережі VGG16 (табл. 1) та U-Net;
- у введенні додаткових шарів передискретизації розмірності карт ознак для реалізації конкатенації відповідних шарів енкодера (шари UpSampling).

При цьому, класичний декодер збільшується у глибину за рахунок трьох послідовних шарів згортки розміром 3×3 на кожному кроці (блоці декодера).

Таблиця 1

Структура архітектури підмережі вилучення ознак VGG16 у якості енкодера (без класифікатора)

Layer (type)	Output Shape	Param
input_1 (InputLayer)	(None, 224, 224, 3)]	0
block1_conv1 (Conv2D)	(None, 224, 224, 64)	1792
block1_pool (MaxPooling2D)	(None, 112, 112, 64)	0
...		
block5_conv1 (Conv2D)	(None, 14, 14, 512)	2359808
block5_conv2 (Conv2D)	(None, 14, 14, 512)	2359808
block5_conv3 (Conv2D)	(None, 14, 14, 512)	2359808
block5_pool (MaxPooling2D)	(None, 7, 7, 512)	0

Принципами навчання модифікованої підмережі вилучення ознак U-Net є наступні:

- використовується технологія «bottleneck features», згідно з якою, на виході попередньо навченої моделі знімаються ознаки (у даному випадку у енкодера у форматі VGG16) та подаються на вхід навченою частини мережі (у даному випадку – це декодер у форматі U-Net) та, у подальшому, навчається тільки друга частина (у даному випадку тільки декодер). Особливістю моделі U-Net, як вже зазначалось, – є наявність проміжних зв'язків між енкодером і декодером, тобто для декодера має місце кілька входів (у даному випадку 5), що значно ускладнює використання технології «bottleneck features» для семантичної сегментації (на відміну від нейронного класифікатора у якого тільки один вхід). Пропонується підхід щодо вирішення даної наукової задачі за рахунок використання відповідних шарів VGG16 у рамках енкодера (табл. 2) та шарів передискретизації UpSampling у рамках структури декодера;

- використовується технологія тонкого налаштування моделі. На даному етапі послідовно розморожуються 1 та 2 шари енкодера, поєднуються ваги енкодера (попередньо навченої моделі VGG16 на бібліотеці зображень ImageNet) і отримані на першому етапі ваги декодера і, виконується тонка настройка розморожених шарів енкодера і шарів декодера.

У якості основних елементів архітектури підмережі вилучення ознак модифікованої загорткової нейронної мережі U-Net виступають наступні шари:

- згорткові шари (Convolution Layers, CONV-шари). CONV-шар обчислює значення виходів нейронів, які з'єднані з рецептивними полями (фільтрами, що навчаються) вхідного шару, з метою опису ознак (властивостей, особливостей) зображення у вигляді багатовимірного масиву карт ознак;

- шари об'єднання (Pooling Layers, POOL-шари). POOL-шар забезпечує зниження просторового розміру зображення (карт ознак) з метою зменшення кількості параметрів і обчислювальної складності мережі;

- шари активації: безпосередньо у роботі використовується шар випрямлення (Rectified Linear Unit, шари ReLU). Шар ReLU – є лінійним блоком випрямлення і розглядається як функція активації для нейронів CONV-шару;

- шари конкатенації або зв'язування (Concatenation, Concat-шар). Concat-шар забезпечує об'єднання різних вихідних багатовимірних масивів карт ознак, отриманих у результаті шарів енкодера і декодера;
- допоміжні шари у структурі декодера – BatchNormalization та UpSamling2D.

Таблиця 2

Шари підмережі вилучення ознак VGG16, що використовуються для конкатенації з декодером

№	Layer output
1	vgg16_net_layers5_output = Input(vgg16_net.layers[17].output_shape[1:])
2	vgg16_net_layers4_output = Input(vgg16_net.layers[13].output_shape[1:])
3	vgg16_net_layers3_output = Input(vgg16_net.layers[9].output_shape[1:])
4	vgg16_net_layers2_output = Input(vgg16_net.layers[5].output_shape[1:])
5	vgg16_net_layers1_output = Input(vgg16_net.layers[2].output_shape[1:])

Можливо формально представити основні шари модифікованої мережі. Формально згортковий шар можна представити у вигляді наступної функції:

$$Y_{H^{out}W^{out}D^{out}} = f_{CONV}(X_{H^{in}W^{in}D^{in}}), \quad (6)$$

де $X_{H^{in}W^{in}D^{in}}$ – коваріантний тензор третього рангу, що описує вхідні дані CONV-шару розмірністю – $H^{in} \times W^{in} \times D^{in}$;

$Y_{H^{out}W^{out}D^{out}}$ – коваріантний тензор третього рангу, що описує вихідні дані CONV-шару розмірністю – $H^{out} \times W^{out} \times D^{out}$.

Шар об'єднання можливо формально представити у вигляді наступних функцій:

- для операції "max":

$$Y_{H^{out}W^{out}D^{out}} = f_{MaxPOOL}(X_{H^{in}W^{in}D^{in}}); \quad (7)$$

- для операції "avg":

$$Y_{H^{out}W^{out}D^{out}} = f_{AvgPOOL}(X_{H^{in}W^{in}D^{in}}). \quad (8)$$

Шар активації реалізує функцію активації ReLU:

$$y_{i^{out}j^{out}k^{out}} = \mathbb{S}(x_{i^{in}j^{in}k^{in}}) = \max_{ijk}(0, x_{i^{in}j^{in}k^{in}}), \quad (9)$$

де

$$y_{i^{out}j^{out}k^{out}} \in Y_{H^{out}W^{out}D^{out}},$$

$$x_{i^{in}j^{in}k^{in}} \in X_{H^{in}W^{in}D^{in}},$$

$$H^{out} = H^{in}, W^{out} = W^{in},$$

$$D^{out} = D^{in}.$$

Операцію конкатенації можливо математично описати як суперпозицію функцій, що описують CONV-шари енкодера та шари UpSampling2D декодера.

У результаті модифікації архітектури ЗНМ U-Net отримано структуру архітектури підмережі вилучення ознак, що представлена у таблиці 3.

До особливостей використання нечіткої нейронної мережі Ванга-Менделя у якості класифікатора модифікованого декодера U-Net відноситься наступне:

- подання функцій приналежності у термінах інтервальних нечітких множин типу 2 (ІНМТ2) і реалізація операцій фазифікації, агрегування і активації з використанням операцій на ІНМТ2;
- введення додаткової операції приведення типу у шарі дефазифікації вихідної змінної на основі класичного методу центру тяжіння (centroid);
- введення декількох виходів мережі для розпізнавання відповідної кількості класів (підкласів) предметної області. Для цього третій шар представляється як набір з декількох пар нейронів суматорів, а четвертий реалізує кілька нейронів-нормалізаторів, кількість яких відповідає кількості пар третього шару.

Таблиця 3

**Структура архітектури підмережі вилучення ознак
U-Net у якості декодера (без класифікатора)**

Layer (type)	Output Shape	Param	Connected to
input_2 (InputLayer)	(None, 14, 14, 512)	0	
input_3 (InputLayer)	(None, 28, 28, 512)	0	
up_sampling2d_4 (UpSampling2D)	(None, 28, 28, 512)	0	input_2[0][0]
concatenate_4 (Concatenate)	(None, 28, 28, 1024)	0	input_3[0][0] up_sampling2d_4[0][0]
conv2d_12 (Conv2D)	(None, 28, 28, 512)	4719104	concatenate_4[0][0]
batch_normalization_12	(BatchNorm (None, 28, 28, 512))	2048	conv2d_12[0][0]
elu_12 (ELU)	(None, 28, 28, 512)	0	batch_normalization_12[0][0]
conv2d_13 (Conv2D)	(None, 28, 28, 512)	2359808	elu_12[0][0]

Таблиця 3 (продовження)

batch_normalization_13	(None, 28, 28, 512)	2048	conv2d_13[0][0]
elu_13 (ELU)	(None, 28, 28, 512)	0	batch_normalization_13[0][0]
conv2d_14 (Conv2D)	(None, 28, 28, 512)	2359808	elu_13[0][0]
batch_normalization_14	(None, 28, 28, 512)	2048	conv2d_14[0][0]
elu_14 (ELU)	(None, 28, 28, 512)	0	batch_normalization_14[0][0]
....			
elu_23 (ELU)	(None, 224, 224, 64)	0	batch_normalization_23[0][0]
spatial_dropout2d	(None, 224, 224, 64)	0	elu_23[0][0]

При цьому, тензори карт ознак, що є результатом функціонування шарів декодера, виступають у якості вхідних тензорів карт ознак для модифікованої нечіткої нейронної мережі Ванга-Менделя [4].

Таким чином, пропонується формальне подання нейромережевого ансамблю нейронних мереж на основі модифікованої згорткової нейронної мережі для сегментації зображень (автокодувальника) U-Net у вигляді суперпозиції функцій, де кожна функція представляє окрему згорткову нейронну мережу (модуль) у межах ансамблю мереж для сегментації міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках:

$$\text{FuzzyVU} = F_3 \left(F_2 \left(F_1(X_0) \right) \right), \quad (10)$$

де X_0 – вхідний багатовимірний масив даних, який представляє цифровий аерофотознімок;

F_1 – функція формального представлення результатів функціонування модифікованого енкодера U-Net на базі ЗНМ VGG16;

F_2 – функція формального представлення результатів функціонування модифікованого декодера U-Net;

F_3 – функція формального представлення результатів функціонування модифікованої нечіткої нейронної мережі Ванга-Менделя, як класифікатора модифікованого декодера U-Net.

Далі буде більш детально розглянуто пропозиції щодо модифікації нечіткої нейронної мережі Ванга-Менделя.

Пропозиції щодо модифікації нечіткої нейронної продукційної мережі Ванга-Менделя для сегментації зображень.

Нечітка нейронна продукційна мережа Ванга-Менделя реалізує нечітку продукційну модель за правилами, умови і заключення яких формуються на основі нечіткої множини типу 1. При цьому, функції приналежності всіх нечітких множин представляються функцією Гауса. Тому, вихідний сигнал мережі Ванга-Менделя можливо розрахувати відповідно до наступних виразів:

$$y_{\text{class}}(x) = \frac{\sum_{i=1}^M c_i \prod_{j=1}^N \mu_{ij}(x_j)}{\sum_{i=1}^M \prod_{j=1}^N \mu_{ij}(x_j)}, \quad (11)$$

$$\mu_{ij}(x_j) = \exp \left[- \left(\frac{x_j - a_{ij}}{b_{ij}} \right)^2 \right], \quad (12)$$

де x_j – вхідний сигнал;

c_i – центр ширини функції Гауса, що представляє функцію приналежності нечіткої множини заключень правил;

μ_{ij} – функція Гауса з параметрами математичного очікування, яке визначає центр a_{ij} , і параметрами розкиду, які визначаються середнім квадратичним відхиленням, що представляє функцію приналежності нечіткої множини умов правил;

N – кількість вхідних змінних мережі;

M – кількість нейронів першого шару, що реалізовує фаззіфікацію вхідних змінних.

Структура мережі Ванга-Менделя – є чотиришаровою нейронною мережею, в якій:

- у першому шарі виконується фаззіфікація вхідних змінних;
- у другому шарі здійснюється агрегація значень активації умови нечіткого продукційного правила;
- у третьому шарі виконується активізація заключень правил виведення;
- у четвертому шарі, що складається з одного нейрона, здійснюється дефаззіфікація вихідний змінної і формування вихідного сигналу.

Відповідно до структури мережі та виразів (11), (12) – перший і третій шари – є параметричними.

Отже, алгоритм нечіткого логічного виведення, який реалізований даною нечіткою нейронною продукційною мережею, базується на наступних основних положеннях:

- вхідні змінні є чіткими;
- функції приналежності всіх нечітких множин представляються функцією Гауса;
- акумуляція активізованих правил не здійснюється.

Таким чином, модифікація класичної мережі Ванга-Менделя для вирішення задачі для попиксельної класифікації визначених об'єктів здійснюється за наступною допомогою:

- представлення функцій приналежності у термінах ІНМТ2 та реалізації операцій фаззіфікації, агрегації і активації з використанням операцій над ІНМТ2 [5];
- введення додаткової операції приведення типу у шарі дефаззіфікації вихідної змінної на основі класичного методу центру тяжіння (centroid);
- введення декількох виходів мережі для розпізнавання відповідної кількості класів (підкласів) визначених об'єктів. При цьому, третій шар представляється набором з декількох пар нейронів-суматорів, а четвертий реалізує декілька нейронів-нормалізаторів, кількість яких відповідає кількості пар третього шару.

У загальному випадку, нечітке продукційне правило для модифікованої нечіткої нейронної продукційної мережі Ванга-Менделя можливо представити у наступному вигляді:

$$R: \text{IF } \beta_1 \text{ is } \alpha_1 \text{ AND } \dots \text{ AND } \beta_n \text{ is } \alpha_n \text{ THEN } \beta_{n+1} = c_j^p, \quad (13)$$

де β_1 – найменування вхідних даних (у вигляді чіткого (в окремому випадку) або лінгвістичного значення (ЛЗ)), що задається кортежем – $\langle \beta_i, T_i, X_i, M_i \rangle$, $i = 1, \dots, n$; n – кількість вхідних змінних;

$T_i = \{ \alpha_i \}$ – множина значень (термів) вхідної ЛЗ правила R , кожне з яких є найменуванням нечіткого значення (НЗ) для опису значень параметрів розпізнавання компактних (точкових) об'єктів повітряної розвідки;

X_i – область значень НЗ, найменування яких входять у T_i , M_i – семантична

процедура, що ставить у відповідність значенню ЛЗ нечітку множину. Синтаксична процедура генерування нових значень для ЛЗ G_i не використовується, оскільки всі значення ЛЗ у рамках пропонованого підходу визначаються на етапі формування бази правил;

α_i – значення терма вхідної ЛЗ у вигляді найменування НЗ (лінгвістичного значення параметра розпізнавання об'єкту), що задається кортежем $\langle \alpha_i, X_i, \tilde{A} \rangle$, $i = 1, \dots, n$ та $\tilde{A} \subseteq X_i$;

$\tilde{A} = \{x, \mu_{\tilde{A}}(x)\}$ – ІНМТ2 на множині X_i , що описує можливі значення, які може приймати НЗ $\alpha_i \in T_i$;

β_{n+1} – найменування вихідної ЛЗ, що задається кортежем у першому $\langle \beta_{n+1}, T_{n+1}, Y, M_{n+1} \rangle$;

Y – область значень термів, найменування яких входять у T_{n+1} , що представляють номер розпізнаваного класу (підкласу) об'єкту;

M_{n+1} – семантична процедура, що ставить у відповідність значенню ЛЗ одноточкову нечітку множину;

c_j^p – значення терма вихідний ЛЗ у вигляді найменування або номера класу з множини $C_p = \{c_j^p\}$, $j = 1, \dots, t$;

t – кількість класів (підкласів) компактних (точкових) об'єктів.

Під ІНМТ2 формально розуміється нечітка множина типу 2, або всі вторинні ступені $f_x(u) \equiv \mu_{\tilde{A}}(x, u)$, які дорівнюють 1 та, яке представляється у наступному вигляді:

– у разі безперервних (нескінченних) X та J_x , як:

$$\tilde{A} = \int_x \int_u \frac{1}{(x, u)}, \quad u \in J_x \subseteq U = [0, 1], \quad x \in X, \quad (14)$$

або:

$$\tilde{A} = \int_x \left[\frac{\int_u \frac{1}{u}}{x} \right], \quad u \in J_x \subseteq U = [0, 1], \quad x \in X; \quad (15)$$

– у разі дискретних (кінцевих) X та J_x , як:

$$\tilde{A} = \sum_{j=1}^N \left[\frac{\sum_{i=1}^{M_j} \frac{1}{u_i}}{x_j} \right], \quad u \in J_x \subseteq U = [0, 1], \quad x \in X \quad (16)$$

або, як множина:

$$\tilde{A} = \{((x, u), 1) | \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq U = [0, 1]\} \quad (17)$$

де x – первинна змінна $x \in X$;

X – універсальна множина об'єктів наочної області;

u – вторинна змінна $u \in J_x$;

J_x – первинна приналежність $J_x \subseteq U$;

U – область визначення первинної приналежності $U = [0, 1]$;

$f_x(u) \equiv \mu_{\tilde{A}}(x, u)$ – вторинний ступінь, який дорівнює до 1.

Існує два основні способи формального представлення ІНМТ2 – вертикального та хвилястого зрізу. Для представлення функцій приналежності модифікованої нечіткої нейронної продукційної мережі Ванга-Менделя у термінах ІНМТ2 можливо розглянути базове поняття займаної площі невизначеності. Об'єднання усіх первинних приналежностей ІНМТ2 – є займаною площею невизначеності (footprint of uncertainty (FOU)) та може бути представлено у наступному вигляді:

$$FOU(\tilde{A}) = \cup_{\forall x \in X} J_x = \{(x, u) ; u \in J_x \subseteq [0, 1]\}. \quad (18)$$

Визначення FOU для ІНМТ2 і загальних НМТ2 співпадає. Однак, для ІНМТ2 займана площа невизначеності має особливе значення. Це пов'язано з тим, що, оскільки вторинні ступені ІНМТ2 не передають нової інформації про додаткові ступені невизначеності, то можна вважати, що FOU – є закінченим описом ІНМТ2. Для ІНМТ2 первинну приналежність можливо представити наступним чином:

$$J_x = [\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x), \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)], \quad (19)$$

де $\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ – значення верхньої функції приналежності (upper membership function), що позначається $UMF(\tilde{A})$ або $\bar{\mu}_{\tilde{A}}$;

$\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ – значення нижньої функції приналежності (lower membership function), що позначається $LMF(\tilde{A})$ або $\underline{\mu}_{\tilde{A}}$.

Вкладеною інтервальною НМТ2 $\tilde{A}_e$ для безперервних (нескінченних) множин X та J_x – є множина, у якій кожна первинна змінна $x \in X$ має тільки одну вторинну змінну $u \in J_x$ (тобто одне значення первинної

приналежності) з відповідним вторинним ступенем, який дорівнює до 1, тобто:

$$\tilde{A}_e = \int_{x \in X} \frac{\lfloor \frac{1}{u} \rfloor}{x}, \quad u \in J_x \subseteq U = [0,1]. \quad (20)$$

Вкладеною НМТ1 A_e з потужністю N для дискретних (кінцевих) множин X та J_x – є множина пар, де перші елементи пари представляють відповідні первинні змінні, а другі елементи точно одне значення з $J_{x_1}, J_{x_2}, \dots, J_{x_N}$, а саме $u_1, u_2, \dots, u_N$, тобто:

$$A_e = \sum_{i=1}^N \frac{u_i}{x_i}, \quad u_i \in J_{x_i} \subseteq U = [0,1], \quad x_i \in X. \quad (21)$$

Порівнюючи вирази (20) і (21), можливо представити вкладену ІНМТ2 через елементи вкладеної НМТ1 наступним чином:

$$\tilde{A}_e = \frac{1}{A_e}. \quad (22)$$

Відома представницька теорема (Representation Theorem), згідно з якою ІНМТ2 $\tilde{A}$ може бути представлена як об'єднання вкладених у нього ІНМТ2, тобто:

$$\tilde{A} = \cup_{j=1}^n \tilde{A}_e^j, \quad (23)$$

де n – кількість вкладених ІНМТ2 ($\tilde{A}_e^j$ представляється згідно з виразом (1.3.10))

$$n = \prod_{i=1}^N M_i;$$

N – кількість значень, на яку дискретизовано X ;

M_i – кількість значень, на яку дискретизовано J_x .

Представлення ІНМТ2 у вигляді виразу (23) – є представленням ІНМТ2 способом хвилястого зрізу.

За аналогією з виразом (23), займану площу невизначеності FOU можливо представити наступним чином:

$$FOU(\tilde{A}) = \cup_{j=1}^n A_e^j. \quad (24)$$

За виразом (24) та урахуванням виразу (23) можливо ІНМТ2 представити у наступному вигляді:

$$\tilde{A} = \cup_{j=1}^n \frac{1}{A_e^j} = \frac{1}{\cup_{j=1}^n A_e^j} \equiv \frac{1}{FOU(\tilde{A})} = \frac{1}{\cup_{x \in X} [\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x), \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)]}. \quad (25)$$

На рисунку 1 представлено підсумкову структуру модифікованої нечіткої нейронної мережі Ванга-Менделя на основі використання ІНМТ2 та з k виходами за кількістю розпізнаваних класів (підкласів) об'єктів.

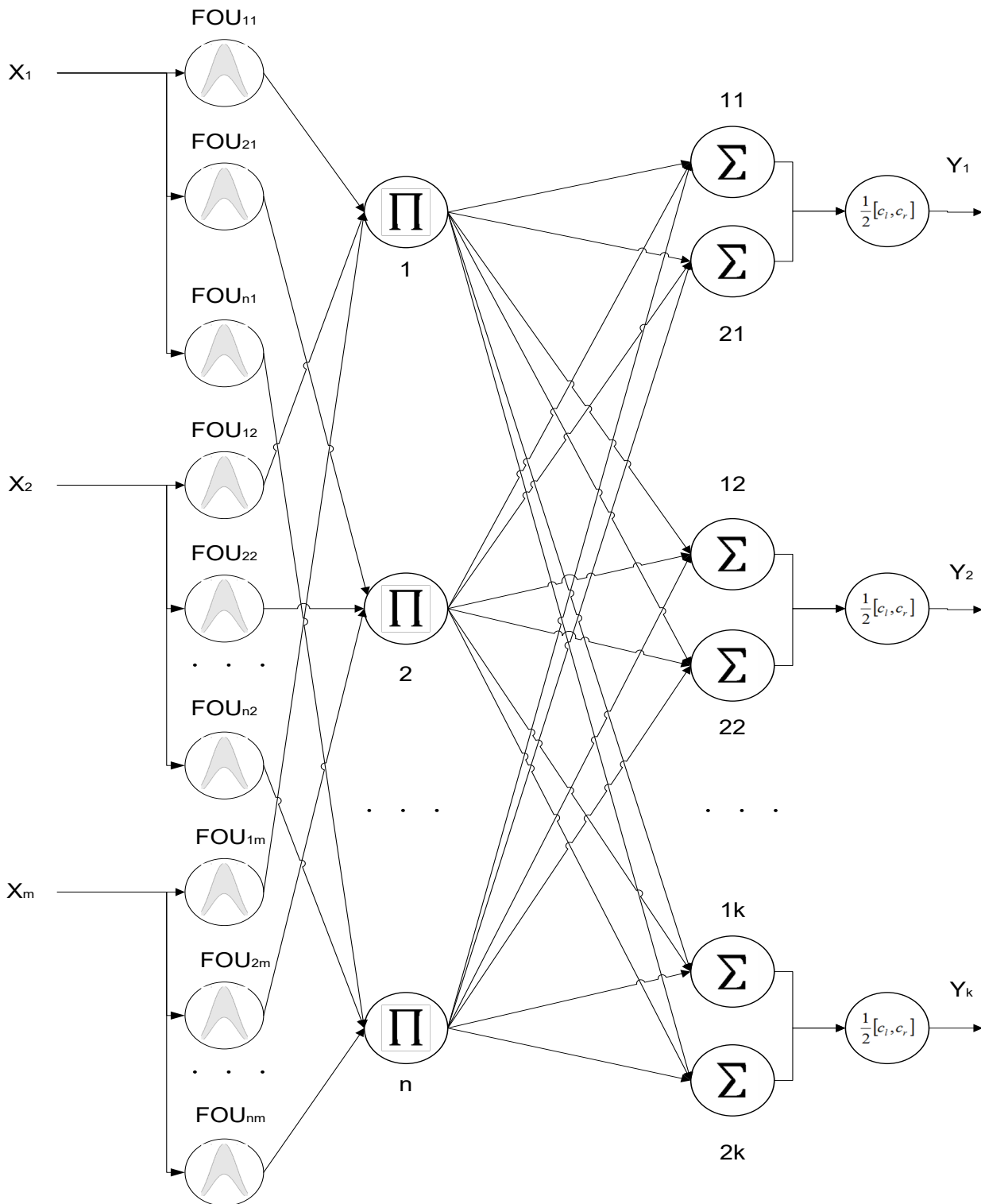


Рис. 1. Структура модифікованої нечіткої нейронної продукційної мережі Ванга-Менделя на основі ІНМТ2

При цьому, вихідний сигнал модифікованої мережі Ванга-Менделя можливо розрахувати за наступною низкою виразів:

$$\bar{y}_{\text{class}}(x) = \frac{\sum_{i=1}^M \bar{c}_i \prod_{j=1}^N \bar{\mu}_{ij}(x_j)}{\sum_{i=1}^M \prod_{j=1}^N \bar{\mu}_{ij}(x_j)}, \quad (26)$$

$$Y = J_x^{\text{class}} = \left| \bar{y}_{\text{class}}(x), y_{\text{class}}(x) \right|, \quad (27)$$

де x_j – вхідний сигнал;

$\bar{c}_i, c_i$ - центр ширини верхньої та нижньої функції Гауса, що представляє функцію приналежності нечіткої множини заключень правил;

$\bar{\mu}_{ij}, \mu_{ij}$ - значення верхньої та нижньої функцій приналежності передумов правил;

J_x^{class} - первинна приналежність класу (підкласу), що розпізнається.

Таким чином, згідно представницької теореми (за виразом (25)), ІНМТ2 - є об'єднанням усіх вкладених НМТ1, які покривають його займану площу невизначеності. Важливість даного висновку полягає у наступному:

- підтверджується теза про те, що ІНМТ2 повністю описується (визначається) його FOU;

- з'являється можливість використовувати як операції над ІНМТ2 відповідні операції над НМТ1, що значно спрощує обчислювальну складність ІНМТ2 для їх реалізації у рамках, відповідних нечітких логічних систем. Тобто, використовуються функції приналежностей, які повністю описується відповідною FOU, у якої, у свою чергу, верхня і нижня межі можливо представити за функцією Гауса відповідно до виразу (12).

Пропозиції щодо виявлення змін на різночасних космічних і аерофотознімках за результатами автоматичного розпізнавання різноманітних об'єктів на місцевості.

Другим етапом аналізу космічних і аерофотознімків при автоматизованому моніторингу міського середовища можна розглядати етап виявлення змін на різночасних знімках за результатами автоматичного розпізнавання різноманітних об'єктів на місцевості.

Виявити зміни за різночасними знімками можливо завдяки використанню різних підходів. Один з них полягає у роздільній обробці вихідних або перетворених зображень для їх поелементного порівняння. Так, є метод диференціювання різночасових знімків (Image differencing),

який заснований на поелементному відніманні яскравості вихідних зображень. На ділянках без змін – різниця значень яскравості буде близька до нуля, а на тих, що змінилися – мати позитивні або негативні значення (у залежності від спрямованості змін).

Варто зазначити що, так як знімки представлені у вигляді окремих спектральних каналів, – є можливість вибору найбільш інформативного каналу.

Отже, можливо виявити зміни, що відбулися або у одному, що представляє інтерес каналі, або у кожному каналі, а потім провести злиття даних одноканальних зображень.

Існує метод зіставлення знімків після класифікації (Post-classification comparison), який полягає у поелементному порівнянні різночасових класифікованих зображень. В ньому використовуються алгоритми класифікації як з навчанням, так і без нього. При цьому, з використанням традиційних підходів виникають серйозні труднощі у зіставленні результатів класифікації, що пов'язані з розбіжністю як кількості класів, так і їх співвіднесення з об'єктами. Ці складності можна подолати шляхом перекодування отриманих растрів, тим не менш, дана процедура досить трудомістка, а результат залежить від безлічі факторів. Так само і для поліпшення візуального сприйняття класифікації можливо скористатися функцією генералізації зображень, яка дозволяє максимально усунути острівні полігони і дрібні за площею зміни.

