

ISSN 2664-262X

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет

**ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВИЙ ВІСНИК.
ТЕХНІЧНІ НАУКИ**

Збірник наукових праць
За загальною редакцією М.І. Черновола
Заснований у 1997 році

**В и п у с к 6(37)
Частина І І**

Кропивницький • 2022

ISSN 2664-262X

Ministry of Education and Science of Ukraine
Central Ukrainian National Technical University

**CENTRAL UKRAINIAN SCIENTIFIC BULLETIN.
TECHNICAL SCIENCES**

Collected Works
Under the general editorship of M. Chernovol
Founded in 1997

**Issue 6(37)
Part I I**

Kropyvnytskyi • 2022

У науковому віснику представлені статті, присвячені проблемам проектування, експлуатації та ремонту сільськогосподарської техніки і транспортних засобів, технології виробництва, транспортних технологій та логістики, будівництва, матеріалознавства, ІТ-технологій, роботизації, автоматизації в промисловості та сільському господарстві. Наведені практичні рекомендації до використання результатів досліджень у галузях народного господарства.

Науковий вісник є фаховим виданням, в якому публікуються основні результати наукових досліджень професорсько-викладацького складу, аспірантів, докторантів університету, а також науковців інших навчальних закладів, науково-дослідних інститутів НАНУ та промислових підприємств України.

Збірник розрахований на наукових, науково-технічних працівників різних галузей науки та техніки, ЗВО, здобувачів вчених ступенів і звань.

Рекомендовано до друку Вченою радою Центральноукраїнського національного технічного університету, протокол від 29 грудня 2022 року № 4.

Головний редактор: д-р техн. наук, проф. Черновол М.І.

Редакційна колегія: Аулін В.В., д-р техн. наук, проф., (заступник головного редактора за галузями: 13 «Механічна інженерія», 19 «Архітектура та будівництво», 20 «Аграрні науки та продовольство», 27 «Транспорт»); Лисенко С.В., канд. техн. наук, доц. (відповідальний секретар за галузями: 13 «Механічна інженерія», 19 «Архітектура та будівництво», 20 «Аграрні науки та продовольство», 27 «Транспорт»); Смірнов О.А., д-р техн. наук, проф., (заступник головного редактора за галузями: 12 «Інформаційні технології», 15 «Автоматизація та приладобудування»); Доренський О.П., канд. техн. наук, доц. (відповідальний секретар за галузями: 12 «Інформаційні технології», 15 «Автоматизація та приладобудування»); Березюк І.А., канд. техн. наук, доц.; Варума Аріфа, Dr PhD (Нігер); Васильковський О.М., канд. техн. наук, проф.; Віхрова Л.Г., канд. техн. наук, проф.; Галкін А.С., д-р техн. наук, проф.; Гамалій В.Ф., д-р ф.-м. наук, проф.; Гасенко А.В., канд. техн. наук, доц.; Голуб Д.В., канд. техн. наук, доц.; Гриньків А.В., канд. техн. наук, ст. наук. співр.; Дарієнко В.В., канд. техн. наук, доц.; Зоценко М.Л., д-р техн. наук, проф.; Івашук В.В., д-р техн. наук, доц.; Карпушин С.О., канд. техн. наук, доц.; Кириченко А.М., д-р техн. наук, проф.; Клименко В.В., д-р техн. наук, проф.; Коваленко О.В., д-р техн. наук, доц.; Кондратець В.О., д-р техн. наук, проф.; Кузик О.В., канд. техн. наук, доц.; Матейчик В.П., д-р техн. наук, проф.; Мацуї А.М. канд. техн. наук, доц.; Мелешко С.В., д-р техн. наук, проф.; Осадчий С.І., д-р техн. наук, проф.; Павленко І.І., д-р техн. наук, проф.; Пашинський В.А. д-р техн. наук, проф.; Пашинський М.В., канд. техн. наук, Росолов О.В., д-р техн. наук, доц.; Сало В. М., д-р техн. наук, проф.; Смірнов С.А., канд. техн. наук; Солових С.К., д-р техн. наук, проф.; Сторчак М.Г., д-р техн. наук, ст. наук. співр. (Німеччина); Тарандушка Л.А., д-р техн. наук, доц.; Філімоніхін Г.Б., д-р техн. наук, проф.; Шепеленко І.В., д-р техн. наук, доц.; Яцун В.В., канд. техн. наук, доц.

Адреса редакційної колегії: 25030, м. Кропивницький, проспект Університетський, 8,
Центральноукраїнський національний технічний університет, тел.: +380 (522)
390-472, +380 (522) 390-437, +380 (522) 55-10-49.

Офіційний сайт: <http://mapiea.kntu.kr.ua/>

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації. Редакція може публікувати статті в порядку обговорення, не поділяючи точки зору автора.

Науковий вісник заснований у 1997 році.

Включений до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (доктора філософії) в галузі технічних наук (постанови Президії ВАК України від 9 червня 1999 року №1-05/7, від 14 жовтня 2009 року № 1-05/4; накази Міністерства освіти і науки України від 29 грудня 2014 року № 1528, від 07 листопада 2018 року № 1218, від 02 липня 2020 року № 886, від 24 вересня 2020 року № 1188).

Науковий вісник зберігається в загальнодержавній реферативній базі даних «Україніка наукова» Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського та представлений у міжнародних наукометричних базах даних *Index Copernicus*, *CrossRef*, *Open Ukrainian Citation Index*, *WorldCat*, *ResearchBib*, *Google Scholar*

Реєстраційне свідоцтво: серія КВ № 23513-13353 ПР від 13.07.2018 р.