Методи, які засновані на використанні індексних зображень, також полягають у поелементному порівнянні, відповідно, після математичного перетворення (розрахунку індексу).

Виявлення змін за різночасними зображеннями, які перетворені за методом головних компонент, базується на поелементному відніманні значень яскравості відповідних пікселів головних компонент. Однак, існує й інший підхід, який полягає у спільній обробці сукупності знімків за різні дати, що геометрично поєднуються і обробляються разом, подібно багатозональному знімку. До нього також відноситься і метод створення композитних та синтезованих зображень. При цьому, потрібно взяти до уваги те, що одночасний аналіз трьох і більше знімків – є задача досить складна і трудомістка. Тому, одночасно обробляються два знімки, хоча це і не обов'язкова умова.

Таким чином, з урахуванням результатів сегментації, що отримані на попередніх етапах використання запропонованої інформаційної

технології, для порівняння сігментованих різночасових зображень доцільно використовувати метод зіставлення знімків після класифікації (сігментації).

При цьому, для відображення змін дані використовуються такі методи:

– віднімання:

$$R = A - B_A, \quad (28)$$

де R – результат виконання;

A – вихідне зображення (щодо якого проводиться пошук змін);

B_A – зображення зі змінами;

– ділення:

$$R = A / B_A. \quad (29)$$

ВИСНОВКИ З ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

Таким чином, за результатами розглянутих пропозицій щодо побудови інформаційної технології розробки бази знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних і аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища можна зробити наступні висновки:

1. Запропонована інформаційна технологія дозволяє реалізувати промислову розробку бази знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних і аерофотознімках з використанням нейромереж та нечіткої логіки, з чітко визначеною і взаємозалежною сукупністю етапів, з можливістю подальшого розпаралелювання виконання підетапів, з урахуванням особливостей подання (формалізації) знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних і аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища. Перспективами подальших досліджень у цьому напрямку може бути розробка пропозицій щодо використання засобів автоматизованого проектування баз знань у автоматизованих системах моніторингу міського середовища.

2. Запропонована архітектура ансамблю нейронних мереж на основі модифікованої згорткової нейронної мережі для сегментації зображень (автокодувальника) U-Net. Модифікація U-Net виконана за рахунок, по-перше, модифікації підмережі вилучення ознак з використанням у якості енкодера попередньо навченої глибокої ЗНМ VGG, по-друге, за рахунок

реалізації класифікатора автокодувальника з використанням модифікованої нечіткої нейронної мережі Ванга-Менделя на основі ІНМТ2 для попиксельної класифікації визначених об'єктів. Використання розробленої архітектури дозволить підвищити точність сегментації міських будов на цифрових космічних і аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища.

3. Замість НМТ1 модифікованої нечіткої нейронної продукційної мережі Ванга-Менделя запропоновано використання ІНМТ2. Розглянуті ІНМТ2, з одного боку, забезпечують формалізацію більшої кількості додаткових ступенів невизначеності у порівнянні з НМТ1, з іншого боку, є такими, що "реалізуються" при розробці нечітких систем (моделей) та мають меншу обчислювальну складність, у порівнянні з НМТ2.

4. Для порівняння сігментованих різночасових зображень за результатами розпізнавання міських будов на цифрових космічних і аерофотознімках доцільно використовувати метод зіставлення знімків після класифікації (сігментації).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Бровко, Е.А., Кандоба, И.Н., Корнилов, Ф.А. & Перевалов, Д.С. (2015). Оперативный мониторинг структурных изменений изображений объектов на космических снимках земной поверхности. *Программные продукты и системы*, 1(109), 79-86.
- [2] Гук А.П., Евстратова Л.Г., Хлебникова Е.П., Алтынцев М.А., Арбузов С.А., Гордиенко А.С. & Гук А.А. (2013). Разработка методик автоматизированного дешифрирования аэрокосмических снимков. Выявление изменения состояния территорий по многозональным космическим снимкам, полученным на разные даты. *Геодезия и картография*, (8), 33-41.
- [3] Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015, October). U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *In International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention* (pp. 234-241). Springer, Cham.
- [4] Мищенко, В.А., Астахова, И.Ф. & Краснойоров, А.А. (2012). Алгоритм обучения нечеткой нейронной сети Ванга-Менделя для распознавания рукопечатных символов в работе почтовой службы. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии*, (1), 141-146.
- [5] Mendel J.M., Nagraj H., John R.I. Standard Background Material About Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems. *IEEE CIS Standards Committee*. Retrieved from <http://ieee-cis.org/technical/standards>.

УДК 681.396, 681.375

Опубліковано 21 жовтня 2020 року

УДОСКОНАЛЕННЯ НАУКОВО-МЕТОДИЧНОГО АПАРАТУ ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ДОСТАВКИ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ В СИСТЕМІ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

ГУРІН Олександр Миколайович 

канд. військ. наук, старший науковий співробітник науково-дослідної
лабораторії науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

СТАРЦЕВ Володимир Вікторович 

науковий співробітник науково-дослідної лабораторії
науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

УКРАЇНА

Анотація: У монографії надані пропозиції щодо удосконалення науково-методичного апарату обґрунтування напрямів підвищення якості доставки матеріально-технічних засобів в системі логістичного забезпечення яка стає невід'ємною частиною діяльності Повітряних Сил Збройних Сил України. Зауважено, що для досягнення високої ефективності застосування військових частин потрібно постійно підтримувати озброєння, військову і спеціальну техніку та здійснювати забезпечення життєдіяльності особового складу в умовах ведення бойових дій. Для вирішення цього завдання існує система логістичного забезпечення, де одним з головних складових є доставка матеріально-технічних засобів з метою своєчасного поповнення запасів та підвезення до споживачів. Враховано досвід ведення бойових дій під час виконання завдань у складі сил антитерористичної операції і операції об'єднаних сил на сході України та збройного конфлікту на Близькому Сході. Наведені основні фактори, які впливають на організацію і здійснення доставки матеріально-технічних засобів. Проведено аналіз існуючих способів і підходів до оцінювання ефективності доставки матеріально-технічних засобів та аналіз існуючого науково-методичного апарату визначення доцільних варіантів доставки. Надано алгоритми щодо оцінювання ефективності доставки матеріально - технічних засобів та визначення раціональної транспортної мережі в системі логістичного забезпечення Повітряних Сил Збройних Сил України.

ВСТУП.

Високу ефективність застосування військових частин (підрозділів) Повітряних Сил Збройних Сил України (ПС ЗС України) неможливо досягти без підтримання озброєння, військової і спеціальної техніки (ОВТ) у боєготовому стані та забезпечення життєдіяльності особового складу в умовах ведення бойових дій. Вирішення цього завдання покладається на систему логістичного забезпечення (ЛЗ), де одним з головних складових є доставка матеріально-технічних засобів (МтЗ). Система доставки МтЗ представляє собою сукупність матеріальних, транспортних, інформаційних та інших компонентів для функціонування даної системи із заданою ефективністю. Одним із основних завдань системи доставки МтЗ є своєчасне поповнення запасів та підвезення до споживача. При цьому, у зв'язку зі значним просторовим рознесенням споживачів МтЗ, основу яких складають авіаційні засоби ураження (АЗУ), зенітні керовані ракети (ЗКР), ракети і боєприпаси (РіБ), комплекти запасних частин, інструментів, приладдя і матеріалів (ЗІП, ЗЧМ), пально-мастильні матеріали (ПММ), від баз зберігання (арсеналів, складів) то стає актуальною задача швидкого і правильного прийняття рішення, щодо управління доставкою необхідних МтЗ. Для цього необхідно визначити величини оптимальних запасів МтЗ, можливі (раціональні) маршрути їх доставки з урахуванням подолання бар'єрних рубежів, дорожніх заторів, проведення масштабних дорожніх робіт, природних катаклізмів та інших факторів, а також оптимальні з них за критерієм необхідного значення часу і (або) вартості доставки МтЗ [1 4].

Характерними рисами логістичних процесів на сучасному етапі є зростаюча актуальність більш оперативного збору, обробки та аналізу інформації про стан МтЗ на кожному етапі їх руху. Це обумовлює необхідність покращення інформаційного забезпечення доставки МтЗ та доцільність залучення цих логістичних операторів до проведення окремих операцій і робіт в процесі доставки МтЗ [2 гкц5].

На сучасному етапі реформування ЗС України зросла необхідність у розробці нових нормативних документів, які покращують якість організації доставки МтЗ в системі ЛЗ військ згідно вимогам євроатлантичного альянсу.

З цією метою процес удосконалення науково-методичного апарату якості доставки МтЗ у системі ЛЗ ПС ЗС України пропонується поділити на три взаємопов'язаних етапів (рис. 1).

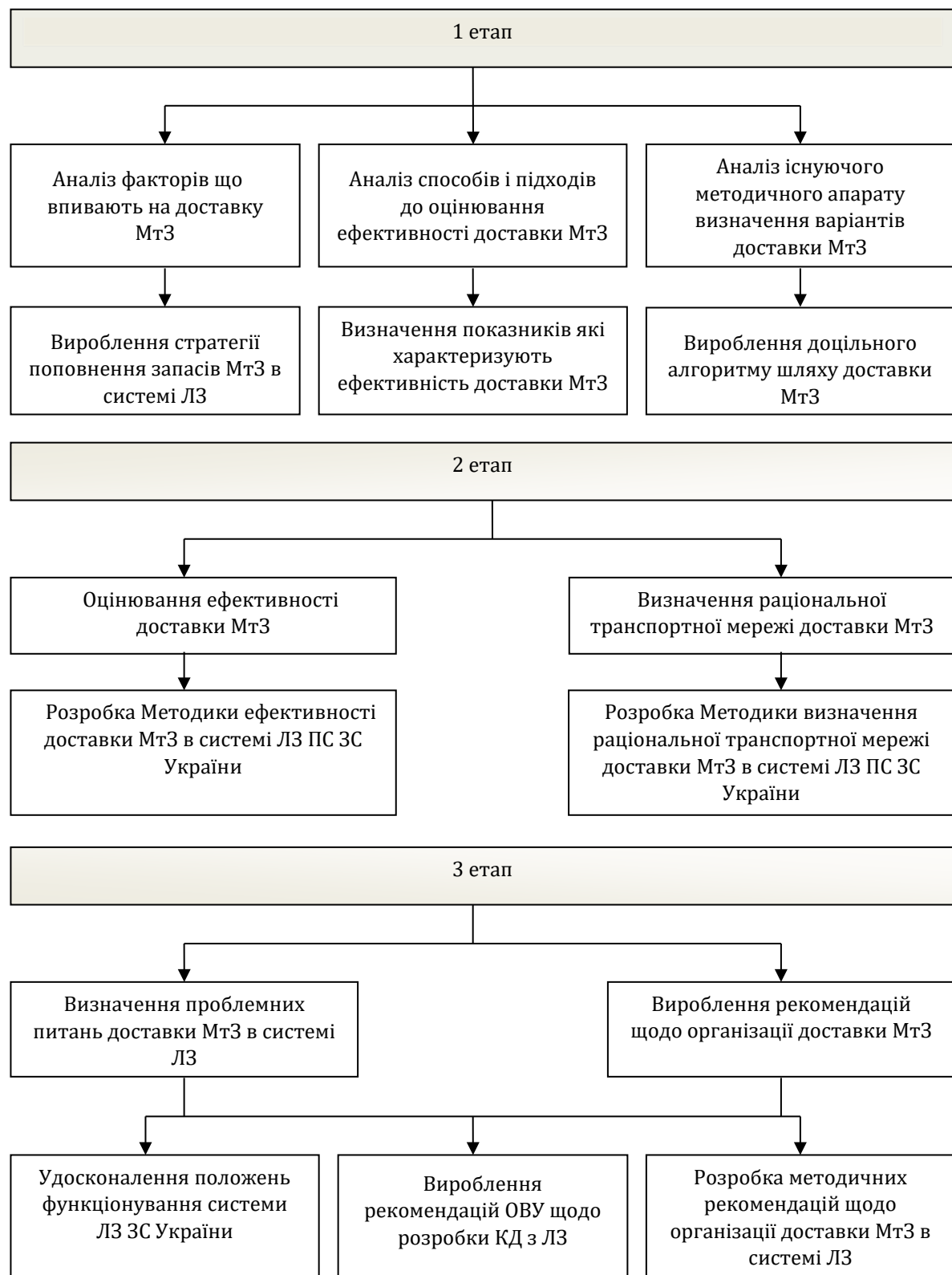


Рис 1. Процес удосконалення науково-методичного апарату якості доставки МтЗ в системі логістичного забезпечення ПС ЗС України

На першому етапі удосконалення науково-методичного апарату проводяться заходи з аналізу факторів що впливають на організацію і

здійснення доставки МтЗ, способів і підходів до оцінювання ефективності доставки МтЗ та аналізу існуючого методичного апарату визначення доцільних варіантів доставки МтЗ у системі ЛЗ ПС ЗС України.

На другому етапі визначаються заходи щодо оцінювання ефективності доставки МтЗ та визначення раціональної транспортної мережі в системі ЛЗ ПС ЗС України, результатом яких є розроблення відповідних методик.

На заключному етапі розробки науково-методичного апарату визначаються пропозиції щодо можливих шляхів вирішення проблемних питань доставки МтЗ та виробляються методичні рекомендації щодо організації доставки МтЗ в системі ЛЗ ПС ЗС України.

ОСНОВНА ЧАСТИНА.

На теперішній час вся система матеріально-технічного (технічного, тилового, тощо) згідно відповідного керівного документу [1] реорганізована в систему логістичного забезпечення. Проте, основні завдання заново створеної системи ЛЗ ПС ЗС України залишились в цілому попередніми, це: збір та узагальнення даних про наявність, стан і витрати ОВТ і МтЗ; визначення потреб МтЗ за класами (номенклатурами) постачання, своєчасне витребування їх та забезпечення військ через служби постачання органів військового управління; створення і ешелонування запасів ОВТ і МтЗ, їх зберігання, розосередження, проведення всіх видів технічного обслуговування, підготовка до транспортування, бойового застосування; поповнення витрат і втрат ОВТ і МтЗ; управління силами та засобами ЛЗ.

Крім цього, ЛЗ військових частин (підрозділів) ПС ЗС України охоплює низку сумісних завдань, до яких належать:

- організація підвозу ОВТ і МтЗ згідно потреб військових частин (підрозділів);
- відновлення ОВТ;
- розміщення і переміщення підрозділів; використання шляхів підвозу МтЗ, транспортних засобів і транспортної інфраструктури;
- виконання усіх видів військових перевезень;
- організація управління і зв'язку;
- захист, охорона, оборона об'єктів ЛЗ;
- використання місцевої промисловості.

Аналіз набутого досвіду ведення бойових дій під час виконання завдань у складі сил антитерористичної операції і операції об'єднаних сил на сході України, збройного конфлікту (протистояння) на Близькому Сході свідчить, що сучасні воєнні конфлікти характеризуються наступними особливостями – швидко мінливим станом бойової обстановки; високою імовірністю раптового нападу противника з різних напрямків; використанням сучасних зразків ОВТ, в тому числі високоточної зброї, новітніх боєприпасів, АЗУ та ударних безпілотних літальних апаратів.

Ці особливості в цілому можуть суттєво впливати на ефективність системи ЛЗ ПС ЗС України. В цих умовах набуває значної ваги питання організації і здійснення швидкої, чіткої і безперебійної доставки МтЗ військовим частинам (підрозділам) ПС ЗС України при веденні бойових дій в сучасних умовах збройної боротьби.

До основних факторів, які впливають на організацію і здійснення доставки МтЗ в системі ЛЗ ПС ЗС України, належать:

- класи постачання МтЗ, місця їх утримання та доставки;
- транспортна мережа і засоби доставки МтЗ;
- стратегія поповнення запасів МтЗ;
- технологічність процесу доставки МтЗ.

Постачання МтЗ – одна з складових функції ЛЗ, яка охоплює закупівлю, складування, доставку (транспортування), оприбуткування МтЗ, внутрішню перевірку і зберігання. Функція постачання охоплює усі МтЗ, що використовуються для забезпечення діяльності ПС ЗС України та підтримання ОВТ у боєздатному стані в мирний та воєнний час. Постачання МтЗ здійснюється відповідно до п'яти класів постачання [1].

Але існуючий стан дорожньо-транспортної інфраструктури прогнозованого району бойових дій угруповання військ ПС ЗС України у будь-якій географічній частині України неспроможний в повній мірі забезпечити безперебійну доставку ОВТ і МтЗ до підрозділів. Для надійного забезпечення військ МтЗ, скоєння маневру та пересування військ необхідно створювати на деяких ділянках місцевості військові, колонні шляхи та інші елементи військових комунікацій.

Враховуючи досвід сучасних збройних конфліктів, можливості порушення дорожньої інфраструктури і комунікацій у районах бойового призначення під час ведення бойових дій потребується виконання наступних заходів з:

- завчасної доставки МтЗ у райони бойового призначення (ведення бойових дій) частин (підрозділів) угруповання ПС ЗС України;
- створення підвищених запасів окремих класів (номенклатур) МтЗ (АЗУ, ЗКР, РіБ, ПММ, продовольства) у підрозділах родів військ ПС ЗС України, що діють у відриві від основних сил;
- надійного захисту колон рухомих засобів, що доставляють МтЗ за рахунок включення до їх складу необхідних підрозділів охорони та, за необхідністю, забезпеченням їх супроводження силами і засобами ЗС України та інших силових структур;
- визначення доцільного складу та довжини колон для перевезення МтЗ, що дозволить здійснювати їх безперервний надійний захист супроводжуваними підрозділами охорони;
- вибору шляхів доставки МтЗ з можливим розгортанням тимчасових перевантажувальних районів (станцій (пунктів) розвантаження та завантаження, районів очікування (збору));
- взаємодії з центральними та місцевими органами виконавчої влади, іншими державними органами з питань доставки МтЗ військовим частинам (підрозділам).

Згідно особливостей логістичної обстановки доставка МтЗ до військових частин (підрозділів) може здійснюватись різними видами транспорту (залізничним, повітряним, водним або автомобільним транспортом).

Під стратегією поповнення запасів МтЗ слід розуміти правило відновлення запасу МтЗ по мірі його витрачання. Поповнення запасів МтЗ поділяється на безперервну, періодичну, поповнення з екстреними доставками; порядок поповнення за рівнем запасу того або іншого виду МтЗ.

Технологічність процесу доставки ресурсів передбачає якісне проведення цілого ряду робіт з підготовки до транспортування, в процесі транспортування та здачі МтЗ споживачу.

Аналіз існуючих способів і підходів до оцінювання ефективності доставки матеріально-технічних засобів в системі логістичного забезпечення Повітряних Сил Збройних Сил України.

Основним призначенням оцінювання ефективності доставки МтЗ в системі ЛЗ ПС ЗС України є проведення розрахунків показників доставки МтЗ в системі ЛЗ військових частин (підрозділів) ПС ЗС України.

Результати цих розрахунків в подальшому повинні використовуватися при прийнятті рішень щодо покращення ефективності системи доставки.

В якості основних показників, які характеризують ефективність доставки МтЗ у системі ЛЗ ПС ЗС України, необхідно використовувати: коефіцієнт ефективності доставки; середній час затримки в задоволенні заявки в системі доставки; сумарні витрати на ресурси.

Для визначення показників ефективності доставки МтЗ пропонується використовувати наступні вихідні дані: вид використовуваного показника ефективності доставки; найменування (або шифри) ОБТ і МтЗ, загальна кількість їх типів (розмір номенклатури) в системі доставки; витрати (вартість, об'єм, маса, тощо) на одну одиницю кожного типу МтЗ в системі доставки; інтенсивність заявок на ресурсу кожного типу МтЗ; тип і параметри порядку (стратегії) поповнення кожного типу МтЗ; рівень запасу МтЗ кожного типу в системі доставки; тип структури системи доставки.

В якості показників ефективності доставки ресурсів використовуються середній час затримки в задоволенні заявок на МтЗ у системі доставки та коефіцієнт ефективності доставки.

Коефіцієнт ефективності доставки – ймовірність того, що в довільний момент часу при прийнятих стратегіях поповнення запасів МтЗ всіх типів відмова системи доставки не відбудеться.

Додатковим економічним показником, який використовується при оцінюванні ефективності доставки МтЗ в системі логістичного забезпечення ПС ЗС України, є сумарні витрати на ресурси. Сумарні витрати на ресурси – алгебраїчна сума добутків кількості МтЗ даної номенклатури до витрат на одну одиницю даного типу ресурсу [4-5].

Аналіз існуючого науково-методичного апарату визначення доцільних варіантів доставки матеріально-технічних засобів в системі логістичного забезпечення Повітряних Сил Збройних Сил України.

Під системою доставки розуміється сукупність матеріальних, транспортних, інформаційних та інших компонентів, персоналу для функціонування даної системи із заданою ефективністю. Основним завданням системи доставки є своєчасне поповнення запасів МтЗ та доставка їх до військових підрозділів. При цьому у зв'язку зі значним

просторовим рознесенням військових підрозділів ПС ЗС України від центрів забезпечення (складів, арсеналів), стає актуальною задача швидкого і правильного прийняття рішення при управлінні доставкою необхідних МтЗ. Для цього необхідно визначити можливі (раціональні) маршрути доставки МтЗ з урахуванням різних аварійних ситуацій та інших факторів які впливають на оптимальні значення показників часу і вартості доставки МтЗ.

Вирішення завдання вибору раціонального маршруту доставки (схеми перевезення) МтЗ повинно здійснюватися з урахуванням всіх можливих ситуацій. Прийняття правильного рішення щодо забезпечення необхідними МтЗ ґрунтується на побудованій моделі транспортної мережі системи доставки МтЗ. Для цього, як правило, здійснюється перехід від концептуальної моделі (різномісних елементів системи, описаних в термінах предметної області) до її математичного опису (формальним однотипним) з використанням графів [10, 12-15] .

Граф – абстрактний математичний об'єкт, який представляє собою множину вершин графа і набір ребер, тобто з'єднань між парами вершин [6-7]. Для різних областей застосування види графів можуть відрізнятися спрямованістю, обмеженнями на кількість зв'язків і додатковими даними про вершини або ребрах. Варіант графу маршрутів транспортної мережі наведений на рис. 2.

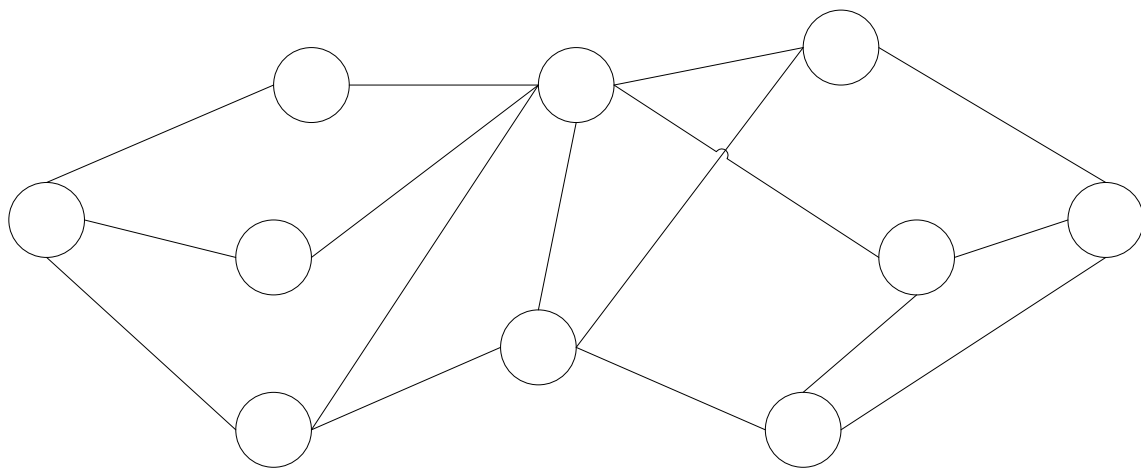


Рис 2. Варіант поєднання вузлів та ділянок транспортної мережі у вигляді графа

В теорії графів вершиною називається фундаментальна одиниця, що утворює графи [7 - 8] – неорієнтований граф складається з множини

вершин і множини ребер (невпорядкованих пар вершин), в той час як орієнтований граф складається з множини вершин і множини дуг (впорядкованих пар вершин). На рисунках, які представляють граф, вершина зазвичай позначається кружком з міткою, ребро – лінією, дуга – стрілкою, що з'єднує вершини. З точки зору теорії графів, вершини розглядаються як позбавлені характерних рис неподільні об'єкти, хоча вони можуть представляти деякі структури, залежні від завдання, з якої виник граф. Дві вершини, що утворюють ребро, називаються кінцевими вершинами ребра і кажуть, що ребро інцидентне вершинам.

Вузлові пункти транспортної мережі (населені пункти, пункти перевантаження вантажу і зміни транспорту, роздоріжжя і т.д.) представляються вершинами (вузлами) графа. Шляхи сполучення між пунктами транспортної мережі (наземні, повітряні, водні) представляються ребрами графа.

Шлях в графі – послідовність вершин, в якій кожна вершина з'єднана з наступною ребром. Задача визначення доцільних варіантів доставки ресурсів – це задача пошуку найкоротшого шляху між двома точками (вершинами) на графі, в якій мінімізується сума ваг ребер, що складають шлях.

Задача про найкоротший шлях є однією з найважливіших класичних задач теорії графів. Сьогодні відомо безліч алгоритмів для її вирішення. Значимість даного завдання визначається її різними практичними застосуваннями. Наприклад, в GPS-навігаторах здійснюється пошук найкоротшого шляху між двома перехрестями. Як вершини виступають перехрестя, а дороги є ребрами, які лежать між ними. Якщо сума довжин доріг між перехрестями мінімальна, тоді знайдений шлях найкоротший.

Завдання пошуку найкоротшого шляху на графі може бути визначене для неорієнтованого, орієнтованого або змішаного графа. В найпростішому вигляді задача вирішується для неорієнтованого графа. Для змішаного і орієнтованого графа додатково повинні враховуватися напрямки ребер. Граф являє собою сукупність непорожньої безлічі вершин і ребер (наборів пар вершин). Дві вершини на графі суміжні, якщо вони з'єднуються загальним ребром. Шлях в неорієнтованому графі являє собою послідовність вершин. Вагова функція відображає ребра на їх ваги, значення яких виражаються дійсними числами. Тоді

найкоротшим шляхом з вершини в вершину буде називатися шлях, який має мінімальне значення суми вагових функцій. Якщо всі ребра в графі мають одиничну вагу, то задача зводиться до визначення найменшої кількості ребер, які обходяться. Існують різні постановки задачі про найкоротший шлях.

У різних постановках задачі, роль довжини ребра можуть грати не тільки самі довжини, але і час, вартість, витрати, обсяг витрачених ресурсів (матеріальних, фінансових, паливно-енергетичних, тощо) або інші характеристики, пов'язані з проходженням кожного ребра. Таким чином, задача знаходить практичне застосування у великій кількості областей (інформатика, економіка, географія тощо).

У зв'язку з тим, що існує низка різних постановок даного завдання, є найбільш популярні алгоритми для вирішення завдання пошуку найкоротшого шляху на графі:

- алгоритм Дейкстри знаходить найкоротший шлях від однієї з вершин графа до всіх інших. Алгоритм працює тільки для графів без ребер негативного ваги;

- алгоритм Беллмана – Форда знаходить найкоротші шляхи від однієї вершини графа до всіх інших в підвішеному графі. Вага ребер може бути негативним;

- алгоритм пошуку A^* знаходить маршрут з найменшою вартістю від однієї вершини (початкової) до іншої (цільової, кінцевої), використовуючи алгоритм пошуку по першому найкращому збігу на графі;

- алгоритм Флойда – Воршелла знаходить найкоротші шляхи між усіма вершинами зваженого орієнтованого графа;

- алгоритм Джонсона (є комбінацією алгоритмів Беллмана – Форда і Дейкстри) знаходить найкоротші шляхи між усіма парами вершин зваженого орієнтованого графа;

- алгоритм Лі (хвильової алгоритм) заснований на методі пошуку в ширину. Знаходить шлях між вершинами графа, що містить мінімальну кількість проміжних вершин (ребер). Основне застосування - трасування електричних з'єднань на кристалах мікросхем і на друкованих платах. Так само використовується для пошуку найкоротшої відстані на карті в стратегічних іграх [9].

Оцінювання ефективності доставки матеріально - технічних засобів та визначення раціональної транспортної мережі в системі логістичного забезпечення Повітряних Сил Збройних Сил України.

Основним напрямом оцінювання ефективності доставки МтЗ в системі ЛЗ ПС ЗС України є проведення розрахунків показників ефективності доставки МтЗ. Результати цих розрахунків в подальшому повинні використовуватися при прийнятті рішень щодо покращення ефективності системи доставки МтЗ.

На рис. 3 наведений алгоритм оцінювання ефективності доставки МтЗ у системі ЛЗ ПС ЗС для однорівневої структури системи доставки.

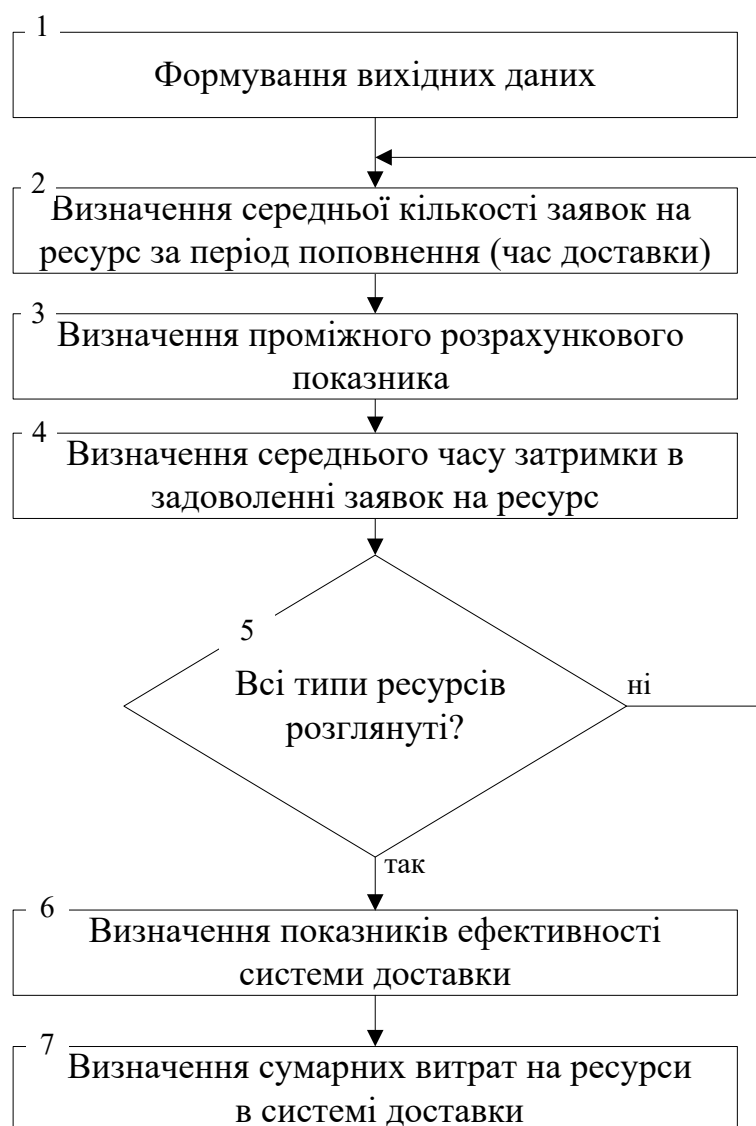


Рис 3. Алгоритм оцінювання ефективності доставки МтЗ в системі логістичного забезпечення ПС ЗС України для однорівневої структури системи доставки

В якості основних показників, які характеризують ефективність доставки МтЗ в системі ЛЗ ПС ЗС України застосовуються: коефіцієнт ефективності доставки; середній час затримки в задоволенні заявки в системі доставки; сумарні витрати на ресурси.

Для визначення показників ефективності доставки ресурсів пропонується використовувати такі вихідні дані:

- вид використовуваного показника ефективності доставки;
- найменування (або шифри) МтЗ, загальна кількість їх типів (розмір номенклатури) в системі доставки;
- витрати (вартість, об'єм, маса, тощо) на одну одиницю кожного типу МтЗ в системі доставки;
- інтенсивність заявок на МтЗ кожного типу;
- тип і параметри стратегії поповнення кожного типу МтЗ;
- рівень запасу МтЗ кожного типу в системі доставки;
- тип структури системи доставки.

При оцінюванні ефективності доставки МтЗ розглядаються типові структури доставки МтЗ в системі ЛЗ ПС ЗС України, які включають джерело поповнення, запас МтЗ оперативного рівня, запас МтЗ тактичного рівня, споживачі (підрозділи) МтЗ.

Вихідними даними для оцінки ефективності доставки МтЗ є: вид показника ефективності доставки; найменування (або шифри) МтЗ, загальна кількість їх типів (розмір номенклатури) в системі доставки; параметри МтЗ кожного типу (інтенсивність заявок, тип і величина витрат на одиницю засобів, тип і параметри стратегії поповнення, рівень запасу МтЗ); тип структури системи доставки.

Наступним кроком з оцінювання ефективності доставки МтЗ передбачено проведення розрахунків в відповідній послідовності, а саме:

- визначення середньої кількості заявок на МтЗ кожного типу, яка поступає до системи доставки за період поповнення (час доставки);
- визначення проміжного розрахункового показника для кожного типу МтЗ в залежності від типу і параметрів стратегії їх поповнення;
- визначення середнього часу затримки в задоволенні заявок на МтЗ кожного найменування (типу);
- визначення величин показників ефективності системи доставки.

Оцінювання ефективності доставки МтЗ складається з оцінювання

ефективності доставки МтЗ кожного найменування (типу) окремо та визначення на їх основі показників ефективності системи доставки та сумарних витрат на доставку МтЗ в цілому. Визначення сумарних витрат на доставку МтЗ може проводитися по одному або послідовно декільком типам витрат, і незалежно від типу цих витрат, витрати по всіх типах МтЗ повинні задаватися (вимірюватися) в одних і тих самих одиницях [5], [11].

Основним завданням функції ЛЗ при застосуванні військових частин (підрозділів) ПС ЗС України які входять до складу угруповання військ є своєчасне поповнення запасів МтЗ та доставка їх до підрозділів військових частин. При цьому у зв'язку зі значним просторовим рознесенням підрозділів угруповання та значне віддалення від центрів забезпечення (арсеналів, складів) стає актуальною задача швидкого і правильного прийняття рішення щодо управління доставкою необхідних МтЗ. Для цього необхідно визначити раціональні маршрути доставки МтЗ з урахуванням різних ситуацій, які можуть статися у умовах ведення бойових дій – аварійних ситуацій, природних катаклізмів, подолання бар'єрних рубежів та інших факторів які впливають на оптимальні значення показників часу та вартості доставки МтЗ.

Основною метою визначення раціональної транспортної мережі в системі ЛЗ військових частин (підрозділів) ПС ЗС України є проведення відповідних розрахунків характеристик маршрутів доставки МтЗ. Результати цих розрахунків в подальшому повинні використовуватися при прийнятті рішень щодо покращення ефективності доставки МтЗ до потребителя.

Для визначення характеристик маршрутів доставки МтЗ пропонується використовувати такі вихідні дані:

- найменування МтЗ згідно класів постачання, загальна кількість їх типів (розмір номенклатури);
- початковий та кінцевий вузли для кожного класу МтЗ;
- тип витрат ресурсу і одиниця їх виміру;
- типи та характеристики транспортних засобів, які застосовуються при проведенні військових перевезень і транспортуванні МтЗ;
- характеристики ділянок шляхів транспортної мережі.

В якості характеристик маршрутів доставки МтЗ використовуються сумарний час транспортування і сумарні витрати на транспортування МтЗ.

Сумарний час транспортування МтЗ – сума часових інтервалів транспортування даного типу МтЗ через всі вузли та ділянки маршруту постачання. Сумарний час транспортування МтЗ в подальшому враховується при розрахунках показників ефективності системи постачання до споживача.

Сумарні витрати на транспортування МтЗ – алгебраїчна сума витрат на транспортування даного типу МтЗ через всі вузли та ділянки маршруту. Сумарні витрати на транспортування МтЗ повинні вимірюватися в одиницях вартості. Сумарні витрати на транспортування МтЗ враховуються в подальшому при розрахунках сумарних витрат в системі доставки. Ці витрати визначаються в розрахунку на одну доставку відповідного класу МтЗ і включаються у вартість одиниці МтЗ даного класу. Серед складових часу доставки МтЗ найбільш високі значення має час транспортування.

Вирішення завдання вибору раціонального маршруту (схеми перевезення) МтЗ повинно здійснюватися з урахуванням всіх можливих ситуацій. Прийняття правильного рішення щодо забезпечення необхідними МтЗ військових підрозділів ґрунтується на побудованій моделі транспортної мережі системи постачання МтЗ. Для цього здійснюється перехід від різнотипних елементів системи, описаних в термінах предметної області до її математичного опису з використанням графів [8] - [9].

Моделювання транспортної мережі здійснюється за формалізованим поданням транспортних засобів, тобто використовується загальний параметр – середня швидкість транспортування певним типом транспорту ресурсів по ділянці шляху. Різниця видів і типів транспортних засобів визначає і відмінність у вартості транспортування необхідних споживачеві МтЗ по ділянці шляху. Також повинні враховуватися пора року, час доби, кліматичні умови (дощ, туман, ожеледь тощо), в яких здійснюється транспортування ресурсів, оскільки дані фактори можуть призводити до зміни швидкості руху транспортного засобу. Їх вплив

враховується коефіцієнтом швидкості. Його значення формується на підставі нормативних документів (правил дорожнього руху, інструкцій з експлуатації транспортних засобів, правових документів з безпеки руху т.і.) і статистичних даних щодо впливу погоди на швидкість потоку транспорту.

Для автомобільного транспорту, як основного виду військових перевезень, коефіцієнт швидкості розраховується як добуток наступних множників – коефіцієнтів зниження швидкості в залежності від характеристик транспортних комунікацій, населених пунктів, пори року, погоди тощо.

Для пошуку найкоротших відстаней передбачається використовувати математичний апарат динамічного програмування, заснований на методології покрокової оптимізації. Для цього вводиться функція, яка визначає мінімальну довжину з початкового пункту до заданого кінцевого. Вводяться позначення довжини шляху між пунктами, еквівалентної довжини перебування у пункті, яка обумовлена часом або вартістю виконання певних операцій та найменшої довжини шляху між заданим та початковим пунктами.

Далі послідовно для кожної вершини складається функціональне рівняння Беллмана, застосування якого дозволяє отримати таку вершину, при якій мінімізується довжина з початкового пункту до заданого пункту. В результаті вирішення системи рівнянь Беллмана визначається довжина найкоротшого шляху. Для вибору оптимальної траєкторії здійснюється перегляд функцій в зворотному порядку.

Послідовність виконуваних операцій, які передбачаються, залежить від кількості характеристик, які оптимізуються (час доставки МтЗ; витрати на доставку; час доставки МтЗ при обмеженнях витрат на їх доставку).

На рис. 4 наведений алгоритм визначення раціональної транспортної мережі в системі логістичного забезпечення ПС ЗС України.

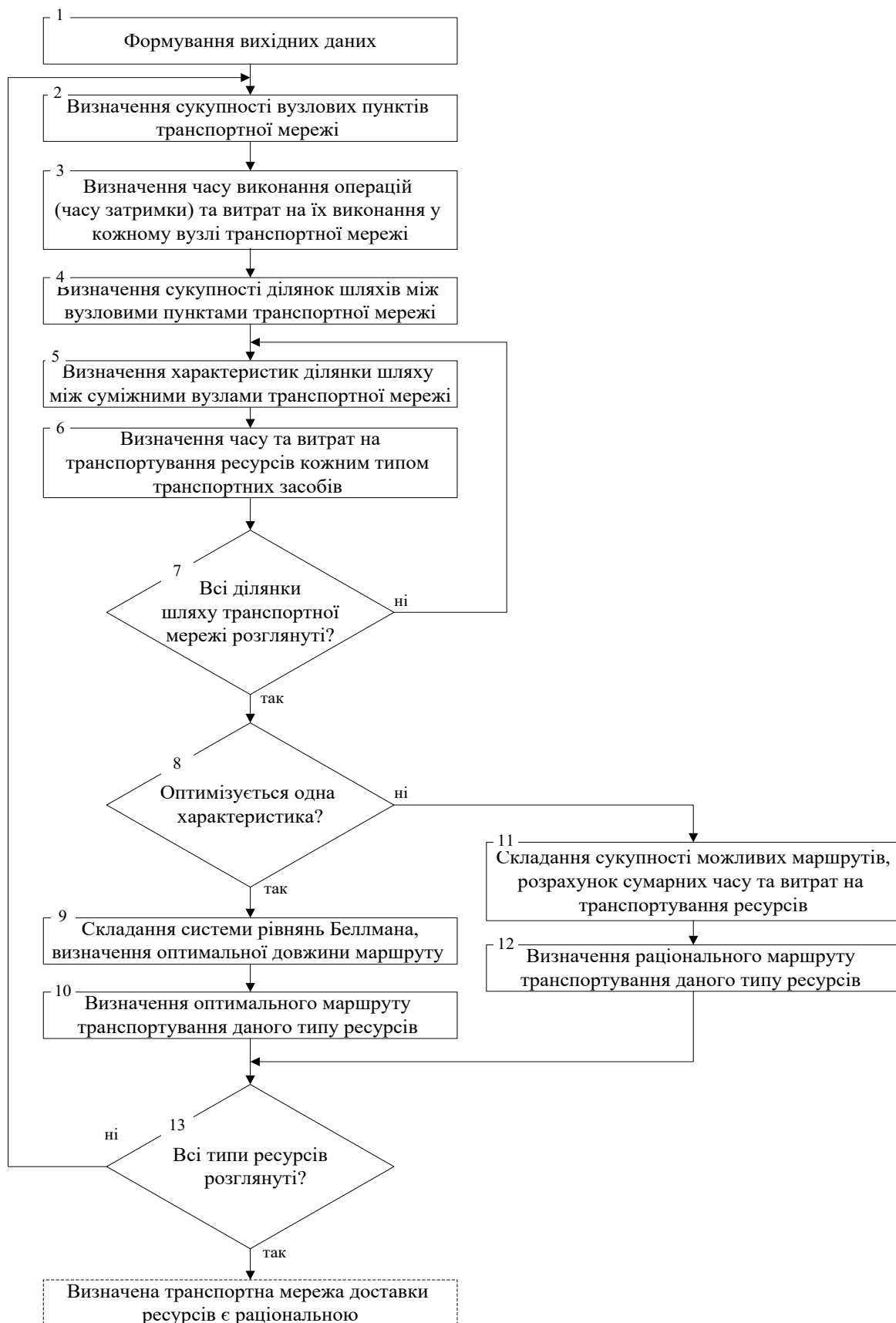


Рис 4. Алгоритм визначення раціональної транспортної мережі в системі логістичного забезпечення ПС ЗС України

Методичні рекомендації щодо організації доставки матеріально-технічних засобів в системі логістичного забезпечення Повітряних Сил Збройних Сил України.

Основним призначенням Методичних рекомендацій щодо організації доставки МтЗ в системі ЛЗ ПС ЗС України є обґрунтування рішень щодо створення запасів МтЗ та визначення транспортної мережі їх доставки. Результати обґрунтування цих рішень в подальшому повинні використовуватися для покращення ефективності системи доставки.

Методичні рекомендації, згідно запропонованому вище алгоритму, можуть бути використанні органами військового управління в системі логістичного забезпечення ПС ЗС України при проведенні оперативних та оперативно-тактичних розрахунків при підготовці та веденні операцій (бойових дій).

Структура цих Методичних рекомендацій з організації доставки МтЗ в системі ЛЗ ПС ЗС України повинна складати розділи які відображають основні питання з:

- призначення методичних рекомендацій, основних понять та показників, що використовуються;
- загальні положення з організації доставки МтЗ в системі логістичного забезпечення ПС ЗС України;
- алгоритм (порядок, послідовності) виконання заходів з організації доставки МтЗ в системі логістичного забезпечення ПС ЗС України.

ВИСНОВКИ З ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

Таким чином, за результатами розглянутих пропозицій щодо побудови інформаційної технології розробки бази знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних і аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища можна зробити наступні висновки:

1. Запропонована інформаційна технологія дозволяє реалізувати промислову розробку бази знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних і аерофотознімках з використанням нейромереж та нечіткої логіки, з чітко визначеною і взаємозалежною сукупністю етапів, з можливістю подальшого розпаралелювання виконання підетапів, з урахуванням особливостей подання (формалізації) знань про

розпізнавання міських будов на цифрових космічних і аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища. Перспективами подальших досліджень у цьому напрямку може бути розробка пропозицій щодо використання засобів автоматизованого проектування баз знань у автоматизованих системах моніторингу міського середовища.

2. Запропонована архітектура ансамблю нейронних мереж на основі модифікованої згорткової нейронної мережі для сегментації зображень (автокодувальника) U-Net. Модифікація U-Net виконана за рахунок, по-перше, модифікації підмережі вилучення ознак з використанням у якості енкодера попередньо навченої глибокої ЗНМ VGG, по-друге, за рахунок реалізації класифікатора автокодувальника з використанням модифікованої нечіткої нейронної мережі Ванга-Менделя на основі ІНМТ2 для попиксельної класифікації визначених об'єктів. Використання розробленої архітектури дозволить підвищити точність сегментації міських будов на цифрових космічних і аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища.

3. Замість НМТ1 модифікованої нечіткої нейронної продукційної мережі Ванга-Менделя запропоновано використання ІНМТ2. Розглянуті ІНМТ2, з одного боку, забезпечують формалізацію більшої кількості додаткових ступенів невизначеності у порівнянні з НМТ1, з іншого боку, є такими, що "реалізуються" при розробці нечітких систем (моделей) та мають меншу обчислювальну складність, у порівнянні з НМТ2.

4. Для порівняння сігментованих різночасових зображень за результатами розпізнавання міських будов на цифрових космічних і аерофотознімках доцільно використовувати метод зіставлення знімків після класифікації (сігментації).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Основні положення логістичного забезпечення Збройних Сил України (Наказ Міністерства оборони України), № 522 від 11.10.2016.
- [2] Дудар, Т.Г. & Волошин, Р.В. (2012). *Основи логістики*. Харків: Вид. Центр учбової літератури.
- [3] Науменко, М.О. & Морозова, Л.В. (2016). Удосконалення організаційної та функціональної структури логістичного забезпечення Збройних Сил України. *Бізнес Інформ*, (3), 279–284.
- [4] Гурін, О.М. (2017). Методика формування раціональної структури системи матеріального забезпечення повітряного командування Повітряних Сил Збройних Сил України у повітряній операції. *Збірник наукових праць ХНУПС*, 2(51), 35–39.
- [5] Залевський, Г. С., Леках, А. А., Гурін, О. М., Старцев, В. В., & Калачова, В. В. (2019). Показники

- та критерії комплексної методики оцінювання ефективності виконання завдань логістичного забезпечення військових частин Повітряних Сил Збройних Сил України у збройному конфлікті. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, (3), 45-52.
- [6] Уилсон, Р. (1977). *Введение в теорию графов*. Москва: Мир.
- [7] Харари, Ф. (2003). *Теория графов*. Москва: УРСС. ISBN 5 354-00301-6.
- [8] Оре, О. (2008). *Теория графов*. Москва: УРСС. ISBN 978-5-397-00044-4.
- [9] Галкина, В. А. (2003). *Построение кратчайших путей в ориентированном графе (Глава 4. Дискретная математика. Комбинаторная оптимизация на графах)*. Москва: Гелиос АРВ. ISBN 5-85438-069-2.
- [10] Гурін, О.М. (2016). Проведення аналізу шляхів формування обґрунтованого раціонального варіанту тилового забезпечення бойових дій ПС ЗС України. *Збірник наукових праць ХУПС*, 1(46), 37–40.
- [11] Дробаха, Г.А. (2018). Обґрунтування показників та критеріїв ефективності системи матеріального забезпечення повітряного командування під час підготовки бойових дій. *Честь і закон*, 1(64), 78–83.
- [12] Пономаренко, В.С., Голубничий, Д.Ю. & Третьак, В.Ф. (2005). *Цілочисельне програмування в економіці*. Харків: Вид. ХНУ.
- [13] Третьак, В.Ф., Кужель, І.Є. & Приходько, В.М. (2010). Використання технології реплікації у системі управління розподіленими базами даних. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*, 2(24), 109-114.
- [14] Третьак, В.Ф., Місюра, О.М. & Більчук, В.М. (2017). Метод оптимізації структури розподіленої бази даних у вузлах інфокомунікаційної мережі хмарного середовища. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, (1), 92-96.
- [15] Третьак, В.Ф. & Пашнєва, А.А. (2017). Оптимізація структури сховища даних у вузлах інфокомунікаційної мережі хмарного середовища. *Системи управління, навігації та зв'язку*, 4(44), 122-128.

ПАРАЛЕЛЬНІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ СТРУКТУРИ ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧ ДИСКРЕТНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

ПЕТРЕНКО Ольга Євгенівна 

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
Харківський національний університет радіоелектроніки

НОСИК Андрій Михайлович 

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
доцент кафедри «Мультимедійних інформаційних технологій і систем»
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

УКРАЇНА

Анотація: Проблеми автоматизації різних процесів управління і обробки даних на основі застосування сучасних засобів обчислювальної техніки є на сьогодні однією з головних задач інформаційних технологій. Успішне рішення цих проблем залежить від сумісних зусиль різних фахівців. Одержані цікаві результати в області розробки і дослідження нових математичних моделей ряду важливих процесів, створення ефективних математичних методів рішення задач, що виникають при побудові автоматизованих систем, зокрема, задач дискретної і комбінаторної оптимізації в різних постановках. У монографії надані паралельні обчислювальні структури для рішення задач дискретної оптимізації.

ВСТУП.

Математичний аналіз принципів побудови супер-ЕОМ і інших високопродуктивних систем значною мірою ускладнюється більшою їхньою розмаїтістю, численними поняттями й відсутністю формалізованих принципів дослідження.

Варто виділити монографію В. В. Воєводіна [2], в якій зроблена спроба об'єднати дослідження обчислювальних методів і обчислювальних структур у єдиний процес, і розглянути питання відображення проблем обчислювальної математики й обчислювальних структур. В науковому виданні зроблений песимістичний вивід про те, що немає ніяких підстав сподіватися на одержання загального завдання відображення проблем математики на обчислювальні структури за

допомогою деякого універсального методу. Вивід базується на тім, що алгоритми можна зображувати ациклічно орієнтованими графами, а ряд завдань, пов'язаних з аналізом можливості ефективної реалізації довільного алгоритму A_1 , якому відповідає граф G_1 , на обчислювальній структурі заданій графом G_2 , ставляться до NP-повних завдань.

Мета роботи надати архітектури паралельних обчислювальних структур для рішення задач дискретної оптимізації.

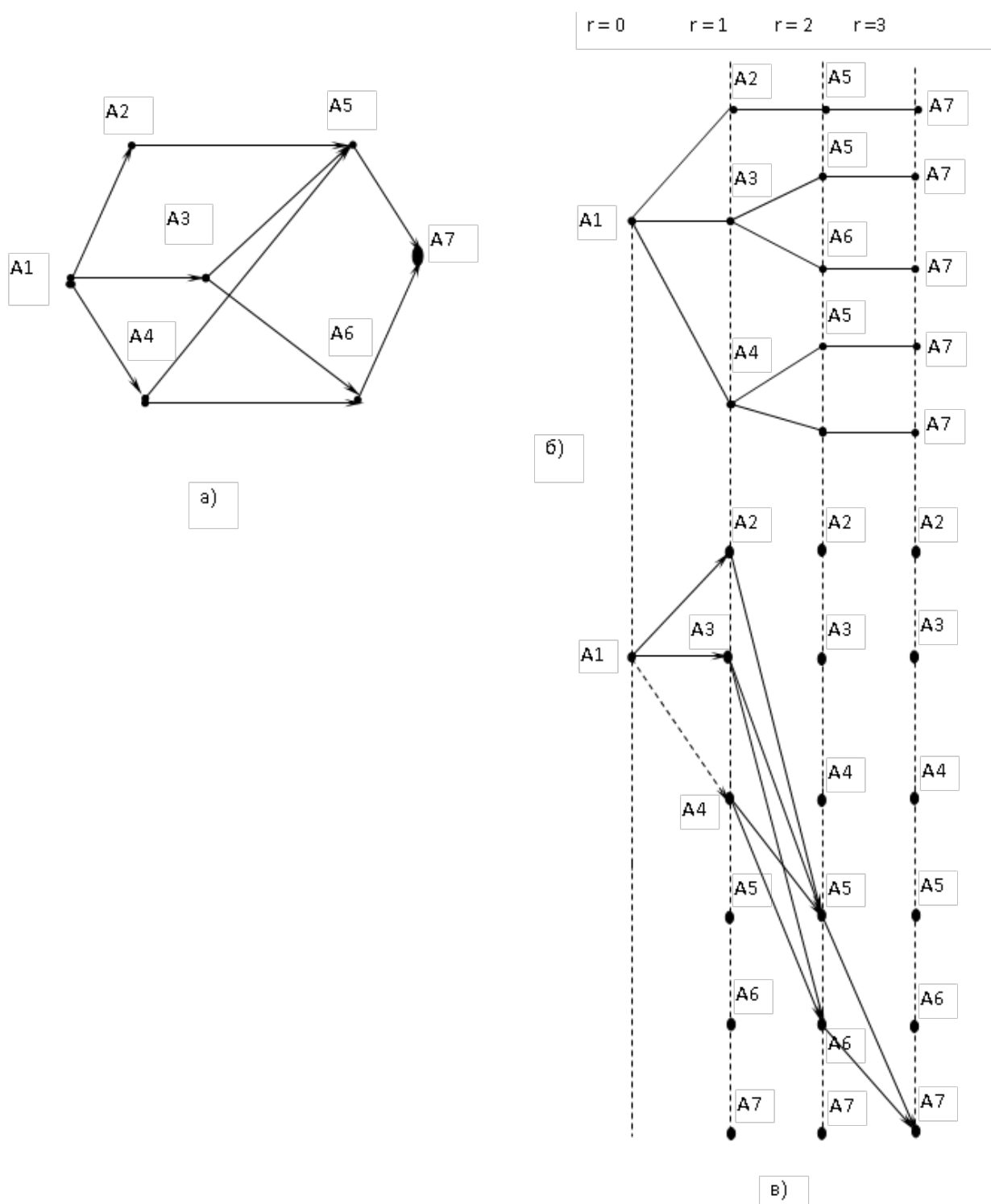
ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ І ЇХНЬОГО МАТЕМАТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.