ISSN 2664-262X (p), 2707-9449 (o)

DOI: 10.32515/2664-262X

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

УДК 004.832.2, 004.023

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.3-16](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.3-16)

Є. Є. Федоров, проф., д-р техн. наук, О. В. Нечипоренко, доц., канд. техн. наук
 Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна
 e-mail: fedorovee75@ukr.net, olne@ukr.net

Мультиагентні метаевристичні методи рішення задачі управління запасами

Пропонується задача керування запасами як складова частина задачі ефективного керування ланцюгами постачання. Для вирішення цієї задачі пропонуються мультиагентні метаевристичні методи на основі оптимізації рою частинок та алгоритму рою штучних риб, які використовують динамічні параметри та враховують кількість запасів товару в кінці кожного етапу. Для цих методів запропоновано паралельні алгоритми на основі технології CUDA. Ці методи досліджувалися на основі даних логістичної компанії «Ecol Ukraine» та призначені для інтелектуальних комп'ютерних систем управління ланцюгами постачання.
задача управління запасами, управління ланцюгами постачання, мультиагентні метаевристичні методи, оптимізація рою частинок, алгоритм рою штучних риб

Постановка проблеми. В даний час актуальною є проблема недостатньої ефективності управління ланцюгами постачання [1]. Однією із задач, розв'язуваних у межах зазначеної проблеми, є оптимізаційна задача управління запасами [2]. Методи оптимізації, що знаходять наближене рішення за допомогою спрямованого пошуку, мають високу ймовірність потрапляння до локального екстремуму. Методи оптимізації, що знаходять точне рішення, мають високу обчислювальну складність. Методи випадкового пошуку не гарантують збіжності. У зв'язку з цим виникає проблема недостатньої ефективності методів оптимізації, яка потребує вирішення.

Для прискореного знаходження квазіоптимального рішення та зниження ймовірності попадання в локальний екстремум використовуються метаевристики (або сучасні евристики) [3]. Метаевристика розширює можливості евристики, комбінуючи евристичні методи на основі високорівневої стратегії [4].

Проблема підвищення ефективності пошуку рішення задачі управління запасами на основі мультиагентних метаевристичних методів представляється як проблема знаходження такого впорядкованого набору операторів $\{A_i\}$, ітеративне застосування якого забезпечує знаходження такого рішення x^* , при якому функція цілі $F(x^*) \rightarrow \min$ і $T \rightarrow \min$.

Як функцію цілі в роботі пропонується використовувати комбінацію двох функцій:

$$F(x, z) = F1(x, z) + F2(x, z) \rightarrow \min_x,$$

$$F1(x, z) = \sum_{m=1}^M w1 \cdot \max\{0, z^{\min} - (x_m + z_{m-1} - D_m)\},$$

$$F2(x, z) = \sum_{m=1}^M w2 \cdot \max\{0, x_m + z_{m-1} - D_m - z^{\max}\},$$

$$z_m = x_m + z_{m-1} - D_m,$$

де $F(\cdot)$ – функція цілі;

$F1(\cdot)$ – витрати від дефіциту товару;

$F2(\cdot)$ – витрати від зберігання товару;

$w1$ – прибуток від продажу однієї одиниці товару, задається;

$w2$ – витрати на зберігання однієї одиниці товару, задається;

x_m – кількість товару, що закуповується у постачальника протягом m -го етапу;

z_m – кількість запасів товару в кінці m -го етапу;

z_0 – вхідна кількість запасів товару, задається;

z^{\min}, z^{\max} – мінімальна та максимальна кількість запасів товару в кінці кожного

етапу, задається;

D_j – кількість товару, що продається протягом m -го етапу, задається;

M – кількість етапів.

Показник z^{\min} може розглядатися як межа між чорною та червоною зонами буфера запасів. Показник z^{\max} може розглядатися як межа між зеленою та синьою зонами буфера запасів. Потрапляння до чорної зони буфера запасів описується умовою $F1(x, z) > 0$. Попадання в червону/жовту/зелену зону буфера запасів описується умовою $F1(x, z) + F2(x, z) = 0$. Попадання в синю зону буфера запасів описується умовою $F2(x, z) > 0$.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі метаевристики мають один або більше з таких недоліків:

- не враховується номер ітерації для процесу пошуку рішення [5];
- не автоматизовано процедуру обчислення значень параметрів [6, 7];
- є лише проблемно-орієнтований або лише абстрактний опис методу [8, 9];
- не гарантується збіжність методу [10];
- недостатня точність методу [11];
- відсутня можливість вирішувати задачі умовної оптимізації [12, 13];
- вимога використовувати лише не бінарні чи бінарні потенційні рішення [14];
- обмежуються лише рівномірним розподілом [15, 16].

У зв'язку з цим постає задача побудови ефективних метаевристичних методів оптимізації. Однією з найпопулярніших метаевристичних є алгоритм оптимізації рою частинок [17] та алгоритм рою штучних риб [18].

Постановка мети і задач дослідження. Метою роботи є розробка мультиагентних метаевристичних методів розв'язання задачі управління запасами для підвищення ефективності управління ланцюгами поставок. Для досягнення мети було поставлено та вирішено такі задачі:

- провести аналіз існуючих мультиагентних метаевристичних методів;
- запропонувати мультиагентний метаевристичний метод на основі оптимізації рою частинок;
- запропонувати паралельний алгоритм мультиагентного метаевристичного методу на основі оптимізації рою частинок;
- запропонувати мультиагентний метаевристичний метод на основі алгоритму рою штучних риб;
- запропонувати паралельний алгоритм мультиагентного метаевристичного методу на основі алгоритму рою штучних риб;
- виконати чисельні дослідження.

Виклад основного матеріалу.