Алгоритм можна подавати у вигляді графів, при цьому природно покласти, що алгоритм і його правило, яке описує, дозволяють визначити: множину змінних, у перетворенні яких полягає реалізація алгоритму; множину операцій, які виконуються у процесі реалізації алгоритму; відповідність, що показує які результати виконання попередніх операцій є аргументами для кожної операції.

Нехай заданий деякий алгоритм A (рис. 1). Його можна зобразити у вигляді підмножини алгоритмів $\{A_j\} \ j = (\overline{1, n})$, які необхідно виконати в певній послідовності, заданої графом $G(V, E)$. В останньому кожна вершина відповідає алгоритму A_j , а кожне ребро між вершинами i – j , спрямоване від вершини i до j , існує тільки в тому випадку, якщо алгоритм A_j можна виконати тільки після реалізації алгоритму A_i .

На рис. 1-а наведена структурна схема деякого алгоритму A , задана у вигляді графа $G(V, E)$, з якого видно, що для його реалізації спочатку потрібно виконати алгоритм A_1 . Результати роботи цього алгоритму є вхідними даними для виконання алгоритмів A_2, A_3, A_4 . Після їхнього виконання реалізується алгоритм A_5 , а алгоритм A_6 спрацьовується після алгоритмів A_3, A_4 , а A_7 – слідом за A_5 і A_6 . Очевидно, що число різних подань графів алгоритму A визначається множиною способів, які використовуються для рішення задачі [1].

У принципі, граф G (рис. 1-а) можна розглядати як структуру програмного виробу, що реалізує алгоритм A . Тоді $\{A_j\}$ - множина програмних модулів, з яких складається програма реалізації алгоритму A . Очевидно, що якщо в кожную вершину графа G (рис. 1-а) помістити процесор, орієнтований на виконання алгоритму A_j , то ми одержимо обчислювальну структуру, що дозволяє реалізувати алгоритм A .

Рис. 1. Структура графа G

Припустимо, що кожний процесор P_j виконує алгоритм A_j відразу, як тільки на його вхід надійдуть усі необхідні дані. Позначимо t_j - час реалізації кожного з алгоритмів A_j на відповідному процесорі P_j . Тоді, якщо привласнити вершинам графа $G(V,E)$ усі ваги t_j , мінімальний час реалізації алгоритму A не може перевищити довжину критичного

(самого довгого) шляху M_{17} у графі G . Очевидно, що така обчислювальна структура ідеальна для даного подання графа алгоритму A , оскільки вона забезпечує дозвіл завдання за мінімальний час.

Ранг критичного шляху (число ребер у шляху) у графі $G(V,E)$, який відповідає деякому алгоритму A , будемо називати глибиною алгоритму A , а максимальне число алгоритмів $A_j \in A$, яких можна одночасно виконати на довільному r -м кроці реалізації алгоритму A , - шириною алгоритму. Надалі глибину й ширину довільного алгоритму позначимо буквами a й h . Припустимо, що кожний з алгоритмів $\{A_j\} \in A$ реалізується на будь-якому процесорі P_j .

Нехай задана структурна схема алгоритму A графом $G(V,E)$. Виникає завдання визначення оптимальної стратегії розподілу алгоритмів $\{A_j\}$ за процесорами $\{P_j\}$, при якій час рішення задачі відрізняється від довжини критичного шляху в графі $G(V,E)$ на мінімально можливу величину. Обрана стратегія їхнього використання й повинна визначити обчислювальну структуру. Якщо ширина алгоритму дорівнює h , то природно спробувати обмежитися h -процесорами для реалізації алгоритму A .

Для цього уявимо граф $G(V,E)$ алгоритму A в вигляді стягнутого дерева всіх шляхів. Воно будується по матриці суміжності $B = \|b_{ij}\|$ від деякої вершини S таким чином:

1. Позначимо вершину S і беремо S -й рядок матриці B .
1. За цим рядком вибираємо номер вершин j_1 , для яких $b_{sj} \neq 0$, і утворимо множина вершин, що мають від вершини S шлях рангу $r = 1$ (вершини першого ярусу).
2. Вершини r -го ярусу зі шляхами рангу r від вершини S перебувають почерговим переглядом рядків вершин j_{r-1} , в $(r - 1)$ ярусі, які не зустрічалися в шляху від S до j_{r-1} .
3. Побудова дерева триває до одержання шляхів максимального можливого рангу, або до тих пір, поки для вершин j_{r-1} не виявиться, що всі вершини вже ввійшли в шлях μsj_{r-1} .

У загальному випадку число розгалужень у такому дереві $(N - 1)$, тобто для цього утворення буде потрібний $(N-1)$ регістр пам'яті. Щоб уникнути подібного роду труднощів, перейдемо від дерева D усіх шляхів до стягнутого дерева всіх шляхів (рис. 1-в). Воно може бути отримано стягуванням однойменних вершин дерева D на кожному ярусі. При цьому вершини з однаковими номерами на кожному ярусі впорядковуються в

горизонтальні лінійки. Як видно з (рис. 1-в), множина шляхів у стягнутому дереві шляхів така ж, як і в дереві D (рис. 1-б), але для прочитання шляхів на кожній горизонтальній лінійці дозволяється бути один раз.

Розглянемо стратегію розподілу процесорів за алгоритмами A_i у припущенні, що в нас є N -процесори і число вершин у графі алгоритму так само дорівнює N .

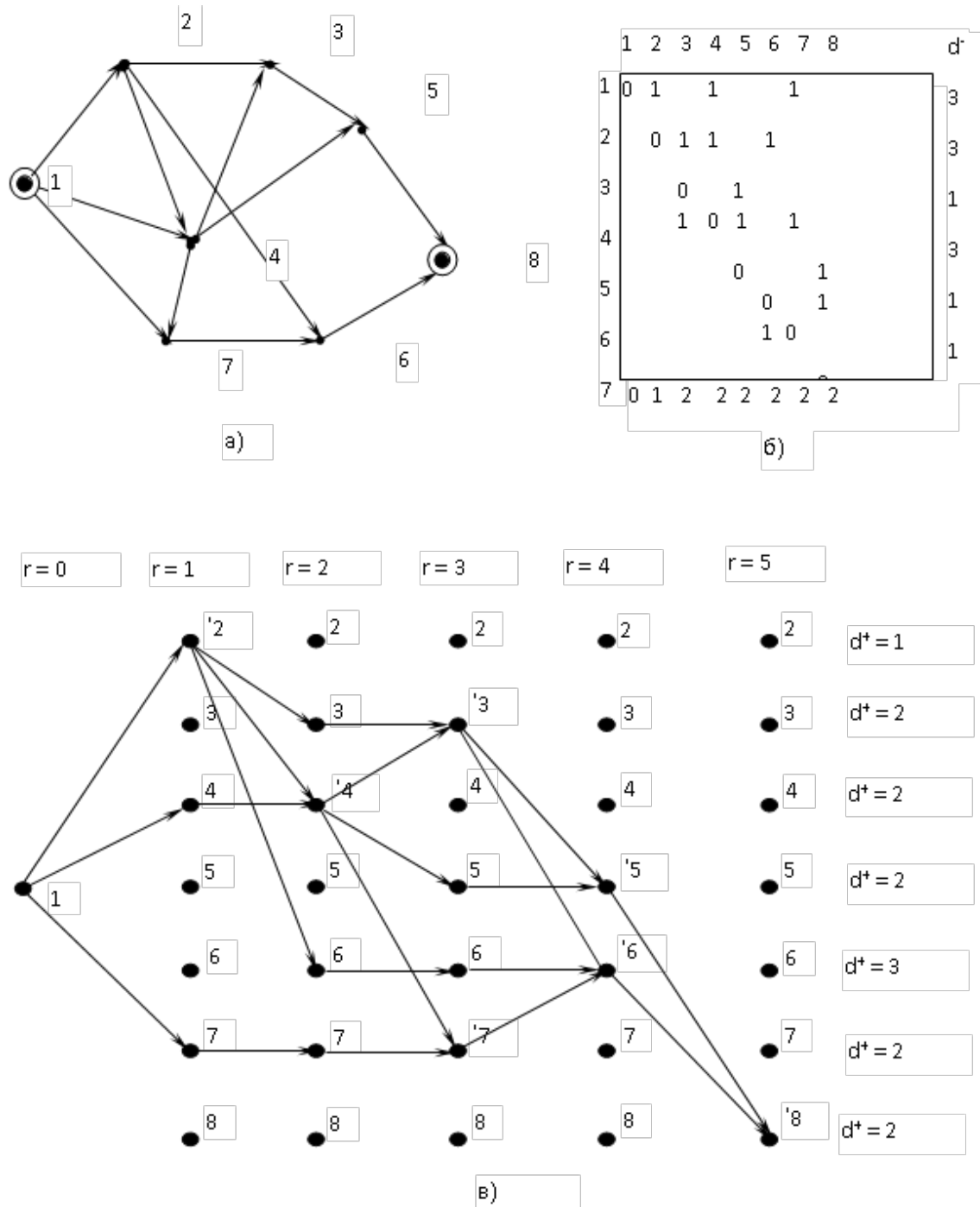
Стратегія полягає в тім, щоб задіяти процесори у відповідності зі стягнутим деревом шляхів графа алгоритму A . Інакше кажучи, на першому кроці працює процесор P_1 , реалізуючи алгоритм A_1 , розташований на першому ярусі ($r = 1$). Далі по матриці суміжності U встановлюється зв'язок між процесорами P_1, P_2, P_3 і P_4 . Після закінчення роботи всіх процесорів P_2, P_3, P_4 відповідно до матриці суміжності U встановлюється зв'язок процесорів P_2, P_3, P_4 із процесорами P_5, P_6 . Результати роботи процесорів P_2, P_3, P_4 передаються на процесори P_5, P_6 далі процесори P_5, P_6 реалізують алгоритми A_5, A_6 .

Після закінчення їхнього виконання, по матриці суміжності встановлюється зв'язок між процесорами P_5, P_6 і процесором P_7 та йому передається вся необхідна інформація для роботи. У такий спосіб рішення завдання здійснюється в процесі побудови стягнутого дерева шляхів. На кожному етапі обчислень взаємодіють процесори, що відповідають вершинам у стягнутому дереві шляхів, розташованим на n -м і $r+1$ ярусі.

Ми розглянули приклад (рис. 1), коли структурна схема алгоритму складена так, що алгоритми A_j на кожному ярусі одержують необхідні вихідні дані для їхньої реалізації. У загальному випадку при довільному завданні структурної схеми алгоритму ця умова може не дотримуватися (рис. 2).

Наприклад, якщо структурна схема алгоритму A задана графом $G'(V, E)$, зображеним на рис. 2-а. На рис. 2-б наведена матриця суміжності графа G і значень ступеня d^- – результату кожної вершини й d^+ - ступеня заходу. Ясно, що ступінь вершини графа G' дорівнює $d = d^- + d^+$. У цьому випадку побудова стягнутого дерева шляхів (рис. 2-б) відрізняється тільки лише тим, що від вершини і зв'язок з вершинами наступного ярусу встановлюється лише, коли ступінь заходу вершини досягла величини, обумовленої матрицею суміжності B .

Фактично це означає, що процесор з номером j займається з першої подачі на нього інформації, необхідної для реалізації алгоритму А, і він залишається зайнятим доти, поки число звертань до нього не досягне ступеня заходу d_j^+ . Ступінь вершини графа G' дорівнює $d = d^- + d^+$. У цьому випадку побудова стягнутого дерева шляхів (рис. 2-б) відрізняється тільки лише тим, що від вершини i зв'язок з вершинами наступного ярусу встановлюється лише коли ступінь заходу вершини досягла величини, обумовленою матрицею суміжності В.



Фактично це означає, що процесор з номером j займається з першої подачі на нього інформації, необхідної для реалізації алгоритму A , і він залишається зайнятим доти, поки число звертань до нього не досягне ступеня заходу d_j^+ . Це означає, що вся вихідна інформація для виконання алгоритму A_j отримана і процесор j здатний його реалізувати.

Відповідно до стягнутого дерева шляхів (рис. 2-в) виконання алгоритму A , наданого графом G (рис. 2-а), здійснюється таким чином. Процесор P_1 виконує алгоритм A_1 , далі відповідно до B , устанавлюються зв'язки із процесорами P_2, P_4, P_7 і на них пересилаються результати виконання A_1 . При цьому процесор P_2 одержує всю необхідну інформацію й відпрацьовує алгоритм A_2 . Процесори P_4, P_7 зайняті й перебувають у режимі очікування. Далі по U встановлюються зв'язки із процесорами P_3, P_4, P_6 і передається інформація, необхідна для їхньої роботи. Ступінь заходу вершини 4 стане рівною $d^+ = 2$, обумовленою матрицею B і, отже, процесор P_4 може виконати алгоритм A_4 . На рис. 2. номери процесорів, що звільнилися на кожному ярусі, позначені зірочками (*). Для процесора P_4 визначаємо по U зв'язку із процесорами P_3, P_5, P_7 при цьому процесори P_3 і P_7 виконують свої алгоритми та передають інформацію на процесори P_5, P_6 , які реалізують алгоритми A_5, A_6 і передають вихідні дані на процесор P_8 . Останній і завершить виконання алгоритму A .

Для здійснення такої організації обчислень передбачається використати обчислювальну структуру (рис. 3), що ми й будемо називати циклічною паралельною обчислювальною структурою.

Вона містить n -процесорів (що складаються з пам'яті M_i і арифметичного логічного пристрою A_i), входи й виходи яких приєднані до комутатора розмірності $(n \times n)$. Комутатор управляється пристроєм управління ведення й виводу (ПУВВ) інформації відповідно до матриці B .

Фактична така обчислювальна структура й реалізує побудову стягнутого дерева шляхів графа, забезпечуючи зв'язок між процесорами при переході від ярусу до ярусу за допомогою ПУВВ і комутатора K , на основі матриці B . Обчислювальний процес у такій структурі можна зобразити у вигляді паралельно обертових кілець, рух яких синхронний або асинхронний, залежно від прийнятої організації синхронізації.

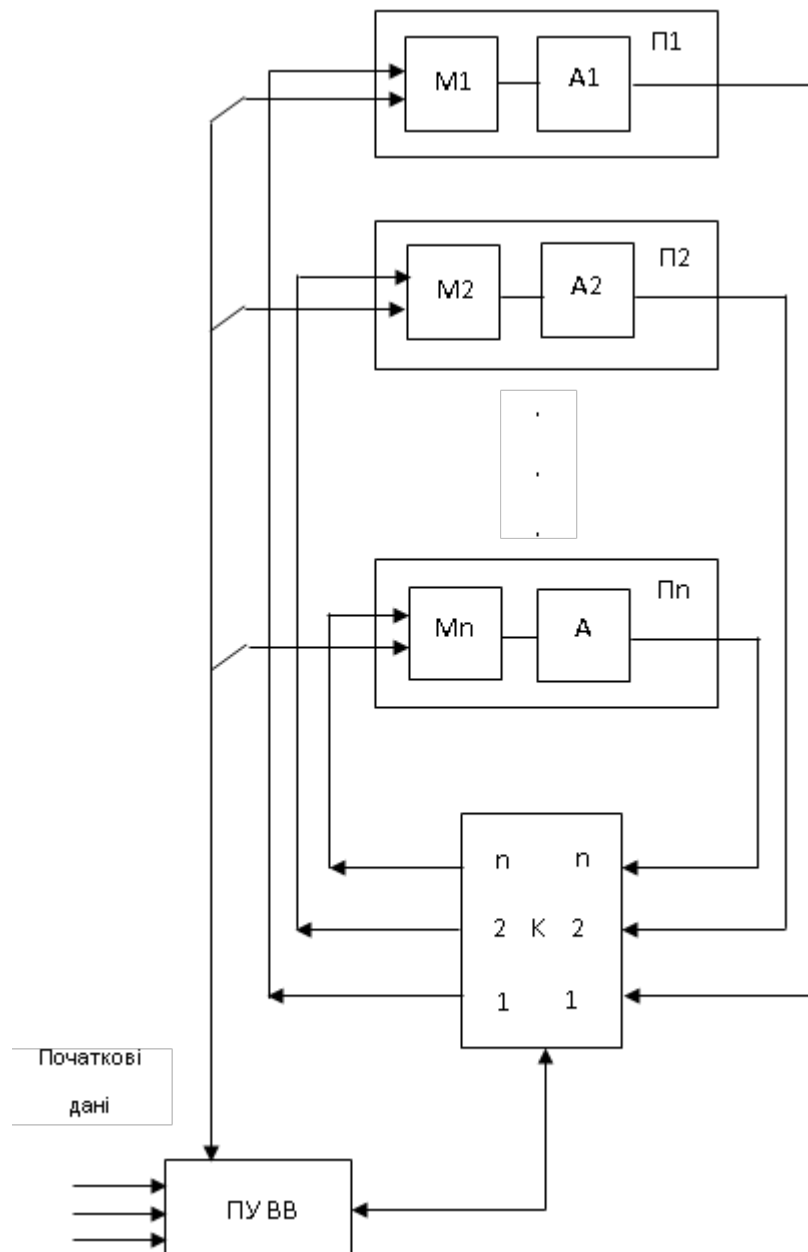


Рис. 3. Обчислювальна структура

Слід зазначити, що якщо число процесорів дорівнює N – числу вершин у структурній схемі алгоритму, заданого графом G , – то на кожному кроці роботи процесорів частина з них простоє. Якщо максимальна ширина алгоритму A дорівнює h , то одночасно на довільному ярусі буде працювати не більше h -процесорів. Такою кількістю процесорів можна обмежитися в кільцевій структурі, за рахунок чого зменшити число процесорів, що простоють. Це досяжно, якщо при переході від ярусу до ярусу в дереві стягнутих шляхів будуть автоматично змінюватися номери процесорів, що комутують, відповідно до матриці суміжності B .

Архітектура кільцевої структури здобуває вигляду, показаною на рис. 4, де ПКП (пристрій керування перенумерацією комутатора К) для залучення процесорів, що відповідають наступному ярусу стягнутого дерева шляхів.

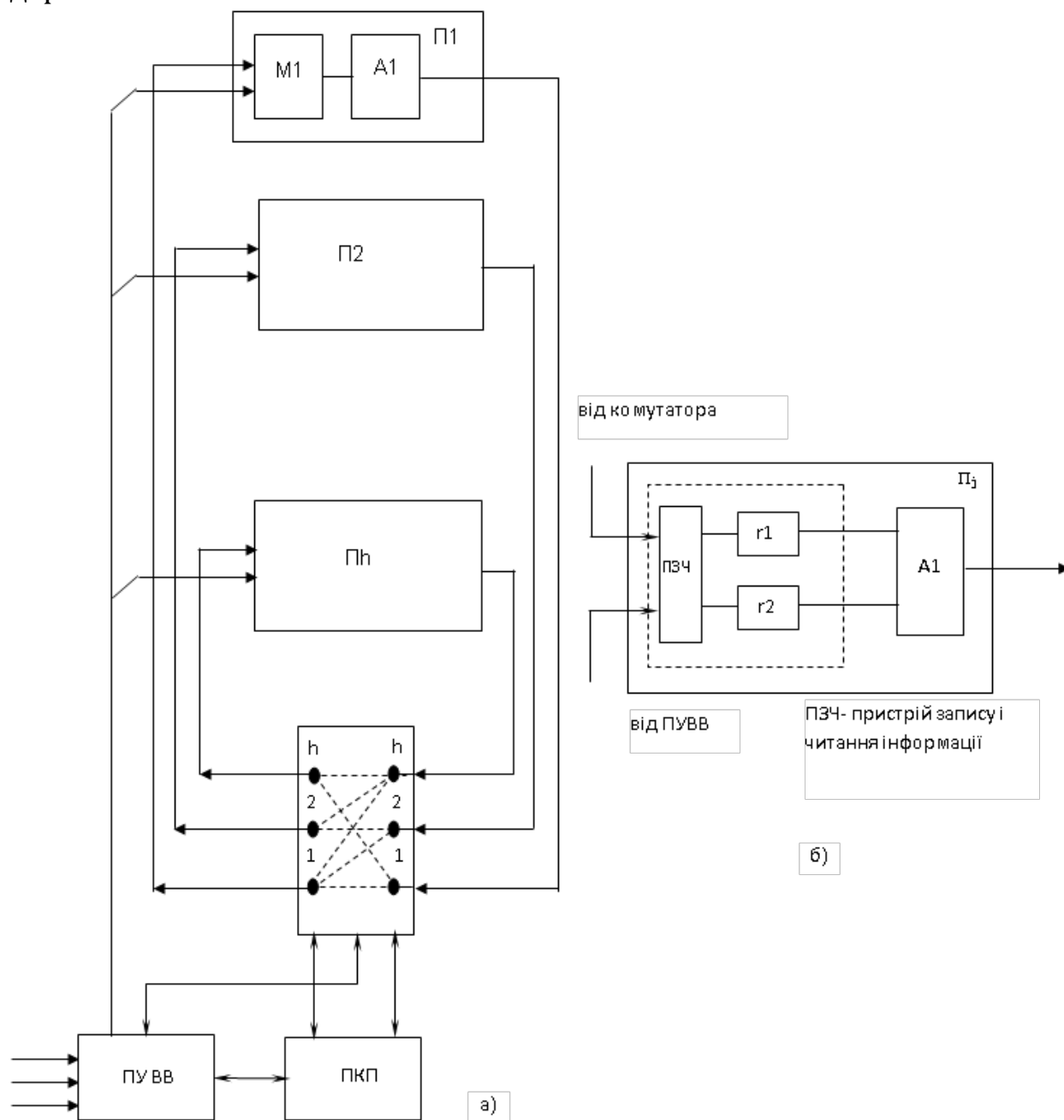


Рис. 4. Архітектура кільцевої циклічної ПОС

При реалізації алгоритму А на кільцевій структурі час виконання алгоритму відрізняється від довгі критичного шляху тільки на величину at_k , де t_k – час спрацьовування комутатора. При побудові комутатора на основі програмувальних логічних матриць t_k визначається часом перемикавання логічного елемента "І".

Якщо $t_k < \min \{t_j\}$, то час виконання алгоритму A на циклічній обчислювальній структурі буде в точності дорівнювати довжині критичного шляху.

ВАРІАНТИ ПОБУДОВИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ЦИКЛІЧНОГО ТИПУ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ.

Процес реалізації алгоритму A розбивається на множину алгоритмів $\{A_i\}$, кожний з яких у свою чергу знову розбивається на підмножину алгоритмів $\{A_{ij}\}$ і т. д., до тих пір, поки алгоритм буде зображувати просто одну з базових операцій $y_i \in Y$. Множина Y утворює функціонально повну систему. Тому процесори Π_i доцільно створювати з використанням транспютерної технології побудови високопродуктивних мікропроцесорів, утворених за принципом RISC – архітектури, яка має локальну пам'ять, що становить два регістри й пристрої запису та зчитування інформації. RISC процесор містить арифметичний пристрій A_i (рис. 5), що забезпечує виконання базових арифметичних операцій. Процесор у цьому випадку реалізує зазначені операції над двома числами й, отже, структурна схема алгоритму A повинна подаватися у вигляді орієнтованого графа, в якому ступінь заходу вершини не більше двох, а ступеня результату – довільна. У процесорах можна звільнитися від ПЗЧ (рис. 5), тобто розпаралелити процес запису вихідної інформації в регістрі пам'яті, що вимагає додаткового комутатора K , який працює в паралель із основними. При цьому архітектура обчислювальної системи буде мати вигляд як на рис. 5.

Для оцінки роботи алгоритмів на таких системах використаємо критерій – коефіцієнт прискорення:

$$K_y = \frac{T_1}{T_n}, \quad (1)$$

де: T_1 час реалізації алгоритму A на гіпотетичній однопроцесорній ЕОМ з такою ж швидкодією, як і Π_j , і оперативною пам'яттю, рівною сумарній пам'яті Π_j , при наявності необхідного числа зовнішніх пристроїв зі швидкостями обміну інформацією як і в циклічній обчислювальній системі;

T_n – час реалізації алгоритму A на циклічній обчислювальній системі, що містить n -процесорів.

Якщо алгоритм A зображений структурною схемою, заданою графом G , що містить n -вершин, то:

$$T_1 = \sum_{i=1}^n t_i + nt_0, \quad (2)$$

де: t_i – час виконання i – базової операції,
 t_0 – час обміну.

Час роботи алгоритму А на структурах, зображено на рис. 5.6, можна визначити так:

$$T_n = \sum_{j=1}^a t_j^{\max} + at_0, \quad (3)$$

де: $t_j^{\max}$ – найбільше із часів базових операцій, виконуваних одночасно декількома процесорами на j -му кроці;
 a – глибина алгоритму А, заданого графом G.

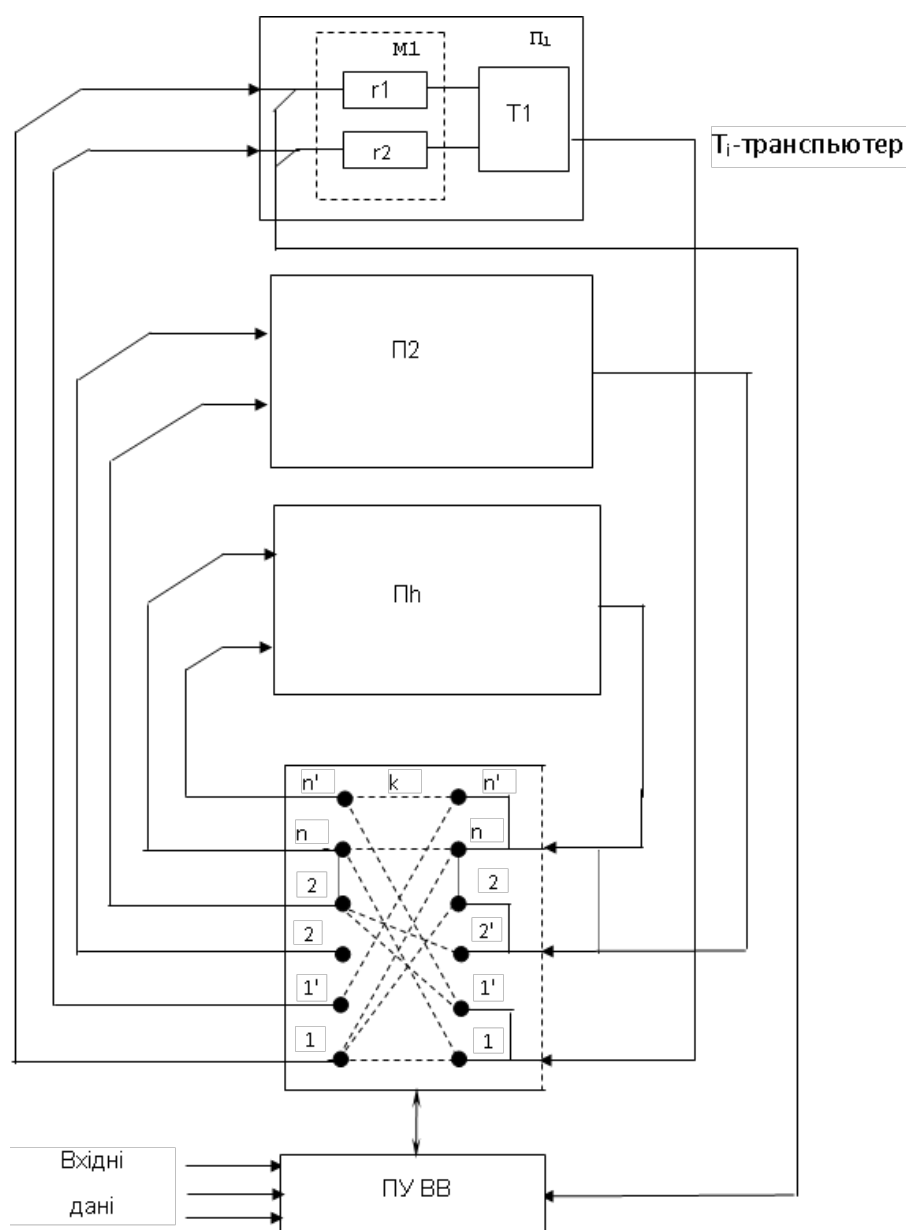


Рис. 5. Обчислювальна структура

Тоді коефіцієнт прискорення прийме вигляд:

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^n t_i + nt_0}{\sum_{j=1}^a t_j^{\max} + at_0}. \quad (4)$$

Для спрощення аналізу покладемо $t = \overline{t_k}$ – середнє значення по $i = (1, n)$, а $t_j^{\max} = \overline{t_a}$ – середнє значення по $j = (1, a)$, при цьому

$$K_y = \frac{n}{a} \alpha, \quad (5)$$

$$\text{де: } \alpha = \frac{\overline{t_k \pm t_0}}{\overline{t_a \pm t_0}}.$$

Як видно зі співвідношення (5) зі зменшенням глибини алгоритму A зростає коефіцієнт прискорення.