1. Мультиагентний метаевристичний метод розв'язання задачі управління запасами на основі оптимізації рою частинок. Запропонований мультиагентний метаевристичний метод вирішення задачі управління запасами DPSO заснований на оптимізації рою частинок (PSO). Особливість запропонованого методу полягає в тому, що для керування параметрами методу, а також для забезпечення того, щоб на початкових ітераціях досліджувався весь простір пошуку, а на заключних ітераціях пошук ставав спрямованим і схилювався, при генерації потенційних рішень враховується номер ітерації. Крім того, для модифікації потенційних рішень замість рівномірного розподілу використовуються розподіл Гауса та розподіл Коші, причому їх вибір залежить від номера ітерації. Також проводиться обчислення кількості запасів товару наприкінці кожного етапу.

Запропонований метод складається з наступних етапів:

1. Ініціалізація.

1.1. Завдання максимальної кількості ітерацій N , розміру рою K , кількості етапів M , мінімального та максимального значення параметра $\theta^{\min}, \theta^{\max}$, керуючого вкладом інерційної, когнітивної та соціальної компонент у швидкість частки, кількості товару, що продається, протягом усіх етапів $D = (D_{k1}, \dots, D_{kM})$, вхідної кількості запасів товару z_0 .

1.2. Створення початкового рою частинок $Q = \{(x_k, z_k, x_k^{best}, z_k^{best}, v_k)\}$.

1.2.1. Ініціалізація кожної позиції $x_k = (x_{k1}, \dots, x_{kM})$, $x_{ki} = U(0,1)$, $k \in \overline{1, K}$, $i \in \overline{1, M}$, де $U(0,1)$ – функція, що повертає рівномірно розподілене випадкове число в діапазоні $[0,1]$.

1.2.2. Обчислення кількості запасів товару наприкінці кожного етапу $z_{kj} = x_{kj} + z_{k,j-1} - D_j$, $k \in \overline{1, K}$, $j \in \overline{1, M}$.

1.2.3. Ініціалізація персональної (локальної) найкращої позиції $x_k^{best} = x_k$, $k \in \overline{1, K}$.

1.2.4. Обчислення кількості запасів товарів за всіма періодами $z_k^{best} = z_k$, $k \in \overline{1, K}$.

1.2.5. Ініціалізація кожної швидкості $v_k = (v_{k1}, \dots, v_{kM})$, $v_{ki} = 0$, $k \in \overline{1, K}$, $i \in \overline{1, M}$.

1.3. Обчислення глобальної кращої позиції з усіх ітерацій $k^* = \arg \max_{k \in \overline{1, K}} F(x_k, z_k)$, $x^* = x_{k^*}$, $z^* = z_{k^*}$.

1.4. Встановлення номера поточної ітерації n в одиницю.

2. Обчислення параметра, що управляє вкладом інерційної компоненти у швидкість частки на поточній ітерації $w(n) = \theta^{\min} + (\theta^{\max} - \theta^{\min}) \left(\frac{N-n}{N} \right)$.

3. Обчислення параметра, що управляє вкладом когнітивної компоненти у швидкість частки на поточній ітерації $\alpha_1(n) = \theta^{\min} + (\theta^{\max} - \theta^{\min}) \left(\frac{N-n}{N} \right)$.

4. Обчислення параметра, що управляє вкладом соціальної компоненти у швидкість частки на поточній ітерації $\alpha_2(n) = \theta^{\min} + (\theta^{\max} - \theta^{\min}) \left(\frac{N-n}{N} \right)$.

5. Оператор обчислення швидкості кожної частки

$$r1_{ki} = \left(n < \frac{N}{2} \right) C(0,1) + \left(n \geq \frac{N}{2} \right) N(0,1), \quad k \in \overline{1, K}, \quad i \in \overline{1, M},$$

$$r2_{ki} = \left(n < \frac{N}{2} \right) C(0,1) + \left(n \geq \frac{N}{2} \right) N(0,1), \quad k \in \overline{1, K}, \quad i \in \overline{1, M},$$

$v_k = (v_{k1}, \dots, v_{kM})$, $v_{ki} = w(n)v_{ki} + \alpha_1(n)(x_{ki}^{best} - x_{ki})r1_i + \alpha_2(n)(x_i^* - x_{ki})r2_i$, $k \in \overline{1, K}$, $i \in \overline{1, M}$,
де $N(0,1)$ – функція, що повертає стандартно нормально розподілене випадкове число, $C(0,1)$ – функція, що повертає стандартно Коші розподілене випадкове число.

6. Оператор обчислення позиції кожної частки $x_k = x_k + v_k$, $k \in \overline{1, K}$.

7. Обчислення кількості запасів товару наприкінці кожного етапу $z_{kj} = x_{kj} + z_{k,j-1} - D_j$, $k \in \overline{1, K}$, $j \in \overline{1, M}$.

8. Обчислення персональної (локальної) кращої позиції кожної частки за всіма ітераціями. Якщо $F(x_k, z_k) > F(x_k^{best}, z_k^{best})$, то $x_k^{best} = x_k$, $z_k^{best} = z_k$, $k \in \overline{1, K}$.

9. Визначення штучної риби з найкращою позицією по всій поточній популяції $k^* = \arg \max_{k \in \overline{1, K}} F(x_k, z_k)$.

10. Обчислення глобальної кращої позиції з усіх ітерацій. Якщо $F(x_{k^*}, z_{k^*}) > F(x^*, z^*)$, то $x^* = x_{k^*}$, $z^* = z_{k^*}$.

11. Умова зупину. Якщо $n < N$, то збільшити номер ітерації n на одиницю та перейти до блоку 2. Результатом є x^* .

2. Алгоритм мультиагентного метаевристичного методу розв'язання задачі управління запасами на основі оптимізації рою частинок. Для запропонованого методу DPSO розроблено алгоритм, призначений для реалізації на GPU за допомогою технології паралельної обробки інформації CUDA та представлений на рис. 1. Ця блок-схема функціонує наступним чином.

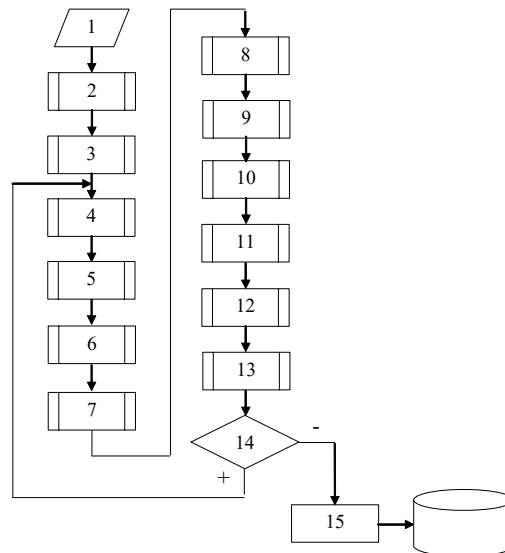


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритму DPSO

Джерело: розроблено авторами

Крок 1 – Введення оператором максимальної кількості ітерацій N , розміру популяції K , кількості етапів M , мінімального та максимального значення параметра

$\theta^{\min}, \theta^{\max}$, керуючого вкладом інерційної, когнітивної та соціальної компонент у швидкість частки, кількості товару, що продається, протягом усіх етапів $D = (D_{k1}, \dots, D_{kM})$, вхідної кількості запасів товару z_0 .

Крок 2 – Створення вхідної популяції $Q = \{(x_k, z_k, x_k^{best}, z_k^{best}, v_k)\}$.

Крок 3 – Обчислення глобальної кращої позиції з усіх ітерацій x^* .

Крок 4 – Встановлення номера ітерації $n = 1$.

Крок 5 – Обчислення параметра, що управляє вкладом інерційної компоненти у швидкість частки на поточній ітерації $w(n) = \theta^{\min} + (\theta^{\max} - \theta^{\min}) \left(\frac{N-n}{N} \right)$.

Крок 6 – Обчислення параметра, що управляє вкладом когнітивної компоненти у швидкість частки на поточній ітерації $\alpha_1(n) = \theta^{\min} + (\theta^{\max} - \theta^{\min}) \left(\frac{N-n}{N} \right)$.

Крок 7 – Обчислення параметра, що управляє вкладом соціальної компоненти у швидкість частки на поточній ітерації $\alpha_2(n) = \theta^{\min} + (\theta^{\max} - \theta^{\min}) \left(\frac{N-n}{N} \right)$.

Крок 8 – Обчислення швидкості кожної k -ї частинки, використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, які згруповані в K блоків. Кожна нитка обчислює

$$r1_{ki} = \left(n < \frac{N}{2} \right) C(0,1) + \left(n \geq \frac{N}{2} \right) N(0,1), \quad r2_{ki} = \left(n < \frac{N}{2} \right) C(0,1) + \left(n \geq \frac{N}{2} \right) N(0,1),$$

$$v_{ki} = w(n)v_{ki} + \alpha_1(n)(x_{ki}^{best} - x_{ki})r1_i + \alpha_2(n)(x_i^* - x_{ki})r2_i.$$

Крок 9 – Обчислення позиції кожної k -ї частинки, використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, які згруповані в K блоків. Кожна нитка обчислює $x_{ki} = x_{ki} + v_{ki}$.

Крок 10 – Обчислення кількості запасів товару в кінці кожного етапу на основі паралельної префіксної суми вектора $(x_{k1} + z_{k0} - D_1, x_{k2} - D_2, \dots, x_{kM} - D_M)$, використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, згрупованих в K блоків. Кожен блок обчислює z_k .

Крок 11 – Обчислення персональної (локальної) кращої позиції кожної k -ї частинки по всіх ітераціях, використовуючи K ниток GPU, які згруповані в 1 блок. Кожна нитка обчислює: Якщо $F(x_k, z_k) > F(x_k^{best}, z_k^{best})$, то $x_k^{best} = x_k$, $z_k^{best} = z_k$.

Крок 12 – Визначення на основі паралельної редукції штучної риби з кращою позицією по всій поточній популяції, використовуючи K ниток GPU, які згруповані в 1 блок. Кожна нитка обчислює функцію цілі $F(x_k, z_k)$, $k^* = \arg \max_{k \in 1, K} F(x_k, z_k)$.

Крок 13 – Обчислення кращої позиції з усіх ітерацій. Якщо $F(x_{k^*}, z_{k^*}) > F(x^*, z^*)$, то $x^* = x_{k^*}$, $z^* = z_{k^*}$.

Крок 14 – Умова зупину. Якщо $n < N$, то $n = n + 1$ і перейти до кроку 5.

Крок 15 – Запис отриманої глобальної кращої позиції до бази даних.

3. Мультиагентний метаевристичний метод розв'язання задачі управління запасами на основі алгоритму рою штучних риб. Запропонований мультиагентний метаевристичний метод вирішення задачі про призначення DAFSA заснований на алгоритмі рою штучних риб (AFSA).

Особливістю запропонованого методу є те, що для керування параметрами методу, а також для забезпечення того, щоб на початкових ітераціях досліджувався весь простір пошуку, а на заключних ітераціях пошук ставав спрямованим і сходився при генерації потенційних рішень, враховується номер ітерації. Крім того, для

модифікації потенційних рішень замість рівномірного розподілу використовуються розподіл Гауса та розподіл Коші, причому їх вибір залежить від номера ітерації. Також проводиться обчислення кількості запасів товару наприкінці кожного етапу.