У випадку, коли кожний процесор спеціалізується на виконанні алгоритмів якоїсь підмножини алгоритмів $\{A_j\}$, можлива організація обчислень циклічного типу на обчислювальній структурі, зображеної на рис. 6.

У структурі зображеній на рис. 6 пам'ять процесора Π_i включає $(n - 1)$ регістр, закріплений за кожним Π_i процесором ($i = \overline{1, n}$); комутатор K_i ; пристрій управління записом і зчитуванням; арифметико-логічні блоки (за числом регістрів); пристрій аналізу $ПА_i$, що за певним критерієм вибирає з результатів роботи A_j найкращий. Кільця циркуляції інформації замикаються через блок вибору напрямку передачі інформації (БВН), він послідовно здійснює опитування процесорів Π_i . Інформація процесора $I=1$ за допомогою комутатора K_i записується в регістри пам'яті всіх процесорів Π_i , закріплених за процесором з номером i . Після закінчення опитування процесорів вони виконують операції за отриманими даними, а результати їхньої роботи знову за допомогою БВН і комутаторів K заносяться в регістри пам'яті, закріпленої за процесорами. Описані операції виконуються до повної реалізації алгоритму A . Для цього варіанту коефіцієнт прискорення визначається вираженням:

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^n t_i + nt_0}{\sum_{j=1}^a t_j^{\max} + \alpha nt_0}. \quad (6)$$

Щоб забезпечити прискорення, у цьому випадку повинна виконуватися нерівність:

$$\sum_{i=1}^n t_i - \sum_{j=1}^a t_j^{\max} > nt_0(a-1) \quad (7)$$

при $t_i = t_k$ і $t_j^{\max} = t_0$

$$\frac{n}{a} > \frac{t_k \pm nt_0}{t_a \pm t_0}. \quad (8)$$

У реальних завданнях час виконання алгоритму $A_j \in A$ відмінний. Тому якщо $\Delta t = (t_1^{\max} - t_2^{\min})$ – час між закінченням виконання самого трудомісткого алгоритму $A_1 \in \{A_i\}$ і найпростішого $A_2 \in \{A_i\}$ використати для опитування процесорів Π_i , то прискорення, що впливає з (6) може зрости до величини обумовленої співвідношенням (5). Останнє еквівалентно пропозиції, що $n = 1$ у знаменнику дробу, обумовленої співвідношенням (6). Таку структуру кільцевої мережі ефективно прийняти для визначення найкоротших шляхів рішення завдань динамічного програмування й варіаційного обчислення.

Реалізація кільцевих структур (рис. 4, 5) можлива й на базі багатоканальних систем зв'язку, що використовують частотне або тимчасове ущільнення. Кількість каналів зв'язку буде визначатися числом регістрів пам'яті, які є у наявності у процесорах Π_i , тобто кожний процесор забезпечується багатоканальним приймачем і передавачем. Розглянуті структури циклічного типу зможуть успішно конкурувати з конвеєрними обчислювачами, побудованими на базі однорідних обчислювальних систем.

Для задач ЦЛП із БЗ паралельна форма узагальненої процедури A_0 збігається із графом ΔD [1]. У цьому випадку паралельна обчислювальна структура циклічного типу має вигляд, зображений на рис. 5. Як видно з рис. 6 роль комутатора виконує процесор Π_x . Процесори Π_i $i = (1, n)$ служать для зберігання й вибору шляху, яке відповідає обраному правилу відсікань $\{L_w\}$. ПУВВ відповідає за початкове завантаження вихідних даних (ваг вершин, каліброваних векторів і т. д.) та вивід результату після одержання припустимого або екстремального рішення. Усім процесом управляє пристрій управління (ПУ). Кожний Π_i процесор відповідає i -тій вершині графа ΔD і зберігає постійно всі властиві їй ваги. На цій структурі завдання вирішується в такий спосіб. Пристрій керування формує n раз керуючу послідовність тактів. У кожному такті формується множина шляхів у процесорі Π_x , що

відповідають номеру k даного такту. Для цього із процесорів Π_i і J k вибираються, згідно з правилами відсікань $\{L_w\}$, шляхи, які узагальнюються в Π_x . Після цього результат сформованої множини записується в k -і процесор. І так доти, поки всі множини поточного рангу не будуть сформовані.

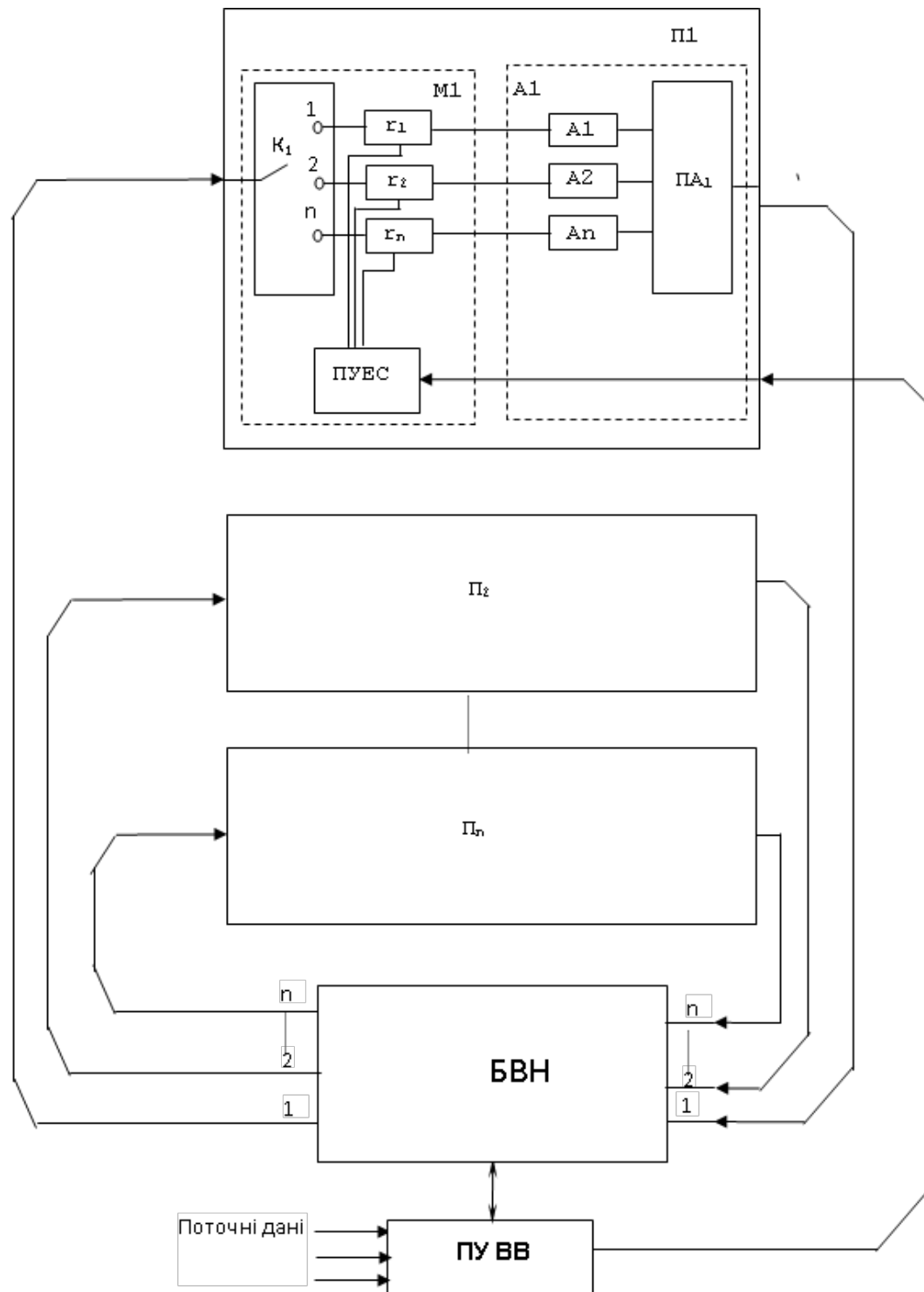


Рис. 6. Обчислювальна структура

По закінченні формування шляхів рангу r виробляється побудова шляхів рангу $r = r + 1$ і так доти, поки або всі множини не будуть порожніми (що відповідає нульовому лічильнику векторів поточного рангу), або ранг шляху стане рівним n . Слід зазначити, що для організації зберігання множин як попереднього, так і наступного рангів, необхідно передбачити режим поділу адрес оперативної пам'яті усередині процесорів, щоб при записі множин сформованого рангу не затерти множини збережених векторів поточного рангу.

АРХІТЕКТУРА ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СТРУКТУР СИСТОЛІЧНОГО ТИПУ.

Розглянемо реалізацію алгоритмів паралельних обчислень на систолічних масивах.

Систолічний масив – це обчислювальна мережа, що володіє наступними властивостями:

1. Синхронність. Дані обчислюються ритмічно (при глобальному тактуванні) і пропускаються по мережі.

2. Модульність і регулярність. Масив містить модульні процесорні елементи з однорідними зв'язками. Більш того, обчислювальна мережа може необмежено розширюватися.

3. Просторова локальність і тимчасова локальність. Масив характеризується локально зв'язаною структурою меж з'єднань, тобто просторовою локальністю. У структурі існує розподілена затримка (щонайменше – одиничної тривалості), протягом якої можуть бути завершені прийом, обробка й видача сигналу від одного вузла до іншого, тобто тимчасова локальність.

4. Конвеєрність. Масив проявляє конвеєрність із лінійною швидкістю, тобто досягається прискорення обчислень $O(M)$, де M – число процесорних елементів (ПЕ). Тут ефективність роботи масиву визначається коефіцієнтом прискорення T_s/T_p , де T_s – час обробки на одному процесорі й T_p – час обробки на матричному процесорі.

Систолічні масиви добре пристосовані для НВІС-реалізації обчислювально-ємних алгоритмів. Вони мають такі переваги, як: модульність, регулярність, локальні міжз'єднання, високий ступінь конвеєрної мультиобробки й безперервний потік даних між ПЕ. Недолік систолічних масивів складається в глобальному керуванні їхнім

функціонуванням за допомогою потактової синхронізації. В апаратурній реалізації глобальна синхронізація призводить до проблем розфазування синхронізуючих імпульсів, відмовостійкості й пікової потужності.

Матричний процесор можна використати як прискорювач, приєднаний до сумісної провідної ЕОМ, або як самостійну ЕОМ, оснащену керуючим процесором. Провідна ЕОМ повинна забезпечувати системне керування й керування даними, встановлювати програму, що управляє всіма пристроями системи, і генерувати коди глобального керування. Вона може бути обрана із широкого діапазону машин, який охоплює різні рівні обчислювальної потужності.

Дана ПОС систолічного типу складається з 4 пристроїв (рис. 7): обчислювальний пристрій 1; обчислювальний пристрій 2; модуль пам'яті; блок керування систолічним процесором.

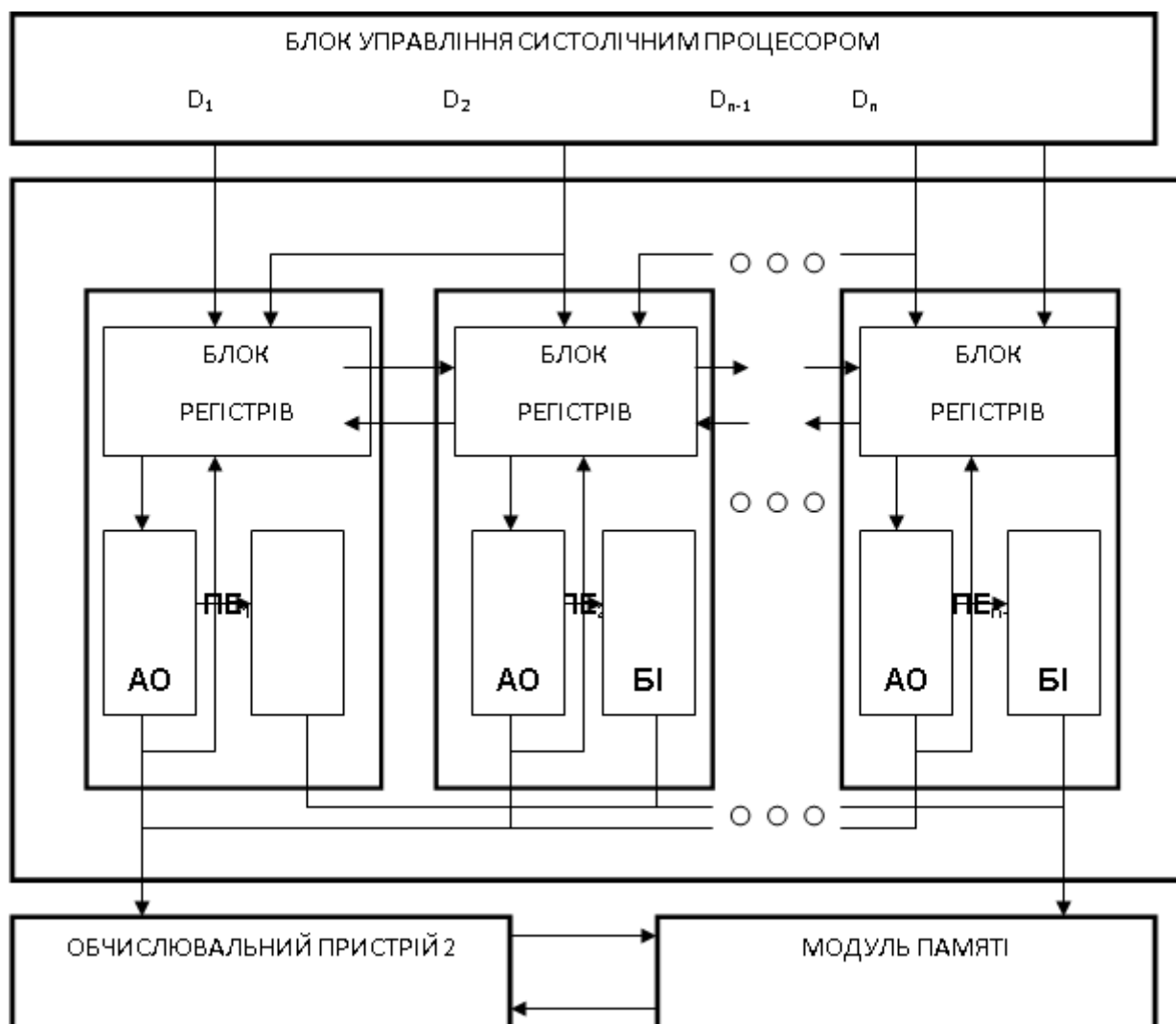


Рис. 7. Архітектура ПОС систолічного типу

Розглянемо призначення, структуру й порядок виконання обчислень систолічною ПОС.

Обчислювальний пристрій 1 (ОП₁) призначений для виконання обчислень локальних екстремумів при заданому функціоналі й обмеженні, а також для визначення (обчислення) номера вершини, у якій локальний екстремум (ЛЕ) вже обчислено. Пристрій складається з $n - 1$ – процесорних систолічних комірок, реалізованих на основі простої структури, й характеризується однорідністю та локальністю зв'язків.

Кожний процесорний елемент має зв'язок тільки із сусіднім. Систолічні елементи працюють паралельно, після виконання обчислень відбувається обмін даними між сусідніми процесорними комірками [4-7].

У табл. 1 показаний порядок обчислень локальних екстремумів. На першому кроці (такті) буде отриманий у ПЕ₁ ЛЕ₁, на другому – у ПЕ₂ ЛЕ₂ і т. д.

Таблиця 1.

Порядок обчислень ПОС

Крок	Виконання обчислень		
	ПЕ ₁	ПЕ ₂	ПЕ ₃
1	1-2	2-3	3-4
2	-	1-3	2-4
3	-	-	1-4
Ранг 1	ЛЕ ₁	ЛЕ ₂	ЛЕ ₃
4	ЛЕ ₁ -3	ЛЕ ₂ -4	-
5	-	ЛЕ ₁ -4	-
Ранг 2	ЛЕ ₁	ЛЕ ₂	-
6	ЛЕ ₁ -4	-	-
Ранг 3	ЛЕ ₁	-	-

Для обчислення глобального екстремума необхідно затратити $N \times (N - 1) / 2$ тактів, що на порядок нижче при обчисленні в однопроцесорному режимі.

Кожний процесорний елемент складається з:

- блоку регістрів (БР), призначеного для зберігання й забезпечення мікрооперації передачі інформації між регістрами БР сусідніх процесорних комірок;

- арифметичного обчислювача (АО), використовуваного для обчислення ЛЕ на підставі даних, що надходять із БР, вибору ЛЕ за максимальним значенням функціонала й мінімальним значенням

обмеження та пересилання його в блок визначення глобального екстремума ОП₂ для обчислення глобального екстремуму;

– блоку ідентифікації (БІ), службовця для визначення номера вершини, у якій ЛЕ визначений.

Обчислювальний пристрій 2 призначений для обчислення із поступаючих ЛЕ глобального екстремуму та формування вектора шляху. Пристрій складається із двох блоків:

- блоку визначення глобального екстремума (БВГЕ);
- блоку визначення вектора шляху (БВВШ).

Блок визначення глобального екстремуму служить для обчислення глобального екстремума й складається зі схеми порівняння, регістрів локального й глобального екстремумів.

Блок визначення вектора шляху використовується для обчислення номера останньої вершини визначення вектору шляху й складається із трьох суматорів, чотирьох лічильників, двох тригерів, регістрів адреси й проміжних обчислень.

Модуль пам'яті призначений для зберігання номерів вершин локальних екстремумів на кожному ранзі обчислень. Складається з дешифратора адреси й пам'яті.

Для виконання обчислень дані надходять одночасно в кожную систолічну комірку. Уведення даних здійснюється під управлінням блоку управління систолічним процесором з буферної пам'яті. Ця пам'ять використовується як буфер між високошвидкісною спеціалізованою шиною й низькошвидкісною шиною ЕОМ. За необхідності дані в буфері обновляються, зчитуються й обробляються систолічною матрицею. Завантаженням буферної пам'яті управляє інтерфейсний процесор, функціональне призначення якого складається в управлінні взаємодією ЕОМ і інтерфейсом системи, плануванні й перевірці обчислень, які виконуються систолічною матрицею.

Таким чином, запропонована архітектура ПОС дозволяє вирішувати задачі ЦЛП із БЗ у масштабі реального часу.

ВИСНОВКИ З ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

Порівняльний аналіз розроблених алгоритмів з відомими за вибраними показниками ефективності показав, що їх часова складність істотним чином залежить від рангу оптимального рішення, який може

належати одній з трьох умовно виділених зон. Тому, об'єктивне порівняння алгоритмів можливо лише для рішень, що належать одній і тій же зоні [1].

З порівняння рішень за зонами видно, що найбільший виграш пропонувані алгоритми дають в другій зоні, де число припустимих рішень експоненціально. Це є важливою перевагою в порівнянні з відомими.

Ефективність виділення "коридору" на ярусі вище за ефективність виділення "коридору" на множинах, тому на останніх етапах багато етапних алгоритмів доцільно використовувати саме цю стратегію відсікань.

Дослідження погрішності наближених алгоритмів показало, що із збільшенням розмірності вирішуваної тестової задачі, вона стабілізується і для різних стратегій відсікань лежить в межах від 1 до 10%.

Розроблено метод паралельних обчислень на основі рангового підходу до рішення задачі ЦЛП з БЗ, який забезпечує лінійну залежність зростання продуктивності системи від кількості процесорних елементів. Застосування методу дозволяє: зменшити на 10 % похибку рішення задачі ЦЛП з БЗ при використанні стратегій MAX, MIN і MAX-MIN для відсікання безперспективних варіантів рішень; розробити паралельні алгоритми для реалізації стратегій MAX, MIN і MAX-MIN; розробити архітектури паралельних обчислювальних структур систолічного типу, які реалізують принцип циклічної обробки даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Пономаренко, В.С., Голубничий, Д.Ю. & Третяк, В.Ф. (2005). *Цілочисельне програмування в економіці*. Харків: Видавництво ХНУ.
- [2] Воеводін, В.В. (1986). *Математические модели и методы в параллельных процессах*. Москва: Наука.
- [3] Третяк, В.Ф., Місюра, О.М. & Більчук, В.М. (2017). Метод оптимізації структури розподіленої бази даних у вузлах інфокомунікаційної мережі хмарного середовища. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, (1), 92-96.
- [4] Третяк, В.Ф. & Пашнєва, А.А. (2017). Оптимізація структури сховища даних у вузлах інфокомунікаційної мережі хмарного середовища. *Системи управління, навігації та зв'язку*, 4(44), 122-128
- [5] Третяк, В.Ф., Кужель, І.Є. & Приходько, В.М. (2010). Використання технології реплікації у системі управління розподіленими базами даних. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*, 2(24), 109-114.
- [6] Третяк, В.Ф., Лістровий, С.В. а ін. (2014). Патент на корисну модель № 91199, Україна, G06 F 15/00 G06 F 17/00. Пристрій для визначення маршруту в графі. № u201400645; заяв.

- 23.01.2014; опубл. 25.06.2014.
- [7] Третяк, В.Ф., Лістровий, С.В. а ін. (2014). Патент на корисну модель № 88779, Україна, G06 F 15/00. Пристрій для рішення задачі цілочисельного лінійного програмування з булевими змінними на основі рангового підходу. № u201313904; заяв. 29.11.2013; опубл. 25.03.2014.
- [8] Третяк, В.Ф., Лістровий, С.В. а ін. (2014). Патент на корисну модель № 92959, Україна, МПК G06 F15/00. Спосіб динамічного кодування та захисту інформаційного ресурсу в інфокомунікаційних системах. № u201403988; заяв. 14.04.2014; опубл. 10.09.2014.

УДК 629.735.3

Опубліковано 10 лютого 2021 року

ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

ВОРОНЬКО Віталій Володимирович 

д-р. техн. наук, професор, професор кафедри транспортних систем і логістики
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

ВОРОНЬКО Ірина Олексіївна 

канд. техн. наук, доцент кафедри технології виробництва літальних апаратів
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

УКРАЇНА

Анотація: Установлено, що в останні десять років безпілотні літальні апарати набрали величезну популярність, особливо в найбільш розвинених державах світу. Область застосування безпілотників досить широка. Вони можуть моніторити дорожню ситуацію, як міську, так і на віддалених ділянках, вести контроль за пожежною обстановкою в лісах або за паводковими водами в регіонах і багато іншого. Несучи службу, безпілотники передають знятий матеріал на ноутбук, за допомогою якого можна управляти безпілотним засобом. В недалекому майбутньому безпілотна авіація займе головне місце в порівнянні з пілотованою. Це можна пояснити тим, що при використанні безпілотників не потрібні людські ресурси, а отже ніхто не піддає своє життя небезпеці, а також тим, що у безпілотників дуже широкий спектр застосування в оборонній промисловості, в сфері безпеки, в сфері охорони здоров'я, розваг і багатьох інших сферах. В Україні спостерігається щорічний приріст в розвитку безпілотної галузі. Компанії, які використовують БПЛА, не збираються знижувати стрімкі темпи. Розглянуто нинішні області застосування і перспективи для безпілотників в нашій країні.

ВСТУП.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) прийшли в світ з легкої руки військових. Саме там народилася ця технологія, яка, в основному, мала на меті військову розвідку. Цей клас ЛА близький до крилатих ракет і радіокерованих моделей, він має датчики і призначався для польотів на великих чи малих висотах, для передачі інформації на орбітальні супутники [1].

БПЛА не мають екіпажу, систем життєзабезпечення та іншого додаткового обладнання, яке гарантує безпеку людини на борту. Тому може запропонувати велику дальність і витривалість, що робить їх більш ефективними, ніж аналогічні пілотовані системи.

Крім цього, важливим моментом для безпілотної системи є відсутність впливу людського фактору при управлінні апаратом в екстремальних умовах, що перевищують або межують із фізіологічними можливостями організму.

Світова тенденція спрямована на закріплення стійких позицій БПЛА у військовій і цивільній сфері. Безпілотні системи наскільки розширили асортимент, що, в деяких випадках, їм немає альтернативи [2].

Стало прийнято називати БПЛА дронами, хоча не всі дрони є БПЛА. Існує різниця між безпілотними літальними апаратами, безпілотними літальними системами (БПЛС) і дронами [3].

ТИПИ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ. ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ І ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ.

Дрони – літальні апарати з дистанційним (автономним) наведенням. Цей термін також описує різні транспортні засоби. Їх можна розділити на три основні типи відповідно до їх літаючих механізмів:

- Мультироторні дрони (вертолітні дрони). Вони засновані на принципі вертикального зльоту і посадки, можуть зависати в фіксованому місці, що дозволяє їм забезпечувати постійне покриття стільникового зв'язку в певних областях. Мультироторні безпілотні літальні апарати можуть діяти як базові станції в необхідних місцях з високою точністю і влучністю. Однак їх мобільність дуже обмежена, вони споживають велику кількість енергії.

- Дрони з нерухомим крилом більш енергоефективні, ніж мультироторні дрони. Це пов'язано з їх здатністю рухатися з високою швидкістю при перевезенні важких вантажів. Основними недоліками безпілотних літальних апаратів з нерухомим крилом є необхідність злітно-посадкової смуги через їх характерний горизонтальний зліт і посадку; нездатність зависати над фіксованими місцями розташування; дороге програмне/апаратне забезпечення.

- Дрон з гібридним крилом з'явився на ринку недавно. Ці безпілотні літальні апарати з фіксованим/обертовим крилом можуть швидко

досягати пункту призначення, ковзаючи по повітря і зависаючи за допомогою чотирьох роторів.