Запропонований метод складається з наступних етапів:

1. Ініціалізація.

1.1. Завдання максимальної кількості ітерацій N , розміру популяції K , кількості етапів M , мінімальної та максимальної кількості повторень E^{\min}, E^{\max} , мінімального та максимального кроку зміни вектора позиції $\beta^{\min}, \beta^{\max}$, $0 < \beta^{\min} < \beta^{\max} < 1$, мінімального та максимального параметра скупчення $\delta^{\min}, \delta^{\max}$, $0 < \delta^{\min} < \delta^{\max} < 1$, мінімального та максимального радіусу околу R^{\min}, R^{\max} , кількості товару, що продається, протягом усіх етапів $D = (D_{k1}, \dots, D_{kM})$, вхідної кількості запасів товару z_0 .

1.2. Створення початкової популяції риб $Q = \{(x_k, z_k)\}$.

1.2.1. Ініціалізація кожної позиції $x_k = (x_{k1}, \dots, x_{kM})$, $x_{ki} = U(0,1)$, $k \in \overline{1, K}$, $i \in \overline{1, M}$, де $U(0,1)$ – функція, що повертає рівномірно розподілене випадкове число в діапазоні $[0,1]$.

1.2.2. Обчислення кількості запасів товару наприкінці кожного етапу $z_{kj} = x_{kj} + z_{k,j-1} - D_j$, $k \in \overline{1, K}$, $j \in \overline{1, M}$.

1.3. Обчислення кращої позиції з усіх ітерацій $k^* = \arg \max_{k \in \overline{1, K}} F(x_k, z_k)$, $x^* = x_{k^*}$, $z^* = z_{k^*}$.

1.4. Встановлення номера поточної ітерації n в одиницю.

2. Обчислення радіусу околу на поточній ітерації $R(n) = R^{\min} + (R^{\max} - R^{\min}) \left(\frac{N-n}{N} \right)$.

3. Обчислення кроку зміни вектора позиції на поточній ітерації $\beta(n) = \beta^{\min} + (\beta^{\max} - \beta^{\min}) \left(\frac{N-n}{N} \right)$.

4. Обчислення параметра накопичення на поточній ітерації $\delta(n) = \delta^{\min} + (\delta^{\max} - \delta^{\min}) \left(\frac{N-n}{N} \right)$.

5. Обчислення кількості повторень на поточній ітерації $E(n) = E^{\min} + (E^{\max} - E^{\min}) \left(\frac{n}{N} \right)$.

6. Встановлення номера штучної риби k в одиницю.

7. Створення околу для k -ї штучної риби (відібрати найближчих за метрикою штучних риб з популяції Q) $U_{x_k} = \{\tilde{x}_{kl} \mid \tilde{x}_{kl} = x_h, 0 < \|x_h - x_k\| < R(n)\}$.

8. Обчислення кількості запасів товару в кінці кожного етапу для k -ї штучної риби $\tilde{z}_{kli} = \tilde{x}_{kli} + \tilde{z}_{kl,i-1} - D_i$, $i \in \overline{1, M}$.

9. Оператор «пошук».

9.1. Встановлення лічильника повторень e в 1.

9.2. Обчислення позиції кожної k -ї штучної риби $r_{ki} = \left(n < \frac{N}{2} \right) C(0,1) + \left(n \geq \frac{N}{2} \right) N(0,1)$, $i \in \overline{1, M}$, $\hat{x}_{ki} = x_{ki} + r_{ki} R(n)$, $i \in \overline{1, M}$, де $N(0,1)$ – стандартний нормальний розподіл, $C(0,1)$ – стандартний Коші розподіл.

9.3. Обчислення кількості запасів товару в кінці кожного етапу

$$\widehat{z}_{ki} = \widehat{x}_{ki} + \widehat{z}_{k,i-1} - D_i, \quad i \in \overline{1, M}.$$

9.4. Обчислення позиції кожної k -ї штучної риби

$$r_{ki} = \left(n < \frac{N}{2} \right) C(0,1) + \left(n \geq \frac{N}{2} \right) N(0,1), \quad i \in \overline{1, M},$$

$$x_k^1 = [x_{ki}^1], \quad x_{ki}^1 = \begin{cases} x_{ki} + r_{ki} \beta(n) \frac{\widehat{x}_{ki} - x_{ki}}{\|\widehat{x}_k - x_k\|}, & F(\widehat{x}_k, \widehat{z}_k) > F(x_k, z_k), \quad i \in \overline{1, M}. \\ x_{ki} + r_{ki} R(n), & \text{інакше} \end{cases}$$

9.5. Обчислення кількості запасів товару в кінці кожного етапу

$$z_{ki}^1 = x_{ki}^1 + z_{k,i-1}^1 - D_i, \quad i \in \overline{1, M}.$$

9.6. Якщо $F(\widehat{x}_k, \widehat{z}_k) < F(x_k, z_k) \wedge e < E(n)$, то збільшити лічильник повторень e на одиницю і перейти до кроку 9.2.

10. Оператор «роїння».

10.1. Обчислення усередненої позиції по всьому околу кожної k -ї штучної риби

$$\widetilde{x}_k^{mean} = \frac{1}{|U_{x_k}|} \sum_{l=1}^{|U_{x_k}|} \widetilde{x}_{kl}.$$

10.2. Обчислення кількості запасів товару в кінці кожного етапу

$$\widetilde{z}_{ki}^{mean} = \widetilde{x}_{ki}^{mean} + \widetilde{z}_{k,i-1}^{mean} - D_i, \quad i \in \overline{1, M}.$$

10.3. Обчислення позиції кожної k -ї штучної риби

$$r_{ki} = \left(n < \frac{N}{2} \right) C(0,1) + \left(n \geq \frac{N}{2} \right) N(0,1), \quad i \in \overline{1, M},$$

$$x_{ki}^2 = \begin{cases} x_{ki} + r_{ki} \beta(n) \frac{\widetilde{x}_{ki}^{mean} - x_{ki}}{\|\widetilde{x}_k^{mean} - x_k\|}, & F(\widetilde{x}_k^{mean}, \widetilde{z}_k^{mean}) > F(x_k, z_k) \wedge \frac{|U_{x_k}|}{K} < \delta(n), \quad i \in \overline{1, M}. \\ x_{ki}^1, & \text{інакше} \end{cases}$$

10.4. Обчислення кількості запасів товару в кінці кожного етапу

$$z_{ki}^2 = x_{ki}^2 + z_{k,i-1}^2 - D_i, \quad i \in \overline{1, M}.$$

11. Оператор «слідування».

11.1. Обчислення штучної риби з кращою позицією по околу кожної k -ї штучної риби $l_k^* = \arg \min_l \{F(\widetilde{x}_{kl}, \widetilde{z}_{kl})\}$, $l \in \overline{1, |U_{x_k}|}$, $\widetilde{x}_k^{min} = \widetilde{x}_{kl_k^*}$, $\widetilde{z}_k^{min} = \widetilde{z}_{kl_k^*}$.

11.2. Обчислення позиції кожної k -ї штучної риби

$$r_{ki} = \left(n < \frac{N}{2} \right) C(0,1) + \left(n \geq \frac{N}{2} \right) N(0,1), \quad i \in \overline{1, M},$$

$$x_{ki}^3 = \begin{cases} x_{ki} + r_{ki} \beta(n) \frac{\widetilde{x}_{ki}^{min} - x_{ki}}{\|\widetilde{x}_k^{min} - x_k\|}, & F(\widetilde{x}_k^{min}, \widetilde{z}_k^{min}) > F(x_k, z_k) \wedge \frac{|U_{x_k}|}{K} < \delta(n), \quad i \in \overline{1, M}. \\ x_{ki}^1, & \text{інакше} \end{cases}$$

11.3. Обчислення кількості запасів товару в кінці кожного етапу

$$z_{ki}^3 = x_{ki}^3 + z_{k,i-1}^3 - D_i, \quad i \in \overline{1, M}.$$

12. Оператор «рух».

12.1. Обчислення позиції кожної k -ї штучної риби

$$r_{ki} = \left(n < \frac{N}{2} \right) C(0,1) + \left(n \geq \frac{N}{2} \right) N(0,1), \quad i \in \overline{1, M}, \quad x_{ki}^4 = x_{ki} + r_{ki} R(n), \quad i \in \overline{1, M}.$$

12.2. Обчислення кількості запасів товару в кінці кожного етапу $z_{ki}^4 = x_{ki}^4 + z_{k,i-1}^4 - D_i, i \in \overline{1, M}$.

13. Оператор модифікації позиції k -ї штучної риби $l_k^* = \arg \max_l \{F(x_k^l, z_k^l)\}, l \in \overline{1, 4}, x_k^{new} = x_k^{l_k^*}, z_k^{new} = z_k^{l_k^*}$.

14. Якщо $k < K$, то збільшити номер штучної риби k на 1 і перейти до кроку 6.

15. Оновлення популяції $x_k = x_k^{new}, z_k = z_k^{new}, k \in \overline{1, K}$.

16. Визначення штучної риби з найкращою позицією по всій поточній популяції $k^* = \arg \max_k F(x_k, z_k), k \in \overline{1, K}$.

17. Обчислення кращої позиції з усіх ітерацій. Якщо $F(x_{k^*}, z_{k^*}) > F(x^*, z^*)$, то $x^* = x_{k^*}, z^* = z_{k^*}$.

18. Умова зупину. Якщо $n < N$, то збільшити номер ітерації n на одиницю та перейти до кроку 2. Результатом є x^* .

4. Алгоритм мультиагентного метаевристичного методу вирішення задачі управління запасами на основі алгоритму рою штучних риб. Для запропонованого методу DAFSA розроблено алгоритм, призначений для реалізації на GPU за допомогою технології паралельної обробки інформації CUDA та представлений на рис. 2. Ця блок-схема функціонує наступним чином.