БПЛА можуть літати віддалено/автономно за допомогою контролера, мобільного телефону, комп'ютера або навіть планшета. Вони характеризуються можливістю автономного польоту і можливістю працювати на великих відстанях з безпечною передачею прямої трансляції. Управління БПЛА можна класифікувати і розділити на три основні категорії:

- Дистанційне керування пілотом – статична автоматизація оператора, коли всі рішення приймаються дистанційним оператором.

- Віддалене контрольоване управління – адаптивна автоматизація. Воно дає дронам можливість запускати і виконувати заданий процес незалежно один від одного, з можливістю втручання людини, якщо це необхідно.

- Повне автономне управління – системна статична автоматизація, коли дрони можуть приймати всі необхідні рішення для успішного завершення місії без необхідності втручання людини.

До БПЛС відносяться БПЛА і дрони, а також оператори, що керують ними. БПЛА – це тип БПЛС, оскільки він відноситься до керованого транспортного засобу або літака.

Налічується багато класифікаційних ознак, за якими ділять БПЛА [4]: за масштабом завдань, що вирішуються, за масою, за тривалістю польоту, за практичною стелею польоту, за типом літального апарату, за базуванням, за використанням, за типом системи керування, за правилами польоту, за типом крила, за напрямком, за паливною системою, за типом паливного бака, за кількістю використань та за радіусом дії.

БПЛА широко застосовують в усіх сферах людської діяльності, які за використанням можна поділити на: військові, цивільні та антитерористичні. В свою чергу цивільні поділяються на: державні, комерційні, транспортні.

Основним недоліком безпілотних літаків в порівнянні з пілотуючими є менша гнучкість і автономність застосування, обумовлені недостатнім сучасним рівнем розвитку програмного забезпечення, що не завжди дозволяє повністю компенсувати відсутність екіпажу на борту.

З огляду на недоліки, слід урахувати питання, які виникнуть в разі спроб створення повністю автоматизованого БПЛА в найближчому

майбутньому. Наприклад, пасажирські перевезення, що вимагають підвищеної надійності, мають забезпечуватися присутністю на борту екіпажу, здатного взяти на себе управління у випадку збою в роботі автоматичної системи управління, або для нестандартних дій з порятунку літака в критичній ситуації.

При виборі альтернативи між пілотованим і безпілотним літаком слід проводити їх комплексне порівняння з урахуванням всієї сукупності переваг і недоліків застосування БПЛА при вирішенні того чи іншого завдання.

Ряд наступних проблем пілотованого ЛА робить БПЛА альтернативним засобом:

- велика тривалість польоту, несумісна з роботоздатністю екіпажу;
- тривалий політ на великій швидкості з урахуванням рельєфу місцевості, пов'язаний з тривалою дією різних перевантажень, з якими не можуть справитися льотчики;
- маневрування з перевантаженнями і кутовими швидкостями, що перевищують порогові значення для організму людини;
- застосування на борту літака радіоелектронних засобів, що створюють поля зі згубним впливом на людину;
- застосування літального апарата в умовах хімічного або радіоактивного зараження.

В даний час БПЛА знайшли застосування при вирішенні різних завдань силових структур. Перш за все, для пошуку і контролю ситуації використовують мікролітаки і дрони, що запускаються з руки, і призначені для з'ясування тактичної обстановки або використання стратегічних БПЛА, які курсують більше доби на висотах до 20 км і здійснюють моніторинг в залежності від поставленого завдання.

БПЛА літакового типу також можуть бути задіяні для:

- радіоелектронної боротьби;
- ретрансляції зв'язку, в тому числі і від інших БПЛА;
- лазерного «підсвічування» цілей;
- тренування персоналу комплексів протиповітряної оборони в якості авіаційних помилкових цілей або повітряних мішеней.

В цивільних цілях безпілотні літальні апарати знаходять основне застосування для різного моніторингу, з метою:

– спостереження за громадським порядком, транспортним рухом, державним кордоном, заповідниками і надання інформаційної допомоги у виявленні та затриманні правопорушників;

– контролю над станом доріг, транспортних розв'язок, залізничних вузлів, інженерних споруд, нафто- і газопроводів;

– екологічного моніторингу, науково-дослідних завдань, допомоги службам прогнозу погоди, інформаційного забезпечення при надзвичайних ситуаціях (лісові пожежі, техногенні катастрофи тощо.).

Крім цього, БПЛА можуть знайти застосування, як:

– сільськогосподарські літаки, які при проведенні авіахімічних робіт змушені виконувати польоти на висотах близько декількох метрів, що пов'язано з підвищеною вірогідністю зіткнення з землею та іншими перешкодами (наприклад, кроною або верхівками дерев, електричними стовпами), а також для вивчення ґрунту, вологості, контролю агротехнічних операцій і т.п.;

– вантажні літаки. БПЛА типу «дрон» або «квадрокоптер» широко застосовуються для доставки посилок, пошти і вантажів, для запилення і хімічного оброблення в сільському господарстві, в туризмі та кіно- і телеіндустрії для зйомок, з боку поліції і МНС для моніторингу дорожньої або природної обстановки.

Області застосування БПЛА (рис. 1) [5]:



Рис 1. Області застосування безпілотних літальних апаратів

– Спектрозональна зйомка – найбільш інформативна і оперативна технологія збору даних в сільськогосподарському секторі. Аналіз відбивної здатності ґрунтів і рослинності в різних зонах спектра дозволяє отримувати вичерпні дані про стан рослин, ступень їх розвитку, потреби в добривах, поливі і т.д. Продуктивність дистанційного методу збору даних – поза конкуренцією [6].

Зйомка ведеться двома типами камер у видимому діапазоні та в вузько направленому інфрачервоному спектрі (рис. 2).

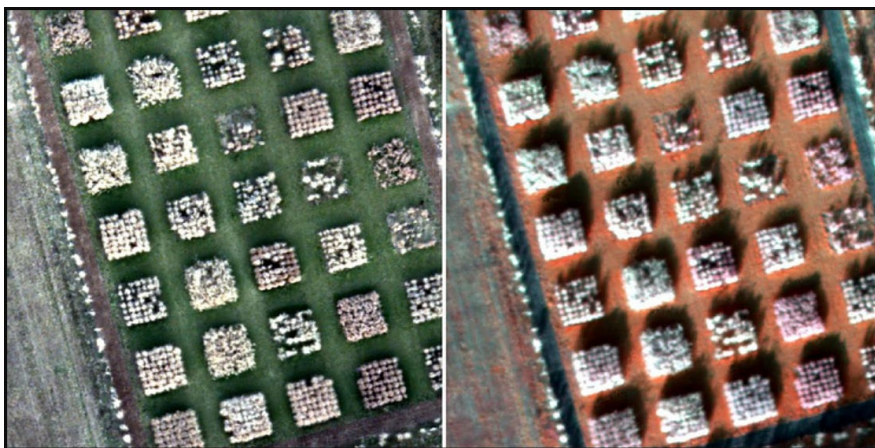


Рис 2. Видимий діапазон RGB та вузьконаправлений інфрачервоний спектр IR

– Аерофотозйомка – продуктивний метод документації місцевості. Зараз побачити приховані зміни стану місцевості можна не тільки з літака, але й за допомогою безпілотних технологій. При цьому технологічні можливості апарату дозволяють отримати знімки, роздільна здатність яких менша 1 см на піксель [7] (рис. 3).



*а – створення топографічного плану 1:2000,
б – створення 3D-моделі проекту об'єкту будівництва*

Рис 3. Ортофотоплан

Аерофотозйомки новітнього покоління дають фермеру можливість скласти мульти- та гіперспектральні карти. Мультиспектральні знімки зазвичай містять зображення рослинності в 4-5 діапазонах видимого спектру та в ближньому інфрачервоному діапазоні. Такі зображення можуть виявляти бур'ян, дефіцит азоту та прогнозувати врожайність.

Гіперспектральна зйомка отримує зображення рослин у видимому і інфрачервоному спектрі, використовуючи фільтри і температурні сенсори. Гіперспектральні знімки мають точно визначати причину нездорового стану рослин: конкретні хвороби, шкідники та бур'яни; дефіцит мікроелементів; родючість рослин і потенціал урожайності [8].

Аерофотозйомка відбувається з застосуванням аерофотоапарату. В результаті фотографування земної поверхні з повітря отримують знімки, що представляють собою зображення рельєфу і геологічних об'єктів в центральній проекції (рис 4):

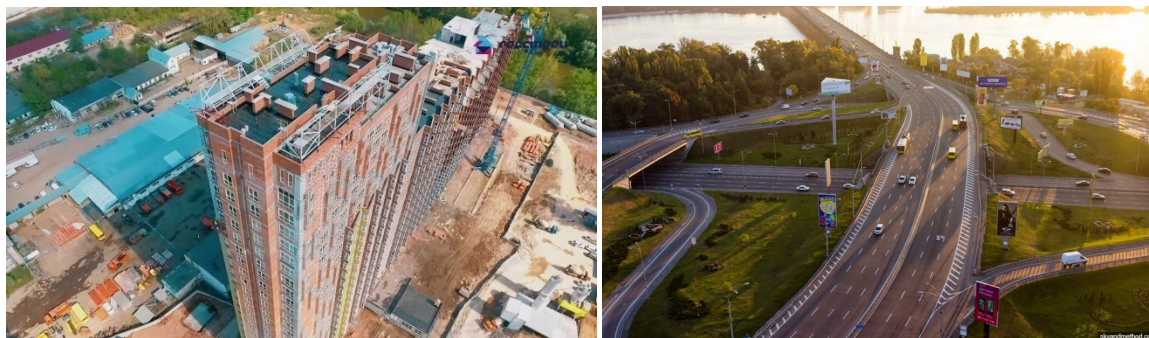


Рис 4. Аерофотознімок об'єкту будівництва і міст Патона

– Геодезичні дрони ідеально підходять для потреб землевпорядників. Це промислові, функціональні безпілотники, які відповідають завданням картування місцевості і об'єктів (рис. 5). Мають систему супутникової навігації, яка використовується для підвищення точності даних про місцезнаходження БПЛА, яка дозволяє підвищити точність GPS-позиціонування до 2,5 см [9].

Матеріали зйомок можуть бути використані при ведення державного кадастру нерухомості та контролю містобудівної діяльності в населених пунктах; реагування на надзвичайні ситуації; контроль снігового і льодового покриву, кромки льодоставу, моніторинг місць розливів річок; оновлення топографічних карт; моніторинг різних типів об'єктів; моніторинг стану сільськогосподарських угідь, в тому числі над цільовим використанням земель, оперативна оцінка стану і ступеня деградації земель, прогноз врожайності; створення географічних інформаційних систем [11].

*а**б**а – приклад двомірної ортомозаїчної карти,**б – карта, створена за допомогою тепловізійної камери***Рис 5. Карти для топографічних даних [10]**

– Моніторинг застосовують в різних сферах: для охорони важливих об'єктів (в денній і нічний час) [12]; лісових угідь (контроль за вирубкою, запобігання пожежам (рис. 6), оцінки збитку після катаклізмів, визначення осіб порушників) [13, 14]; в ремонтно-будівельних роботах (виявлення пошкоджень, планування ремонтних робіт, моделювання можливих небезпечних ситуацій); в нафтогазовидобувній промисловості (виявлення родовищ, контроль за виникненням аварій). Використання дронів для промислового моніторингу займає третину серед інших видів послуг і гарантує безпеку підприємству.

**Рис 6. Моніторинг лісових пожеж з БПЛА**

– Активно починають застосовувати безпілотну авіаційну техніку прикордонники. БПЛА мають засоби розпізнавання об'єктів і цілей, яка обладнана 30-кратним збільшенням та тепловізором, що дає змогу виявляти порушників у будь-який час доби [15].

– Дрон-поліцейський – в деяких країнах поліція отримала дозвіл на використання дронів для допомоги в роботі (рис. 7). Застосовувати техніку дозволено з дотриманням конфіденційності населення. Безпілотники використовуються для спостереження та оцінювання ДТП, при пошуках зниклих людей або ж в разі збройних сутичок [16].



Рис 7. Використання поліцією США безпілотних літаків

– БПЛА для доставки вантажів клієнтам (рис. 8). Система доставки за допомогою безпілотників працює в тестовому режимі майже в усіх куточках світу [17]. Основна мета – термінова доставка за допомогою дронів (поштові посилки, біологічні матеріали, медикаменти, документи, гуманітарна допомога).



Рис 8. Доставка вантажу мультикоптерами

– Допомога в екстрених ситуаціях. Компанія Google поділилася анонсами на проект безпілотників-рятувальників. Вони виступлять посередниками (здійснюватимуть зв'язок через Wi-Fi) між постраждалими та медиками, щоб ті могли проінструктувати потерпілих для надання самодопомоги. А фахівці тим часом зможуть дістатися на місце виклику та встигнуть врятувати життя [18].

Допомога безпілотної очевидна, тому що вони швидше дістаються місць катастрофи і можуть подолати непрохідні для людини перешкоди (рис. 9).

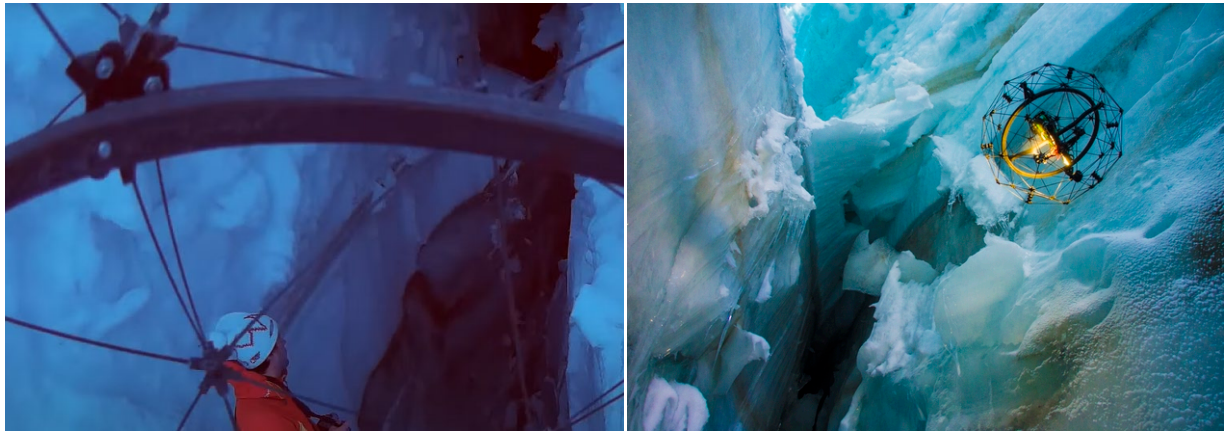


Рис 9 Дрон Gimball обстежу тріщину [19]

– Дрон-офіціант. Деякі ресторани світу застосовують дрони для доставки їжі до столиків. Це приваблює клієнтів і спрощує роботу офіціантів. Відвідувачі роблять замовлення за допомогою планшетного комп'ютера, закріпленого на столі, а їжа і напої прилітають з кухні на квадрокоптерах. Дрон має чотири захищених ґратами гвинта і круглу платформу в середині, на яку і встановлюються їжа або напої на підносах (рис 10) [20].



Рис 10. Дрон обслуговує відвідувачів ресторану

– Дрон, що роздає Internet. Холдинг Alphabet успішно протестував гігантський дрон Sun glider (конструкція з крилом 78 метрів), який працює на сонячній енергії і літає на висоті 19 кілометрів. Завдання дрона роздача інтернету над територіями, де він буде пролітати (рис. 11) [21]:

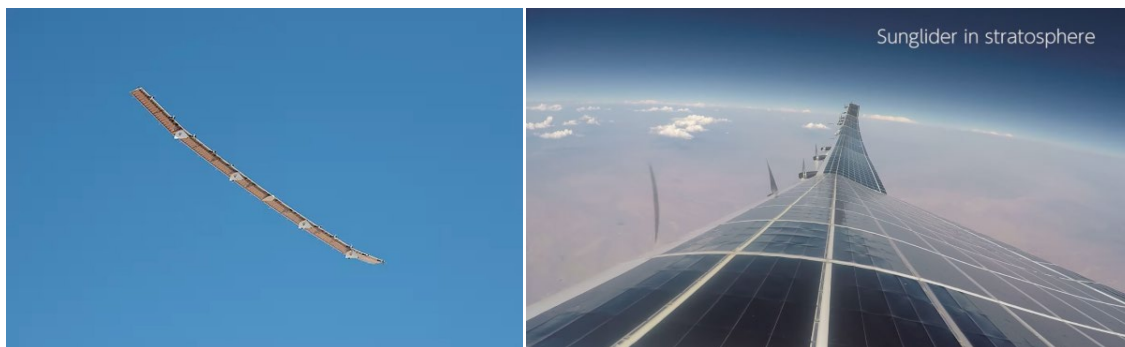


Рис 11. Дрон SunGlider

– Пляжний рятувальник. Для прикладу показано австралійський дрон, яким оснащені рятувальники на набережних (рис. 12). Їх завданням є скоротити час операції і надати допомогу у вигляді скидання рятувних засобів потопаячим. Загалом, дрони можуть доставляти потерпілим не тільки надувні засоби, але і дефібрилятори, відлякувачі акул, набори для виживання (воду, комплект першої допомоги, рацію) [22].



Рис 12. Пляжний дрон-рятувальник

ВИКОРИСТАННЯ ДРОНІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ.

Поки 93% українського ринку утримують іноземні гравці. Перше місце займає DJI, його частка в нашій країні сягає близько 70-85% ринку. Причиною тому є те, що саме вони стояли біля витоків освоєння сегмента споживчих дронів. На другу позицію вийшов французький бренд Parrot, завдяки створенню напрямку промислових рішень, популярних в українських аграріях. Також на українському ринку присутня продукція компаній Aee, Sky-hero, Youneek, Zerotech, Xiaomi та інших [23].

Перспективну нішу стали оперативно освоювати і вітчизняні компанії. За кілька років до розробки військових і цивільних дронів

долучилося не менше ніж одинадцятьма підприємств, таких як ВАТ «Меридіан», ТОВ «НВП» Атлон Авіа», ТОВ «Укрспецсистемс», що розробляють і виготовляють безпілотники. Дев'ять з них працюють над дронами військового призначення. БПЛА виробництва DroneUA збирають дані про землі та посіви, систематизують їх, інтерпретують і дають аграріям науково обґрунтовані рекомендації. Крім агропромислового комплексу, їх застосовують у телекомунікаціях, геодезії, топографії та у видобувній промисловості [24].

Фахівці ВАТ «Меридіан» ім. С.П Корольова», що входить до складу кластеру радіолокації, радіозв'язку та спеціального приладобудування ДК «Укроборонпром», займаються розробками нових видів військової техніки. Київський "Меридіан" постачає на озброєння безпілотні авіаційні комплекси Spectator, що складаються зі станцій управління та безпілотників.

Крім того, в 2020 році представив перший український військовий квадрокоптер "Берегиня" для розвідувальних операцій. "Берегиня", на відміну від дронів для цивільних потреб, має захищені канали зв'язку, які приховують пілота від виявлення спеціалізованим обладнанням [25].

Київський НВП «Атлон Авіа» також займається розробками та серійно випускає безпілотні авіаційні розвідувальні комплекси. Прикладом є БПЛС А1-СМ «Фурія». До складу цього комплексу входять декілька літальних апаратів, денне та нічне корисне навантаження (включаючи тепловізійну камеру), наземна станція управління та обробки інформації, антени та інше додаткове обладнання [26].

Приватна компанія «Укрспецсистемс» за останні кілька років перетворилася в одного з вагомих гравців на українському ринку безпіотної техніки. Підприємство пропонує гнучкі рішення для безпілотних літальних апаратів (БПЛА) військового призначення, в тому числі планерного типу PD-1, з телевізорними і денними камерами, квадрокоптера серії PC-1 і супутнього устаткування. Завдяки використанню новітніх технологій та прогресивним інженерним напрацювань «Укрспецсистемс» пропонувати конкурентоспроможну продукцію [27].

Група компаній DroneUA є одним з найбільш інноваційних підприємств в сільськогосподарському секторі України [28].

Компанія веде свою діяльність в сферах енергетики та нафтогазової промисловості, а також в сферах геодезії і топографії. Основними

напрямами роботи DroneUA є, розробка та впровадження галузевих рішень, заснованих на технології дронів, надання послуг, з використанням БПЛА, а також обробка отриманих за допомогою безпілотників даних. Технології цієї компанії використовуються на більш ніж 4 млн гектарів посівних площ України.

На сьогодні одна з найбільш затребуваних задач цивільних дронів – створення відеоконтенту (для зйомок фільмів, блогів тощо).

Основним промисловим сегментом, який використовував дрони, залишається сільськогосподарська галузь. У структурі доходів DroneUA ця галузь часом становить 95%. Найбільш популярними сервісами є виконання агромоніторингу за допомогою дронів і створення карт полів для пайового обліку підприємств. Також затребувані послуги зі створення карт засміченості рослин, підрахунків сходів і розрахунок вегетаційних індексів.

Невдовзі дронами в країні будуть користуватися дуже багато галузей. Найбільш очікувана сфера – логістика. Технологія готова до впровадження, проте чекає регуляторних правил для можливості застосування цих технологій в доставці. Наприклад, «Нова пошта» вже кілька разів заявляла про бажання використовувати дрони.

Навесні 2018 року державна авіаційна служба України Міністерства оборони України зареєструвала Наказ «Про затвердження авіаційних правил України «Правила використання повітряного простору України»», в якому мова йде про такий важливий аспект як використання безпілотних літальних апаратів в межах повітряного простору України та законності тих чи інших пристроїв. Положення тлумачить про регулювання використання повітряного простору, говорить про обмеження та дозволи, які повинні мати відповідні категорії БПЛА. Виключенням стали моделі спортивного і розважального призначення, загальною вагою менше 20 кг, на них розпорядження не поширюється [29].

Отже, зовсім скоро стануть дуже затребуваними професії, пов'язані з двома умовними групами: виробниками і споживачами дронів. Перші потребуватимуть фахівців з розроблення, проектування, програмування (інженерів безпілотних систем, складальників підвісів і корпусів, технічних фахівців центрів обслуговування дронів). Другим будуть потрібні оператори дронів, а також аналітики і фахівці з оброблення зібраних даних, менеджери проектів і керівники польотних груп.

ВИСНОВКИ З ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

До переваг безпілотних авіаційних комплексів можна віднести очікуване зниження вартості комплексу в порівнянні з авіаційним комплексом, що включає пілотовані літаки, за рахунок: менших експлуатаційних витрат; економії коштів на підготовку екіпажу і персоналу; значно меншої вартості самого безпілотного літака порівняно з пілотованим аналогом, за рахунок виключення ряду систем життєзабезпечення пілота.

У результаті аналізу існуючих програм в області безпілотного літакобудування та найбільш очікуваної програми в сфері логістики в Україні виявлена тенденція до зростання розмірів БПЛА, маси їх корисного навантаження, а також льотних характеристик (в першу чергу – висоти польоту і дальності). Ця тенденція обумовлена в першу чергу економікою – більш важкий апарат здатний довше перебувати в повітрі, мати більшу робочу висоту, більш широкий діапазон застосування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] John F. Guilmartin (2020). Unmanned Aerial Vehicle. Military Aircraft. *Britannica*. Вилучено із <https://www.britannica.com/technology/unmanned-aerial-vehicle>.
- [2] Тимочко О.І., Голубничий Д.Ю., Третяк В.Ф. & Рубан І.В. (2007). Класифікація безпілотних літальних апаратів. *Системи озброєння і військова техніка*. (1/9), 61-67.
- [3] Jean-Paul Yaacoub, Hassan Noura, Ola Salman & Ali Chehab (2020). Security analysis of drones systems: Attacks, limitations, and recommendations. Elsevier Public Health Emergency Collection. Вилучено із <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7206421/>.
- [4] Knysh B.P., Brovko P.V. & Popil D.S. (2017). The classification of the certain types of the unmanned aerial vehicles. *Modern engineering and innovative technologies*. (2/1), 34-39. <https://doi.org/10.21893/2567-5273.2017-02-01-004>.
- [5] Капуста А.І. (2019). *Нелінійна стохастична фільтрація звукових сигналів безпілотних літальних апаратів*. Харків: ХНУРЕ.
- [6] *Как беспилотники используются в точном земледелии*. (2015). ParaGraf.ru. Вилучено із <https://www.paragraf.ru/post/2015/11/01/paragrafru-как-беспилотники-используются-в-точном-земледелии>.
- [7] *Аерофотозйомка за допомогою БЛА (БПЛА)*. (2019). Банкомзв'язок. Вилучено із <https://www.bkc.com.ua/news-type/aerofotozjomka-za-dopomogou-bla-bpla/>.
- [8] Богдан Малиновский. (2017). Про що розповість аерофотозйомка сільгоспугідь, зроблена за допомогою дрона? *Пропозиція*. Вилучено із <https://propozitsiya.com/ua/o-chem-rasskazhet-aerofotosemka-selhozugodiy-sdelannaya-s-pomoshchyu-drona>.
- [9] *Дроны для геодезической съёмки*. (2019). pervo.ru. Вилучено із <https://www.pervo.ru/news/hi-tech/48069-drony-dlja-geodezicheskoy-semki.html>.
- [10] По Ольга (2020). Все, что вам необходимо знать о геодезических исследованиях с помощью дронов. *dji BLOG*. Вилучено із <https://dji-blog.ru/naznachenie/geodesia/vse-chto-vam-neobhodimo-znat-o-geodezicheskikh-issledovaniyah-s-pomoshhju-dronov.html>.
- [11] Костин А.С. (2019). Классификация гражданских беспилотных летательных аппаратов и сферы их применения. *Системный анализ и логистика*. (19), 70-80.

- [12] ДТЭК Сети запустил проект мониторинга электросетей беспилотниками. (2020). Крылья. Вилучено із <http://www.wing.com.ua/content/view/26533/90/>.
- [13] *Using Drones to Control Forest Fires*. (2015). dronelife. Вилучено із <https://dronelife.com/2015/06/11/using-drones-to-control-forest-fires/>.
- [14] Мониторинг лесных пожаров с БПЛА. (2019). Альбатрос. Вилучено із <https://www.alb.aero/about/articles/monitoring-lesnykh-pozharov-s-bpla/>.
- [15] Адміністрація Державної прикордонної служби України. (2020). Прикордонники придбали сучасні квадрокоптери. *Урядовий портал*. Вилучено із <https://www.kmu.gov.ua/news/prikordonniki-pridbali-suchasni-kvadrokopteri>.
- [16] Megan Geuss. (2015). Illinois State Police will fly “unmanned aircraft” not “drones”. *ARSTECHNICA*. Вилучено із https://arstechnica.com/tech-policy/2015/05/illinois-state-police-will-fly-unmanned-aircraft-not-drones/?utm_source=ixbtcom.
- [17] Александр. (2020). Доставка грузов дронами. *com-stil.com*. Вилучено із <https://com-stil.com/vse-stati/dostavka-gruzov-dronami>.
- [18] *Спасательные операции*. (2016). DRONARIUM. Вилучено із <https://www.dronarium.com.ua/uslugi/spasatelnye-operacii/>.
- [19] Николай Воронцов. (2016). Беспилотник поможет спасателям искать альпинистов в трещинах. *N+1*. Вилучено із <https://nplus1.ru/news/2016/01/21/gimball-crevasse>.
- [20] *Летающие официанты в ресторанах Сингапура*. (2015). Art Travel blog. Вилучено із <https://arttravelblog.ru/interesnoe/letayushhie-oficianty-v-restoranax-singapura.html>.
- [21] Михайло Года. (2020). Google запустив гігантський дрон для роздачі інтернету. *TECHO24*. Вилучено із https://tech.24tv.ua/ru/google-zapustil-gigantskij-dron-dlja-razdachi-novosti-tehnologij_n1433635.
- [22] Дроны-спасатели: ждать ли в промышленности? (2018). *ГЕТСИЗ.РУ*. Вилучено із <https://getsiz.ru/drony-spasateli-zhdai-li-v-promyshlennosti.html>.
- [23] Евгения Подгайная (2018). Отрасли будущего: как беспилотники покоряют Украину. *mind*. Вилучено із <https://mind.ua/ru/publications/20187343-otrasli-budushchego-kak-bespilotniki-pokoryayut-ukrainu>.
- [24] Микийчук М. М. & Зіганшин Н. С. (2018). Метрологічне забезпечення моніторингу з використанням безпілотних літальних апаратів. *Вимірювальна техніка та метрологія*. (79/4), 47–53.
- [25] УКРОБОРОНПРОМ. (2020). Укроборонпром показал первый отечественный военный квадрокоптер. *Экономическая правда*. Вилучено із <https://www.epravda.com.ua/rus/news/2020/01/21/656089/>.
- [26] Олег Катков. (2020). Безпілотник "Фурія" прийнято на озброєння Збройних Сил України. *Defense Express*. Вилучено із https://defence-ua.com/weapon_and_tech/bezpilotnik_furija_prijnjato_na_ozbrojennja_zbrojnih_sil_ukrajini_vid-477.html.
- [27] Дмитрий Бадрак. (2020). Беспилотный взлет компании «Укрспецсистемс». *Оборонно-промисловий кур'єр*. Вилучено із <http://opk.com.ua/беспилотный-взлет-компании-укрспец/>.
- [28] *Беспилотные решения №1 в Украине*. (2020). DroneUA. Вилучено із <https://drone.ua/#>.
- [29] *Про затвердження Авіаційних правил України «Правила використання повітряного простору України»* (НАКАЗ). № 1056/3250830. (2021). Вилучено із http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1056-18?fbclid=IwAR0aFppn4oUfoRRRZhpAcC1ftUXTHjJNLY_m2tzFotSrxh749zQ2vIRWeTU.

УДК 004.89

Опубліковано 31 березня 2021 року

МЕТОД ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЗЕМЕЛЬНО-КАДАСТРОВИХ РОБІТ НА ТИМЧАСОВО ОКУПОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ КАТЕГОРІЙ

БУТКО Ігор Миколайович 

канд. техн. наук, доцент, заступник генерального директора
Державне підприємство «Центр Державного земельного кадастру»

ХИЖНЯК Ірина Анатоліївна 

канд. техн. наук, викладач
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

УКРАЇНА

Анотація: В роботі запропоновано використання даних дистанційного зондування Землі щодо підтримки прийняття управлінських рішень органами державної влади при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях у Донецькій, Луганській областях та в Криму на основі використання теорії категорій. Надані пропозиції щодо підтримки прийняття управлінських рішень органами державної влади при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях. Запропоновано обрати методи теорії категорій, які дозволяють у вигляді об'єктів категорії використовувати такі математичні конструкції, як висловлювання, предикати тощо. Розроблено метод підтримки прийняття управлінських рішень органами державної влади при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях з використанням даних дистанційного зондування Землі, математичні конструкції теорії категорій та логіки предикатів, які відображають відношення в структурованому та логічному вигляді. Запропоновано додатково використовувати методи ройового інтелекту, які представлено модулем в системі підтримки прийняття рішень, при обробці вхідних даних. Наведено послідовність дій розробленого методу. Напрямок подальших досліджень є перевірка реалізованості запропонованих варіантів управлінських рішень при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях.

ВСТУП.

Прийняття управлінських рішень при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях у Донецькій, Луганській областях та в Криму має ряд проблем, а саме: обмеженість за часом прийняття управлінських рішень; динамічність змін обстановки, умов та задач; необхідність поєднання інтересів різних груп в рамках прийняття одного спільного рішення; нестача інформації високої якості з тимчасово окупованих територій або суб'єктивність наданої інформації; перешкоди в отриманні необхідної для прийняття рішень інформації; невідповідність наявних методів задачам, які виникають; недостатній рівень деталізації, формалізації та можливості адаптації під конкретну ситуацію тощо [1].

Саме безперешкодне отримання об'єктивної інформації високої роздільної здатності щодо районів і об'єктів інтересу та той факт, що необхідна інформація отримується дистанційно та оперативно, є найбільш переконливими аргументами для використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для вирішення такої задачі як підтримка прийняття управлінських рішень при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях. Тому, найбільш затребуваною на сьогоднішній день інформацією щодо об'єктивної, актуальної, оперативної та наочної оцінки району тимчасово окупованих територій є інформація ДЗЗ.

Вже сьогодні на основі інформації ДЗЗ можна розпочати формувати каталоги та бази даних (БД) щодо територій та об'єктів інтересу, проводити моніторинг поточного стану територій та об'єктів, аналізувати та прогнозувати можливі наслідки "господарювання" на тимчасово окупованих територіях, заздалегідь розробляти комплексні реінтеграційні рішення та плани тощо [2]. При цьому слід враховувати, що для проведення детального аналізу та для надання більш точної та повної інформації для прийняття управлінських рішень необхідно використовувати не "разову" зйомку об'єктів та районів інтересу, а проводити аналіз серії знімків, які наповнюють відповідні каталоги або БД. Це надасть змогу оцінити події на тимчасово окупованих територіях в динаміці.

Для вирішення задачі підтримки прийняття управлінських рішень при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях можна використовувати сучасні інтелектуальні інформаційні

технології, основу яких складають системи підтримки прийняття рішень (СППР) [3]. За допомогою СППР може проводитись прийняття рішень у певних неструктурованих або слабоструктурованих задачах, у тому числі й в тих, які мають багато критеріїв [4]. Саме до такого типу задач відносить задача підтримки прийняття управлінських рішень при проведенні земельно-кадастрових робіт.

Сучасні СППР виникли в результаті злиття систем управління БД та управлінських інформаційних систем, як системи, які максимально пристосовані до розв'язування задач управлінської діяльності, та є інструментом, щоб надати допомогу представникам органам державної влади. Дані системи повинні мати потужне математичне забезпечення на основі відповідних моделей, методів та алгоритмів [4].

З метою підтримки усіх етапів прийняття управлінських рішень в процесі аналітичного моделювання СППР використовують обладнання, програмне забезпечення (ПЗ), БД, базу знань (БЗ) та звісно роботу оператора. Необхідно зауважити, що роль особи, яка приймає рішення (ОПР), в СППР є пріоритетною.

В роботі [5] проведений аналіз проблемних питань процесу прийняття рішень в управлінні лише нерухомим військовим майном Збройних Сил (ЗС) України. Наведена класифікація СППР базується на розгляді їх особливостей, що дає змогу визначити основні вимоги функціонування СППР в управлінні нерухомим військовим майном.

Розглянута Єдина система управління адміністративно-господарчими процесами ЗС України, яка забезпечує відкритість і прозорість адміністративно-господарської діяльності ЗС України, оптимізацію процесів планування, розподілу та використання фінансових, матеріальних й інших ресурсів для забезпечення життєдіяльності військ [5]. Вважається, що Єдина система управління адміністративно-господарчими процесами ЗС України надає достовірну інформацію, необхідну для прийняття управлінських рішень керівництвом ЗС України, але основу цієї системи складає інформаційна база тільки тих об'єктів нерухомості, які знаходяться на балансі ЗС України та реалізована в підсистемі управління нерухомим військовим майном, яка прийнята в постійну експлуатацію.

В роботі [6] запропонований алгоритм функціонування системи підтримки прийняття рішень в земельних відносинах. Розглядається задача використання онтологічного інжинірингу лише земельних

відносин. Удосконалюючи даний алгоритм можна його застосовувати й для вирішення задачі підтримки прийняття управлінських рішень органами державної влади при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях у Донецькій, Луганській областях та в Криму з використанням даних ДЗЗ.

Метою даної роботи є розробка методу підтримки прийняття управлінських рішень органами державної влади при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях у Донецькій, Луганській областях та в Криму з використанням даних дистанційного зондування Землі на основі теорії категорій.

ОСНОВНА ЧАСТИНА.

СППР можна розробити лише при наявності БД та БЗ [7]. БД представляють собою набір даних ДЗЗ, певних розрахунків та досліджень. БЗ представляють собою правила виводу, інформацію про знання та людський досвід в даній предметній області, які дозволяють в СППР виконувати операції над даними БД.

В роботі в якості вихідних даних при прийнятті управлінських рішень органами державної влади при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях запропоновано використовувати інформацію, яка надходить з космічних апаратів, промислових аероносіїв, непромислових носіїв, наземних приборів тощо. Ці данні надходять та зберігаються у центральному сховищі даних (ЦСД), яке є частиною ієрархічної структури СППР. ЦСД включає до свого складу БД та БЗ [8].

Для формального представлення даних в БЗ у СППР при виробленні управлінських рішень та рекомендацій при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях будемо використовувати запропонований в роботі [6] підхід, а саме оберемо методи теорії категорій, які дозволяють у вигляді об'єктів категорії використовувати такі математичні конструкції, як висловлювання, предикати тощо [8]. Ця особливість теорії категорій дозволяє при необхідності комбінувати математичні моделі, які описують земельно-кадастрові роботи.

В роботі [6] запропоновано позначити вміст БЗ у вигляді багаторівневої моделі – категорії малих категорій – *Cat*, які поєднані між

собою функторами – $\bar{F}$. Використаємо результати роботи [6] для розробки послідовності дій методу процесу підтримки прийняття управлінських рішень органами державної влади при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях.

Особливістю даної категорії є те, що її об'єкти $\{Ob_1^{Cat}, Ob_2^{Cat}\} \subset Cat$ – це малі категорії.

Виділена категорія Cat складається з двох малих категорій, де:

– $Ob_1^{Cat} \equiv K_1$ – сукупність законів у сфері державного земельного кадастру;

– $Ob_2^{Cat} \equiv K_2$ – сукупність моделей вирішення задач у сфері державного земельного кадастру, які можуть бути обрані відповідно до заданих критеріїв та обмежень.

Представлені в БЗ об'єкти категорій K_1 та K_2 дозволяють здійснити послідовний відбір закону та моделі, після чого поставити їх у відповідність $G \subseteq Ob(K_1) \times Ob(K_2)$. На рис. 1 наведена багаторівнева комутативна діаграма відношень між малими категоріями K_1 та K_2 та об'єктами малих категорій Ob_1^{Cat} та Ob_2^{Cat} при вирішенні задач в СППР [6].

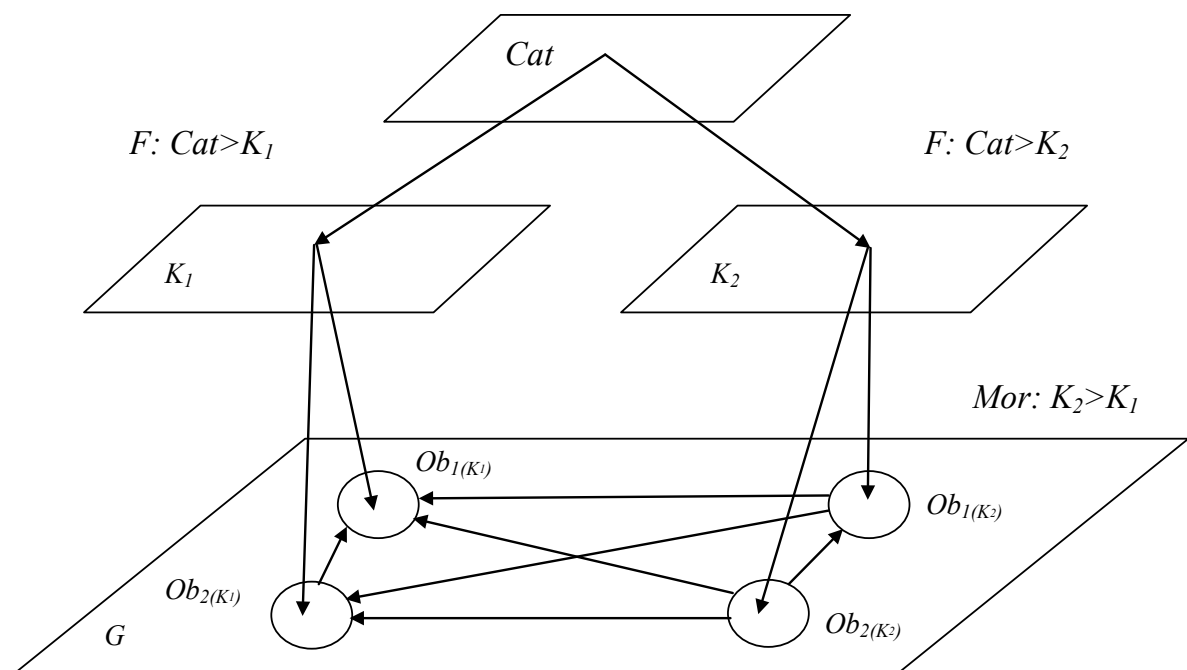


Рис. 1. Багаторівнева комутативна діаграма відношень між категоріями K_1 та K_2 та об'єктами малих категорій Ob_1^{Cat} та Ob_2^{Cat} при вирішенні задач в СППР [6]

Взаємодія між об'єктами малих категорій K_1 та K_2 є представленням реальних земельно-кадастрових робіт, де:

$$- \left\{ Ob_1^{11}, \dots, \left\{ Ob_1^{12}, \dots, \left\{ Ob_1^{13}, \dots, \left\{ Ob_1^{14}, \dots, Ob_m^{14} \right\} \right\} \right\} \right\} \subset K_1 - \text{вежа множин}$$

категорної моделі державного земельного кадастру K_1 , де $Ob_1^{11}, Ob_1^{12}, Ob_1^{13}, Ob_1^{14}$ – закони, розділи, глави та статті законодавства у сфері державного земельного кадастру, відповідно;

– $\sum Mor(K_1, K_2)$ – множина морфізмів між малими категоріями;

– $M = \{m_1, m_2, \dots, m_\xi\}, \xi = \overline{1, h}$ – множина моделей вирішення задач у сфері державного земельного кадастру при проведенні земельно-кадастрових робіт;

– $D = \{d_j\}, j = \overline{1, y}$ – множина органів державної влади;

– $S = \{s_i\}, i = \overline{1, t}$ – множина учасників при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях;

– $Z = \{z_p\}, p = \overline{1, l}$ – множина земельно-кадастрових робіт;

– $G \subseteq \left((D \times S \times Z) = \{(d_j, s_i, z_p) | d_j \in D, s_i \in S, z_p \in Z\} \right)$ – відносини між органами державної влади, учасниками при проведенні земельно-кадастрових робіт та земельно-кадастровими роботами;

– $G = \{g_q\}, q = \overline{1, \delta}$ – множина відношень між учасниками земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях, органами державної влади та задач у сфері державного земельного кадастру;

– $m_h = \langle s_h, d_h, z_h, g_h \rangle$ – модель вирішення задачі у сфері державного земельного кадастру.

На основі моделей знань об'єктів та суб'єктів земельно-кадастрових робіт, які запропоновані в [6] можна здійснити процес підтримки прийняття управлінських рішення, який представлено у вигляді послідовності дій методу процесу підтримки прийняття управлінських рішення органами державної влади при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях з використанням даних ДЗЗ. Дана послідовність дій наведена на рис. 2.

Послідовність дій реалізації методу підтримки прийняття управлінських рішень органами державної влади при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях з використанням даних ДЗЗ наступна.

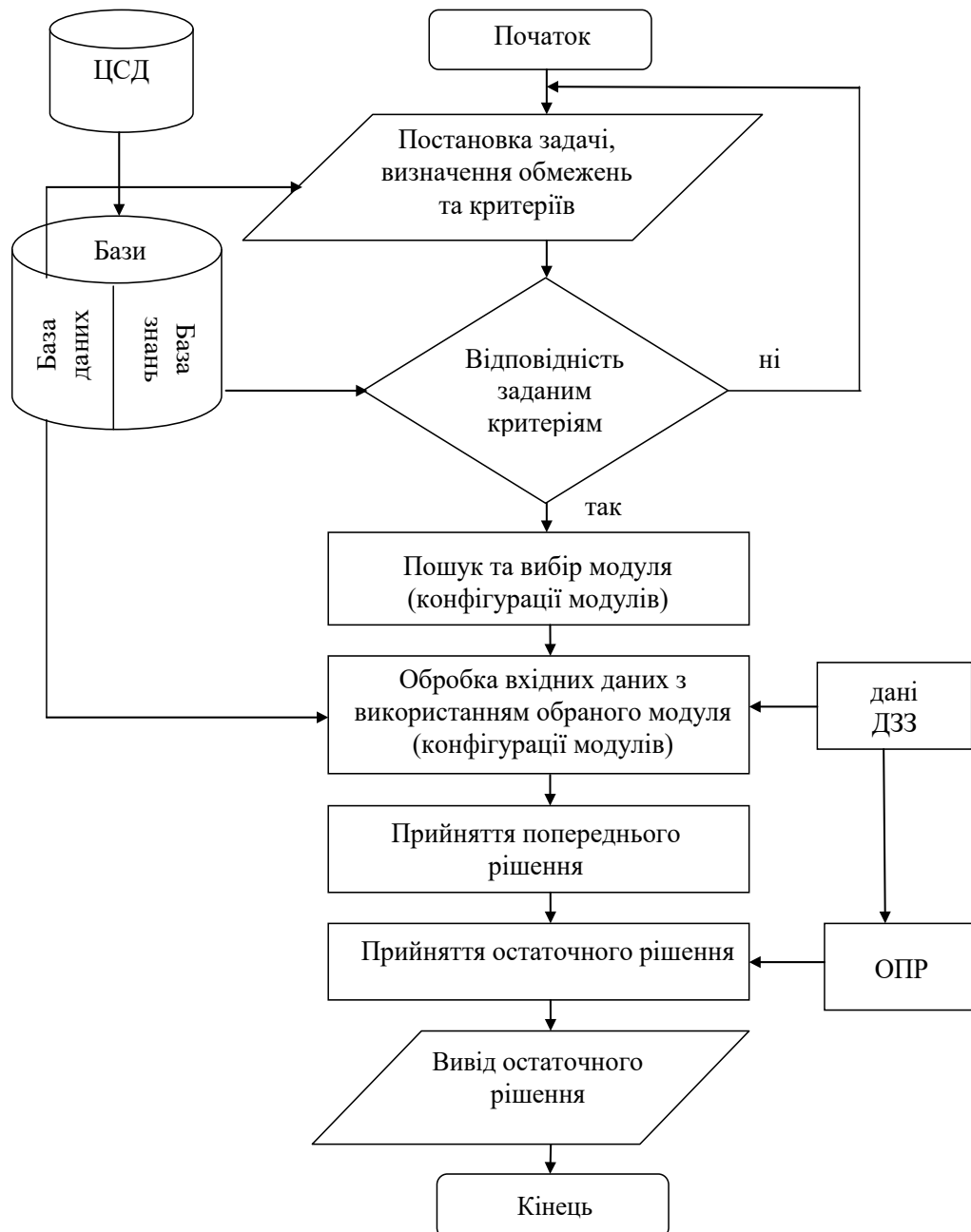


Рис. 2. Послідовність дій методу підтримки прийняття управлінських рішень органами державної влади при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях

Етап I. Початок роботи методу, на якому визначається необхідність та доцільність використання СППР для вирішення поставленої задачі. Перехід на наступний етап виконується при прийнятті рішення про доцільність використання СППР для вирішення поставленої задачі.

Етап II. Постановка задачі, на якому формується запит користувача відповідно до атрибутивних даних з БД. На даному етапі відбувається

визначення обмежень, що дозволяють відокремити прийнятні варіанти від неприйнятних, та критеріїв, які сприяють вибору кращого з придатних варіантів управлінського рішення.

Етап III. Перевірка відповідності даних запиту критеріям обробки та можливості їх використання однією з моделей БЗ. У разі невідповідності даних запиту критеріям їх обробки здійснюється перехід на етап II постановки задачі для коригування вихідного запиту.

Етап IV. Пошук та вибір модуля (конфігурації модулів). На даному етапі виконується пошук модуля (конфігурації модулів) СППР, який надходить на обслуговування вирішуваної задачі та вибір оператором модулів (конфігурацій модулів) для вирішення задачі. Це забезпечується на основі онтологічних моделей, які представлені в БЗ.

У зв'язку з тим, що для формального представлення даних у БЗ в роботі запропоновано використовувати теорію категорій, то це представлення можна розглядувати як орієнтований мультиграф. А вже на графі, в якому вершинами є об'єкти категорій, а стрілками є морфізми для вирішення задачі щодо підтримки прийняття управлінських рішень можна використовувати методи ройового інтелекту, які відносяться до області штучного інтелекту, та засновані на моделюванні соціальної поведінки живих організмів [9].

Етап V. Обробка вхідних даних з використанням обраного на попередньому етапі модуля (конфігурації модулів). Обробка даних виконується за допомогою допоміжного програмного забезпечення. В якості вхідних даних запропоновано використовувати дані ДЗЗ.

Етап VI. Прийняття попереднього рішення. Проводиться контроль отриманих результатів прийняття рішення.

Етап VII. Прийняття остаточного рішення. Остаточне рішення приймається ОПР використовуючи при цьому данні ДЗЗ.

Етап VIII. Вивід результатів рішення задачі. Результати надаються у вигляді та форматі, який є зручним для подальшого аналізу користувачем.

Етап IX. Закінчення роботи методу. Результатом роботи методу є остаточний набір варіантів управлінських рішень при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях.

СППР, яка реалізує запропонований метод, видає кінцеву множину варіантів управлінських рішень в сфері державного земельного кадастру та критеріїв вирішення поставленої задачі. При цьому, оператор має

можливість використовувати запропоновану СППР як засіб автоматизації процесу підтримки прийняття управлінських рішень при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях. Це в свою чергу дозволить:

- максимально виключити залежність прийняття управлінських рішень від людського фактору;
- розвантажити, прискорити й впорядкувати роботу державних служб, пов'язаних із земельно-кадастровими роботами;
- забезпечити прозорість у розпорядженні об'єктами інтересу;
- підвищити об'єктивність прийнятих управлінських рішень тощо.

Рішенням вважається об'єктивно обґрунтований набір дій з боку особи, яка приймає рішення, спрямованих на об'єкт інтересу чи систему управління, який надає можливість привести даний об'єкт чи систему до бажаного стану або досягнути поставленої мети.

ВИСНОВКИ З ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

Таким чином, при вирішенні задачі підтримки прийняття управлінських рішень органами державної влади при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях з використанням даних ДЗЗ доцільно застосовувати СППР, яка забезпечує виконання незалежного та ґрунтового аналізу даної предметної області при прийнятті рішень в складних умовах. Обрано методи теорії категорій, які дозволяють у вигляді об'єктів категорії використовувати такі математичні конструкції, як висловлювання, предикати тощо. Розроблено метод підтримки прийняття управлінських рішень органами державної влади при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях з використанням даних дистанційного зондування Землі, математичні конструкції теорії категорій та логіки предикатів, які відображають відношення в структурованому та логічному вигляді. Запропоновано додатково використовувати методи ройового інтелекту, які представлено модулем в системі підтримки прийняття рішень, при обробці вхідних даних.

СППР, яка реалізує запропонований метод, можна використовувати як засіб автоматизації процесу підтримки прийняття управлінських рішень при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях, що дозволить максимально виключити

залежність прийняття управлінських рішень від людського фактору; розвантажити, прискорити й впорядкувати роботу державних служб, пов'язаних із земельно-кадастровими роботами; забезпечити прозорість у розпорядженні об'єктами інтересу; підвищити об'єктивність прийнятих управлінських рішень тощо.

Напрямок подальших досліджень є перевірка реалізуємості запропонованих варіантів управлінських рішень при проведенні земельно-кадастрових робіт на тимчасово окупованих територіях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Шипулін, В.Д. (2016). *Система земельного адміністрування: основи сучасної теорії*. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова.
- [2] Бутко, І. Використання інформації дистанційного зондування в інтересах реінтеграції тимчасово окупованих територій. *Управління та адміністрування в умовах протидії гібридним загрозам національній безпеці: матеріали I Всеукраїнської науково-практичної конференції* (с. 111-113). 7 грудня, 2020. Київ, Україна: ДУІТ.
- [3] Кушлик-Дивульська, О. І. & Кушлик, Б. Р. (2014). *Основи теорії прийняття рішень*. Київ: НТУУ «КПІ».
- [4] Ярушек, В. Е., Прохоров, В. П., Мишин, А. В. & Судаков, Б. Н. (2011). *Теоретические основы автоматизации процессов выработки решений в системах управления*. Харків: ХУВС.
- [5] Галаган, В. І., Полішко, С. В. & Бондарчук, С. В. (2018). Застосування систем підтримки прийняття рішень в управлінні нерухомим військовим майном Збройних Сил України. *Інформатизація та управління проектами інформатизації Збройних Сил*, 7(4), 74-79.
- [6] Кухар, М. А. (2017). Алгоритм функціонування системи підтримки прийняття рішень в земельних відносинах. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*, 7 (4), 325-332.
- [7] Савченко, А. С. & Синельников, О. О. (2017). *Методи та системи штучного інтелекту*. Київ: НАУ.
- [8] Стеценко, І. В. (2010). *Моделювання систем : навчальний посібник*. Черкаси : ЧДТУ.
- [9] Лубко, Д. В. & Шаров, С. В. (2019). *Методи та системи штучного інтелекту: навчальний посібник*. Мелітополь: ФОП Однорог Т.В.

УДК 004.896+623.746.2

Опубліковано 8 квітня 2021 року

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТУ ПОЛЬОТУ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ НА ОСНОВІ МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ

ОЛЕКСЕНКО Олександр Олександрович 

ад'юнкт науково-організаційного відділу

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

ЯРОШЕНКО Ярослав Віталійович 

ад'юнкт кафедри авіації

Національний університет оборони України імені Івана Черняховського

УКРАЇНА

Анотація: Запропоновано використання мурашиного алгоритму для визначення маршрутів польоту безпілотного літального апарата (БПЛА) до об'єктів розвідки (удару). В алгоритмі рішення будується в ітераційному процесі багатьма агентами (мурахами), які взаємодіють між собою через стігмержі – шляхом внесення змін в навколишнє середовище, а саме, відкладенням феромонів на маршрутах, причому вищий рівень феромону відкладається на кращих маршрутах. Прокладання маршрутів польоту буде здійснюватись з урахуванням наявності на маршруті перешкод "зон небезпеки". Досліджена робота макс-мінного мурашиного алгоритму при наявності на можливих маршрутах польоту таких перешкод. Результати досліджень в цілому позитивні і вказують на можливість вирішення поставленого завдання з використанням мурашиного алгоритму.

ВСТУП.

Задачі планування маршруту польоту традиційно зводяться до різного роду оптимізаційних постановок [1]. Основними методами є: повний перебір [1], динамічне програмування [2], генетичні алгоритми [3], жадібні алгоритми, метод сходження [4] та інші [5, 6].