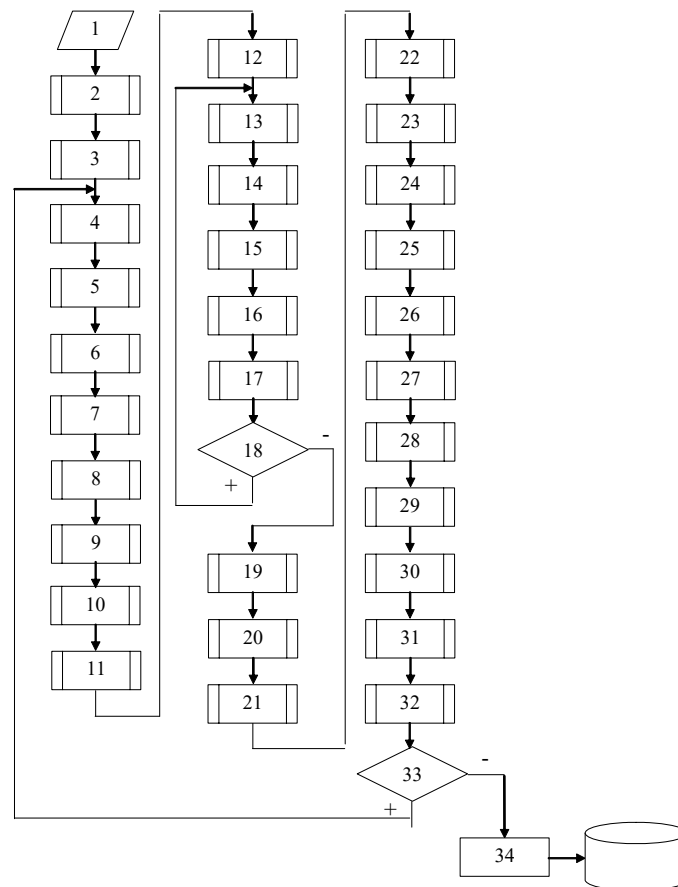


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритму DAFSA

Джерело: розроблено авторами

Крок 1 – Введення оператором максимальної кількості ітерацій N , розміру популяції K , кількості етапів M , мінімальної та максимальної кількості повторень E^{\min}, E^{\max} , мінімального та максимального кроку зміни вектора позиції $\beta^{\min}, \beta^{\max}$, $0 < \beta^{\min} < \beta^{\max} < 1$, мінімального та максимального параметра скупчення $\delta^{\min}, \delta^{\max}$, $0 < \delta^{\min} < \delta^{\max} < 1$, мінімального та максимального радіусу околу R^{\min}, R^{\max} , кількості товару, що продається, протягом усіх етапів $D = (D_{k1}, \dots, D_{kM})$, вхідної кількості запасів товару z_0 .

Крок 2 – Створення вихідної популяції $Q = \{(x_k, z_k)\}$.

Крок 3 – Обчислення кращої позиції з усіх ітерацій x^* .

Крок 4 – Встановлення номера ітерації $n = 1$.

Крок 5 – Обчислення радіусу околу на поточній ітерації

$$R(n) = R^{\min} + (R^{\max} - R^{\min}) \left(\frac{N - n}{N} \right).$$

Крок 6 – Обчислення кроку зміни вектора позиції на поточній ітерації

$$\beta(n) = \beta^{\min} + (\beta^{\max} - \beta^{\min}) \left(\frac{N - n}{N} \right).$$

Крок 7 – Обчислення параметра накопичення на поточній ітерації

$$\delta(n) = \delta^{\min} + (\delta^{\max} - \delta^{\min}) \left(\frac{N - n}{N} \right).$$

Крок 8 – Обчислення кількості повторень на поточній ітерації

$$E(n) = E^{\min} + (E^{\max} - E^{\min}) \left(\frac{n}{N} \right).$$

Крок 9 – Обчислення на основі паралельної редукції відстані між кожною k -ою штучною рибою та всіма рибами популяції, використовуючи $K \cdot K \cdot M$ ниток GPU, які згруповані у $K \cdot K$ блоків. Кожен блок обчислює одну відстань $d_{hk} = \|x_h - x_k\|$.

Крок 10 – Створення околу для кожної k -ї штучної риби, використовуючи K ниток GPU, які згруповані в 1 блок. Кожна нитка обчислює $U_{x_k} = \{\tilde{x}_{kl} \mid \tilde{x}_{kl} = x_h, 0 < \|x_h - x_k\| < R(n)\}$.

Крок 11 – Обчислення кількості запасів товару в кінці кожного етапу на основі паралельної префіксної суми вектора $(\tilde{x}_{k1} + z_{k0} - D_1, \tilde{x}_{k2} - D_2, \dots, \tilde{x}_{kM} - D_M)$, використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, згрупованих у K блоків. Кожен блок обчислює \tilde{z}_k .

Крок 12 – Встановлення лічильника повторень $e = 1$.

Крок 13 – Обчислення позиції кожної k -ї штучної риби відповідно до поведінки «рух», використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, які згруповані в K блоків. Кожна нитка обчислює $r_{ki} = \left(n < \frac{N}{2} \right) C(0,1) + \left(n \geq \frac{N}{2} \right) N(0,1)$, $\hat{x}_{ki} = x_{ki} + r_{ki} R(n)$.

Крок 14 – Обчислення кількості запасів товару в кінці кожного етапу на основі паралельної префіксної суми вектора $(\hat{x}_{k1} + z_{k0} - D_1, \hat{x}_{k2} - D_2, \dots, \hat{x}_{kM} - D_M)$, використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, згрупованих у K блоків. Кожен блок обчислює \hat{z}_k .

Крок 15 – Обчислення на основі паралельної редукції відстані між кожними двома k -ми штучними рибами, використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, які згруповані в K блоків. Кожен блок обчислює одну відстань $d_k = \|\hat{x}_k - x_k\|$.

Крок 16 – Обчислення позиції кожної k -ї штучної риби відповідно до поведінки «пошук», використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, які згруповані в K блоків. Кожна нитка обчислює

$$r_{ki} = \left(n < \frac{N}{2} \right) C(0,1) + \left(n \geq \frac{N}{2} \right) N(0,1), \quad x_{ki}^1 = \begin{cases} x_{ki} + r_{ki} \beta(n) \frac{\tilde{x}_{ki} - x_{ki}}{d_k}, & F(\tilde{x}_k, \tilde{z}_k) > F(x_k, z_k) \\ x_{ki} + r_{ki} R(n), & \text{інакше} \end{cases}$$

Крок 17 – Обчислення кількості запасів товару в кінці кожного етапу на основі паралельної префіксної суми вектора $(x_{k1}^1 + z_{k0} - D_1, x_{k2}^1 - D_2, \dots, x_{kM}^1 - D_M)$, використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, згрупованих у K блоків. Кожен блок обчислює z_k^1 .