Повний перебір [1] усіх можливих варіантів є самим простим розв'язанням даної задачі, знайдене рішення завжди оптимальне, але час

розв'язання задачі росте за експонентою. В методі динамічного програмування недоліком є обов'язкова лінійність цільової функції [2] та не забезпечує достатньої швидкодії і не працює у нестационарних системах. Перевагами генетичного методу [3] є практично повна незалежність від характеристик простору пошуку, мала залежність від вибору критерію оптимальності. Недоліком методу складність реалізації та значна залежність від вибору варіанта кодування хромосом. Принцип роботи жадібного алгоритму [4] зводиться до знаходження оптимального рішення для кожної локальної задачі. Перевагами методу є простота реалізації, швидкість роботи, відомий заздалегідь час пошуку., недоліком методу є те що рішення глобальної задачі може в загальному випадку не бути оптимальним.

У [5, 6] розглянута побудова та оптимізація маршрутів з використанням методів оптимізації на графах (розв'язання класичної задачі комівояжера). Побудова маршруту польоту зводиться до формування послідовності обльоту точок, розташування яких на земній поверхні вважається апіорі заданим. При цьому в якості критерію, що мінімізується виступає довжина маршруту. В той же час слід зауважити, що порядок обґрунтування вибору точок залежно від завдань БПЛА в даних працях не приводиться.

У роботах [2] запропоновано оптимізацію на графах з використанням алгоритму Літтла, який виділено як один із точних розв'язків задачі комівояжера. Недоліком методів [2] є не врахування специфіки застосування та можливостей оптимізації маршруту безпосередньо для БПЛА. У [7] розглянуто методи кластеризації вибору маршрутів з подібними ознаками. Проаналізовано основні підходи до їх вирішення, виділено переваги та недоліки різних методів кластеризації. Але методи [7] не враховують особливості планування маршрутів польоту, а саме висоти, швидкості польоту та інше.

У роботах [8], автори відмовилися від зведення задачі маршрутизації до різновидів задачі комівояжера. У роботах [8], використовується метод лінійного булевого програмування. Перевагами методу є можливість врахування більшої кількості факторів пов'язаних з використанням БПЛА. У роботі [9] оптимальний маршрут польоту БПЛА знаходиться з урахуванням обмеження на допустиму тривалість польоту. У роботі [9] додатково враховується нерівноцінність точок, що включаються в маршрут. Але в [8, 9, 10] не розглядаються випадки коли, на шляху

заданого руху БПЛА можуть бути виявлені раптові перешкоди ("зон небезпеки"). Це вимагає перепланування польоту БПЛА в автоматичному режимі, що є складним завданням. Результати робіт [11, 12] вимагають створення відповідної методики визначення оптимального маршруту польоту БПЛА з урахуванням наявності на маршруті "зон небезпеки".

ОСНОВНА ЧАСТИНА.

В останні роки набувають розвитку метаевристичні методи штучного інтелекту, до яких відноситься мурашиний алгоритм або метод мурашиних колоній (в англomовній літературі – Ant System (AS)), запропонований М. Доріго в 1992 році [13]. Спочатку алгоритм використовувався для пошуку найкоротшого шляху в графах, подальші дослідження, як західних [14], так і вітчизняних вчених [15], призвели до появи багаточисельних модифікацій алгоритму та продемонстрували його універсальність для вирішення широкого кола оптимізаційних задач. Однією з важливих переваг алгоритму являється його висока ефективність при оптимізації розподілених нестационарних систем [16]. При змінах досліджуваної системи алгоритм швидко адаптується до цих змін і знаходить нове оптимальне рішення. Названі вище, а також інші переваги алгоритму (такі, як, наприклад, швидкодія) роблять актуальним проведення дослідження стосовно можливості застосування мурашиного алгоритму та його різновидів для розробки оптимального маршруту польоту БПЛА.

Мурашині алгоритми основані на імітації природних механізмів самоорганізації колонії мурах. Колонія мурах розглядається як мультиагентна система, в якій кожний агент (мураха) діє по дуже простим правилам. На протидію примітивній поведінці мурах, поведінка всієї системи являється надзвичайно розумною, що забезпечує мурахам як виду існування на Землі вже понад 100 мільйонів років. Самоорганізація системи забезпечується низькорівневою взаємодією агентів, при цьому агенти обмінюються тільки локальною інформацією, а будь-яке централізоване управління системою, направлене на досягнення глобальних цілей, виключається. Самоорганізація є результатом взаємодії наступних чотирьох компонентів: багатократності повторення (реалізовується ітераційним пошуком маршруту декількома

мурахами одночасно); випадковості (чим коротший маршрут “Іжа – Мурашник”, тим частіше мураха зможе пройти його за фіксований час); позитивного зворотного зв'язку (реалізовується імітацією поведінки мурах типу “залишення слів – пересування за слідами”); негативного зворотного зв'язку (реалізовується через випаровування феромону). Для передачі локальної інформації агенти використовують так звані стігмержі (stigmergy) – рознесений в часі тип взаємодії, коли один агент змінює деяку частину навколишнього середовища, а інші агенти спостерігають ці зміни через деякий час, коли знаходяться у відповідній точці середовища, та використовують відповідну інформацію у своїй діяльності. Мурахи застосовують стігмержі шляхом виділення феромону (pheromone) – спеціального секрету, який відкладається мурахою на своєму маршруті в процесі пошуку їжі та під час повернення з їжею до мурашника. Наступний мураха, який буде знаходитись поблизу маршруту руху першого, сприймає феромон та з високою ймовірністю продовжить рух до їжі по шляху першого мурахи, в свою чергу відкладаючи феромон (підвищуючи його концентрацію на маршруті). Чим вище концентрація феромону на маршруті, тим вища привабливість цього маршруту для наступних мурах, і тим більше мурах вибере саме цей маршрут. Розподіл феромону в навколишньому середовищі являється немовби динамічною пам'яттю системи. Кожний мураха в певний момент часу сприймає та змінює одну градку цієї пам'яті – рівень феромону в околиці точки, в якій мураха знаходиться.

Концентрація феромону, відкладеного на маршруті, зворотно пропорційна його довжині. Чим коротше буде маршрут, тим більшою буде концентрація феромону на ньому, в результаті більш короткий маршрут збережеться у глобальній пам'яті мурашника як більш вдалий і з вищою ймовірністю буде обраний наступними мурахами.

З часом феромон випаровується, що забезпечує зворотній зв'язок. Оскільки, як зазначено вище, концентрація феромону буде поступово збільшуватись на вдалих маршрутах, а швидкість випаровування феромону є постійною, через деякий час невдалі маршрути зникнуть, і все більше мурах будуть здійснювати рух лише по вдалих маршрутах. Використання зворотного зв'язку (випаровування) попереджує завчасну сходимість рішень – вибір мурахами одного і того ж субоптимального маршруту.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ ПРОКЛАДЕННЯ МАРШРУТУ ПОЛЬОТУ БПЛА.

В найпростішому випадку маршрут польоту БПЛА можна представити як сукупність наступних ділянок: ділянки зльоту з вихідної точки маршруту (ВТМ) та набору висоти, горизонтальних ділянок, на яких відбувається крейсерський політ, вихід на об'єкт розвідки (удару), ділянка зниження до рубежу виконання завдання (РВЗ) або кінцевої точки маршруту (КТМ). Горизонтальні ділянки проходять через поворотні точки маршруту (ПТМ), в яких відбувається зміна курсу, а в загальному випадку, і висоти польоту (рис.1). У подальшому вважаємо, що положення ВТМ, КТМ та поворотних точок маршруту повністю визначає маршрут польоту БПЛА.

Політ по кожній з ділянок маршруту, а також здійснення маневру в вибраних ПТМ, має певні небезпеки для БПЛА та вимагає певних витрат ресурсів, що призводить до наявності переваги одного маршруту польоту перед іншим. Оскільки варіантів просторового розташування поворотних точок маршруту може бути дуже багато, кількість можливих маршрутів польоту БПЛА буде надзвичайно великою, що ускладнює вибір маршруту БПЛА методом перебору. В [13] наведені підходи щодо застосування для пошуку раціонального маршруту методу динамічного програмування, проте і цей метод не забезпечує достатньої швидкодії та не працює у нестационарних системах. Продемонструємо, як прокласти маршрут з використанням мурашиного алгоритму.

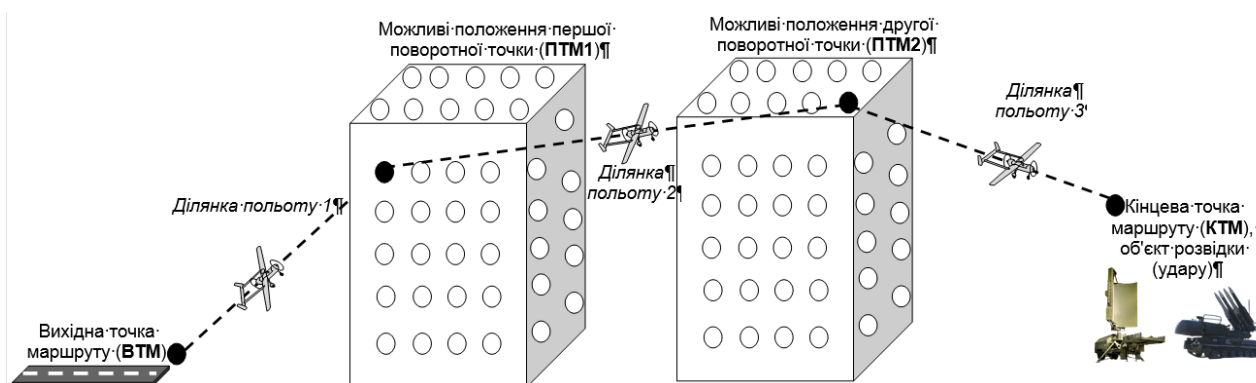


Рис 1. Приклад представлення маршруту польоту БПЛА

В мурашиному алгоритмі в кожній ітерації ітераційного процесу m агентами здійснюється пошук рішення та оновлення феромонів на

знайденому маршруті. Кожний k -й агент починає шлях з ВТМ, послідовно проходить вибрані алгоритмом поворотні точки маршруту і звершує шлях в КТМ. Вибір ПТМ з J можливих здійснюється на основі ймовірнісного правила, що визначає ймовірність переходу k -го агента в i -у ПТМ з врахуванням доступності i -ї ділянки маршруту L_i та концентрації феромонів на цій ділянці F_i в момент часу t наступним чином:

$$P_i^k(t) = \frac{F_i(t)^\alpha \cdot L_i^\beta}{\sum_{j=1}^J F_j(t)^\alpha \cdot L_j^\beta}, \quad (1)$$

де $\alpha \geq 0$ і $\beta \geq 0$ – два регульовані параметри, що задають вагу феромона і доступності ділянки, відповідно.

При $\alpha = 0$ агенти на кожному кроці переходять в найближчу ПТМ і АС перетворюється в “жадібний” алгоритм класичної теорії оптимізації. При $\beta = 0$ враховується тільки вплив феромонів, що швидко приведе рішення до субоптимального. Для забезпечення доброї динаміки в [9] рекомендується встановлювати $\beta > \alpha$, М.Доріго було відкрито ряд комбінацій α і β , які дозволяють знаходити добрі результати за найкоротший час.

За правилом (1) знаходяться ймовірності вибору тієї чи іншої ПТМ. Сам вибір здійснюється за принципом “колеса рулетки”. Це може бути реалізовано, наприклад, розподілом деякого відрізка довжиною S на J частин довжиною, пропорційною P_i , генерування рівномірно розподіленого в інтервалі [13] випадкового числа та вибору ПТМ відповідно до того, в яку за порядковим номером частину відрізка S попадає випадкове число.

Доступність ділянки маршруту L_i в найпростішому випадку може бути розрахована за виразом (2):

$$L_i = \frac{l}{D_i}, \quad (2)$$

де D_i – довжина i -ї ділянки маршруту.

В більш складних випадках значення L_i може бути розраховане в залежності від наявності “зон небезпеки” на ділянці польоту.

На початку ітераційного процесу кількість феромону на ділянках

маршруту приймається однаковою і рівною деякому невеликому числу F_0 . Після кожної ітерації концентрація феромонів на вибраних агентами ділянках оновлюється за правилом (3):

$$F_i(t+1) = (1-\rho)F_i(t) + \sum_{k=1}^m \Delta F_i^k, \quad (3)$$

де $\rho \in [0,1]$ – швидкість випаровування феромону (*Pheromone evaporation*), в [9] рекомендується встановлювати $\rho > 0,5$, при $\rho < 0,5$ результати тестувань були незадовільні;

ΔF_i^k – концентрація феромону на i -й ділянці маршруту, що створюється проходженням k -го агента.

У тому випадку, якщо у поточній ітерації по ділянці не пройшов жодний з агентів, правило (3) перетворюється на:

$$F_i(t+1) = (1-\rho)F_i(t), \quad (4)$$

тобто оновлення феромону полягає в його випаровуванні із швидкістю ρ .

Базовий AS вирішує задачі оптимізації з великою розмірністю з точністю на рівні інших евристичних методів, таких, як генетичний алгоритм, чи імітація відпалу. Базового мурашиного алгоритму недостатньо для вирішення поставленого завдання. Тому для покращення результатів роботи використовуються покращені мурашині алгоритми (ASE – базовий мурашиний алгоритм з елітними мурахами, ASR – ранговий мурашиний алгоритм, ACS – алгоритм мурашиної колонії, MMAS – макс-мінний мурашиний алгоритм). В даній роботі пропонується застосовувати Макс-мінний мурашиний алгоритм (MAX-MIN Ant System), який у порівнянні з іншими різновидами AS знаходить кращі рішення за найкоротший час та має найкращу показник по критерію середньої відносної точності. Його характерними особливостями є те, що:

- на кожній ітерації феромони добавляються тільки на ребра (ПТМ) найкращого маршруту по правилу (5);
- кількість феромонів на маршруті між поворотними точками обмежено в діапазоні $[F_{min}, F_{max}]$;
- на початку роботи алгоритму кількість феромону на кожному ребрі графа приймається рівним F_{max} .

Отже, тільки найкращі агенти підвищують рівень феромону на своїх

маршрутах і рівень феромону на маршрутах обмежений. Оновлення рівня феромону на маршрутах здійснюється за правилом:

$$F_i(t+1) = [(1-\rho)F_i(t) + \Delta F_i^{best}]_{F_{min}}^{F_{max}}, \quad (5)$$

де F_{max} та F_{min} – верхня та нижня межі рівня феромону;

$[x]_b^a$ – оператор, який визначається як:

$$[x]_b^a = \begin{cases} a, & \text{якщо } x > a \\ b, & \text{якщо } x < b, \\ x & \text{в інших випадках} \end{cases} \quad (6)$$

а ΔF_i^{best} визначається як:

$$\Delta F_i^{best} = \begin{cases} 1/L_{best}, & \text{якщо } i - \text{кращий маршрут в ітерації} \\ 0 & \text{в інших випадках} \end{cases}, \quad (7)$$

L_{best} – довжина маршруту кращого агента.

Це може бути або найкращий маршрут, знайдений в поточній ітерації, L_{ib} , або найкраще рішення, знайдене з початку роботи алгоритму, L_{bs} .

Дослідження показали, що для вирішення задач, аналогічних тим, що розглядаються в даній роботі, доцільніше використовувати MMAS.

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОКЛАДАННЯ МАРШРУТУ БПЛА НА ОСНОВІ МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ.

Перевірка працездатності алгоритму MMAS була здійснена з використанням даних контрольного прикладу. Для наочності представлення результатів застосована прямокутна система координат, у якій ВТМ, КТМ і ПТМ знаходяться в одній горизонтальній площині. Доступність ділянок маршруту розраховувалась за (2). Вихідні дані:

кількість ВТМ $N_{ВТМ} = 1$;

кількість КТМ $N_{КТМ} = 1$;

кількість горизонтальних ділянок маршруту – 3;

кількість можливих перших ПТМ (ПТМ1) $N_{ПТМ1} = 20$;

кількість можливих других ПТМ (ПТМ2) $N_{ПТМ2} = 20$ (положення ВТМ, КТМ, ПТМ1 та ПТМ2 показані на рис. 2);

вага феромонів $\alpha = 2$;

“жадібність” алгоритму $\beta = 1$;
 швидкість випаровування феромону $\rho = 0,001$;
 кількість ітерацій алгоритму $N = 400$;
 кількість агентів в ітерації $m = 100$;
 початкова кількість феромону $F_0 = 0,01$.

Очевидно, що для умов контрольного прикладу оптимальним маршрутом буде пряма від ВТМ до КТМ. На рис.2 послідовно показана робота алгоритму після 40, 80, 200 та 400 ітерацій.

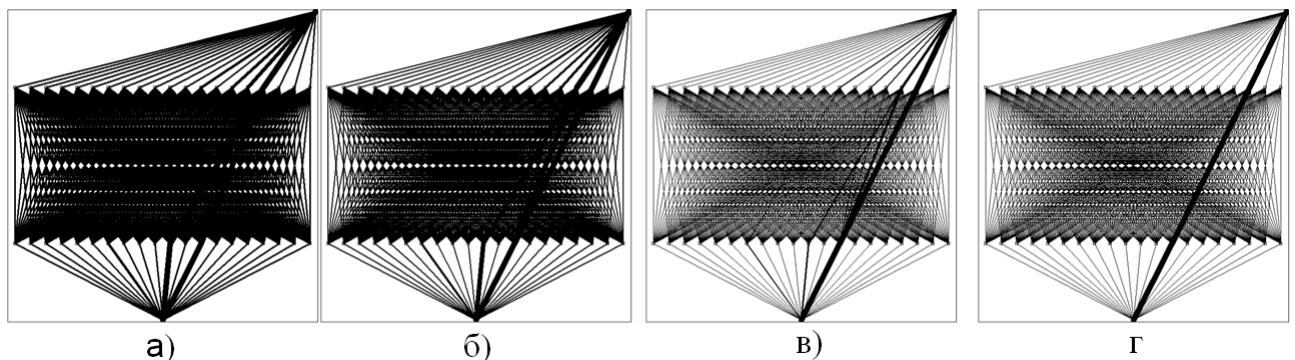


Рис 2 .Результати роботи MMAS для вихідних даних контрольного прикладу
 (а – після 40, б – після 80, в – після 200, г – після 400 ітерацій)

Після 40 ітерацій рівень феромону на всіх маршрутах ще незначно відрізняється від початкового рівня F_0 , проте агенти вже позначили феромонами два маршрути як кращі (більш жирні лінії). Після 80 ітерацій рівень феромону на всіх маршрутах, крім кращих, значно зменшується внаслідок випаровування (відповідні лінії стали тоншими), чітко виділяються три кращі маршрути, між якими в подальшому “йде суперечка”. Після 200 ітерацій вже чітко виділяється кращий маршрут, хоча декілька маршрутів ще намагаються “вести суперечку”, після 400 ітерацій кращий маршрут (який і є оптимальним), очевидно, домінує.

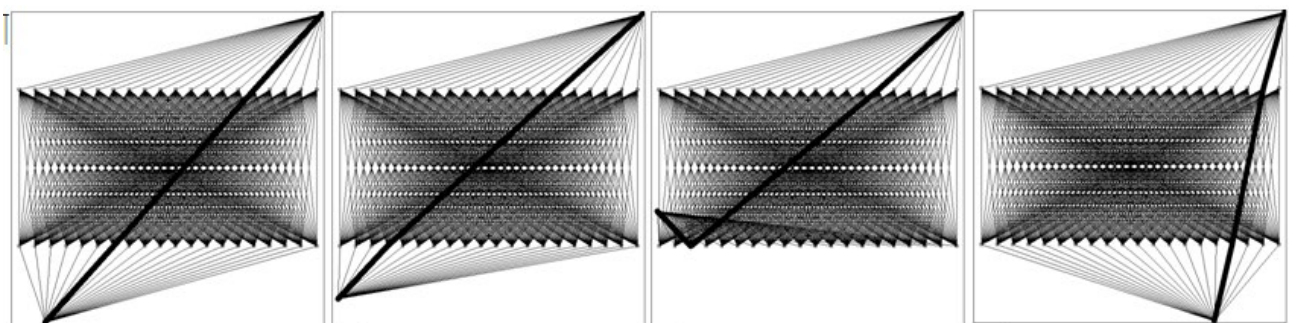


Рис 3. Результати роботи MMAS для різних положень ВТМ

На рис.3 показані результати роботи MMAS для різних положень BTM. В усіх випадках MMAS знаходив оптимальне рішення, що перевірялось методом перебору.

В наступному дослідженні перевірялась працездатність алгоритму MMAS при використанні критерію “найкоротший маршрут з тих, що огинають перешкоди”.

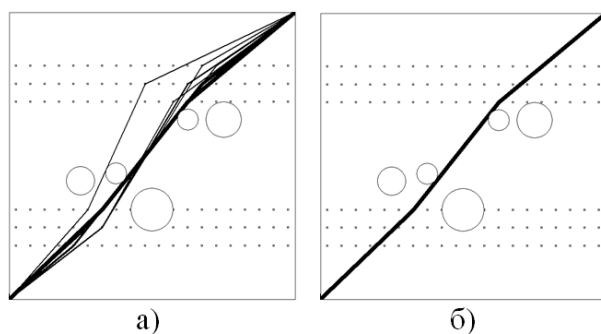


Рис 4. Робота MMAS при наявності “зон небезпеки”
а) після 100 ітерацій; б) після 300 ітерацій

Збільшено до 60 потужності множин ПТМ1 та ПТМ2. В середовище прокладання маршруту добавлені перешкоди (“зони небезпеки”), а доступність ділянки маршруту L_i розраховувалась як:

$$L_i = \begin{cases} 1 / D_i, & \text{якщо } i\text{-й маршрут пролягає} \\ & \text{за межами "заборонених зон"} \\ 0 & \text{в інших випадках} \end{cases} \quad (8)$$

Результати роботи MMAS при наявності “зон небезпеки” показані на рис.4 В усіх випадках алгоритм знаходив найкоротший маршрут з тих, що не проходять через “заборонені зони”. Слід зауважити, що на рис.3 та рис. 4 не показані маршрути з рівнем феромонів нижче 5% від максимального.

ВИСНОВКИ З ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

Таким чином, в даній роботі розглянута можливість застосування мурашиного алгоритму MMAS для визначення маршрутів польоту БПЛА. Результати досліджень в цілому позитивні і вказують на можливість вирішення поставленого завдання з використанням мурашиного алгоритму. Прокладання маршрутів польоту буде здійснюватися з урахуванням наявності на маршруті перешкод, “зон небезпеки”.

Подальші дослідження можуть бути направлені на реалізацію тримірної пошуку маршрутів польоту БПЛА в географічних координатах з урахуванням розмірів поворотних точок маршруту, у яких БПЛА здійснюють маневр, та реальних розмірів і конфігурації заборонених зон, а також рельєфу місцевості. Практична реалізація закладених в статті положень також буде вимагати обґрунтування меж областей можливих положень поворотних точок маршруту та кроку їх табуляції. Авторами планується реалізація модифікації мурашиного алгоритму з безперервним середовищем, коли положення і кількість поворотних точок маршруту заздалегідь не визначені, а агенти переміщуються в кожній ітерації у випадковому напрямку та випадковим чином вибирають момент повороту. При цьому феромони мають відкладатись не тільки вздовж маршруту, а і в деякій його околиці. Відповідні дослідження ведуться авторами і будуть опубліковані в подальших роботах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Райгородский, А. М. (2012). *Экстремальные задачи теории графов и Интернет*. Москва: Интеллект.
- [2] Таран, И. А., Тристан, А. В., Паталаха, В. Г. (2015) Методика определения рационального маршрута полета летательного аппарата с использованием динамического программирования. *Вестник военного института Национальной гвардии Республики Казахстан*. (3 (17)). 34-42.
- [3] Урубков, А. Р., Федотов, И. В. (2011). *Методы и модели оптимизации управленческих решений*. Москва: Дело АНХ.
- [4] Сигал, И. Х., Иванова, А. П. (2003). *Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы*. Москва: ФИЗМАТЛИТ.
- [5] Макаров, И. М., Лохин, В. М., Манько, С. В. (2002) Интеллектуальные системы управления беспилотными летательными аппаратами на основе комплексного применения технологий нечеткой логики и ассоциативной памяти. *Авиакосмическое приборостроение*, (2). 29-36.
- [6] Моисеев, В. С. (2013). *Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами*. Казань: ГБУ РЦМКО.
- [7] Цимбалістова, О. А. (2015). Розвиток ринку послуг безпілотних літальних апаратів як основний напрямок інноваційного прогресу сучасної авіації. *Економічний аналіз*, (1). 116-122.
- [8] Станкевич, С. А., Васько, А. В. (2011). Застосування сучасних технологій аерокосмічного знімання в аграрній сфері. *Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій*. Київ. 44-50.
- [9] Радецький, В. Г., Руснак, І. С., Даник, Ю. Г. (2008). *Безпілотна авіація в сучасній збройній боротьбі*. Київ: НАОУ.

- [10] Моисеев, Д. В., Чинь, В. М. (2016). Маршрутизация полета легкого беспилотного летательного аппарата в поле постоянного ветра с учетом ограничения на продолжительность полета. *Мехатроника, Автоматизация, Управление*, (3). 206–210.
- [11] Shchypanskyi, P., Savchenko, V., Martyniuk, O., Kostiuk, I. (2020). Air defense planning from an impact of a group of unmanned aerial vehicles based on multi-agent modeling. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, (8(4)), 1302-1308.
- [12] V. Tyurin, O. Martyniuk, V. Mirnenko, P. Open'ko and I. Korenivska. General Approach to Counter Unmanned Aerial Vehicles. *IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)*, (pp. 75-78). 22-24 Oct. 2019, Kiev, Ukraine.
- [13] M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Coloni. Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, (Part B, vol. 26, no. 1, pp. 29-41, 1996.
- [14] T. Stutzle and H. H. Hoos. (2000). MAX-MIN Ant System. *Future Generation Computer Systems*, (vol. 16, no. 8). 889-914
- [15] Штовба, С.Д. (2003). Муравьиные алгоритмы. *Exponenta Pro. Математика в приложениях*, (4). 70-75.
- [16] Caro G. D., Dorigo M. (1997). Anet: a Mobile Agents Approach to Adaptive Routing. *Technical Report IRIDA 97-12. IRIDA*. Brussels, Belgium: niversite Libre de Bruxelles.

This image shows a full page of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, typical of notebook paper or a document template. There are no margins, text, or other markings present.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

КОЛЕКТИВНА МОНОГРАФІЯ

**«СУЧАСНИЙ СТАН ПРОВЕДЕННЯ НАУКОВИХ
ДОСЛІДЖЕНЬ У ІТ-ТЕХНОЛОГІЯХ, ГАЛУЗЯХ
ЕЛЕКТРОНІКИ, ІНЖЕНЕРІЇ, НАНОТЕХНОЛОГІЯХ
ТА ТРАНСПОРТНІЙ СФЕРІ»**

ВИДАННЯ 1

Українською мовою

Опубліковано (PDF) 25.04.2020. Підписано до друку 08.04.2021.

Формат 60×84/16. Папір офсетний.

Гарнітура Cambria. Цифровий друк.

Умовно-друк. арк. 9,30. Замовлення № 21560.

Тираж: 100 екземплярів.

Віддруковано з готового оригінал-макету.

Видавець:

21037, Україна, м. Вінниця, вул. Зодчих, 18, офіс 81

ГО «Європейська наукова платформа»

Телефони: +38 098 1948380; +38 098 1956755

E-mail: info@ukrlogos.in.ua | URL: www.ukrlogos.in.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК № 7172 від 21.10.2020.

Видавець друкованих матеріалів:

Друкарня ФОП Гуляєва В.М.

08700, Україна, м. Обухів, вул. Малишка, 5. E-mail: 5894939@gmail.com

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК № 6205 від 30.05.2018 р.