Крок 18 – Якщо $F(\tilde{x}_k, \tilde{z}_k) < F(x_k, z_k) \wedge e < E(n)$, то $e = e + 1$, перехід на крок 13.

Крок 19 – Обчислення усередненої позиції по всій околиці кожної k -ї штучної риби використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, які згруповані в K блоків. Кожна нитка обчислює $\tilde{x}_{ki}^{mean} = \frac{1}{|U_{x_k}|} \sum_{l=1}^{|U_{x_k}|} \tilde{x}_{kli}$.

Крок 20 – Обчислення кількості запасів товару в кінці кожного етапу на основі паралельної префіксної суми вектора $(\tilde{x}_{k1}^{mean} + z_{k0} - D_1, \tilde{x}_{k2}^{mean} - D_2, \dots, \tilde{x}_{kM}^{mean} - D_M)$, використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, згрупованих у K блоків. Блок обчислює \tilde{z}_k^{mean} .

Крок 21 – Обчислення на основі паралельної редукції відстані між кожними двома k -ми штучними рибами, використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, які згруповані в K блоків. Кожен блок обчислює одну відстань $d_k = \|\tilde{x}_k^{mean} - x_k\|$.

Крок 22 – Обчислення позиції кожної k -ї штучної риби відповідно до поведінки «роїння», використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, які згруповані в K блоків. Кожна нитка обчислює

$$r_{ki} = \left(n < \frac{N}{2} \right) C(0,1) + \left(n \geq \frac{N}{2} \right) N(0,1),$$

$$x_{ki}^2 = \begin{cases} x_{ki} + r_{ki} \beta(n) \frac{\tilde{x}_{ki}^{mean} - x_{ki}}{d_k}, & F(\tilde{x}_k^{mean}, \tilde{z}_k^{mean}) > F(x_k, z_k) \wedge \frac{|U_{x_k}|}{K} < \delta(n) \\ x_{ki}^1, & \text{інакше} \end{cases}$$

Крок 23 – Обчислення кількості запасів товару в кінці кожного етапу на основі паралельної префіксної суми вектора $(x_{k1}^2 + z_{k0} - D_1, x_{k2}^2 - D_2, \dots, x_{kM}^2 - D_M)$, використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, згрупованих у K блоків. Кожен блок обчислює z_k^2 .

Крок 24 – Обчислення штучної риби з кращою позицією по околу кожної k -ї штучної риби, використовуючи K ниток GPU, які згруповані в 1 блок. Кожна нитка обчислює $l_k^* = \arg \min_l \{F(\tilde{x}_{kl}, \tilde{z}_{kl})\}, l \in 1, |U_{x_k}|, \tilde{x}_k^{\min} = \tilde{x}_{kl_k^*}, \tilde{z}_k^{\min} = \tilde{z}_{kl_k^*}$.

Крок 25 – Обчислення на основі паралельної редукції відстані між кожними двома k -ми штучними рибами, використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, які згруповані в K блоків. Кожен блок обчислює одну відстань $d_k = \|\tilde{x}_k^{\min} - x_k\|$.

Крок 26 – Обчислення позиції кожної k -ї штучної риби відповідно до поведінки «слідування», використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, які згруповані в K блоків. Кожна нитка обчислює

$$r_{ki} = \left(n < \frac{N}{2} \right) C(0,1) + \left(n \geq \frac{N}{2} \right) N(0,1),$$

$$x_{ki}^3 = \begin{cases} x_{ki} + r_{ki} \beta(n) \frac{\tilde{x}_{ki}^{\min} - x_{ki}}{d_k}, & F(\tilde{x}_k^{\min}, \tilde{z}_k^{\min}) > F(x_k, z_k) \wedge \frac{|U_{x_k}|}{K} < \delta(n). \\ x_{ki}^1, & \text{інакше} \end{cases}$$

Крок 27 – Обчислення кількості запасів товару в кінці кожного етапу на основі паралельної префіксної суми вектора $(x_{k1}^3 + z_{k0} - D_1, x_{k2}^3 - D_2, \dots, x_{kM}^3 - D_M)$, використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, згрупованих у K блоків. Кожен блок обчислює z_k^3 .

Крок 28 – Обчислення позиції кожної k -ї штучної риби відповідно до поведінки «рух», використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, які згруповані в K блоків. Кожна нитка обчислює $r_{ki} = \left(n < \frac{N}{2} \right) C(0,1) + \left(n \geq \frac{N}{2} \right) N(0,1)$, $x_{ki}^4 = x_{ki} + r_{ki} R(n)$.

Крок 29 – Обчислення кількості запасів товару в кінці кожного етапу на основі паралельної префіксної суми вектора $(x_{k1}^4 + z_{k0} - D_1, x_{k2}^4 - D_2, \dots, x_{kM}^4 - D_M)$, використовуючи $K \cdot M$ ниток GPU, згрупованих у K блоків. Кожен блок обчислює z_k^4 .

Крок 30 – Модифікація позиції кожної k -ї штучної риби на основі чотирьох поведінок, використовуючи K ниток GPU, які згруповані в 1 блок. Кожна нитка обчислює $l_k^* = \arg \max_l \{F(x_k^l, z_k^l)\}$, $l \in \overline{1,4}$, $x_k = x_k^{l_k^*}$, $z_k = z_k^{l_k^*}$.

Крок 31 – Визначення на основі паралельної редукції штучної риби з кращою позицією по всій поточній популяції, використовуючи K ниток GPU, ниток, які згруповані в 1 блок. Кожна нитка обчислює функцію цілі $F(x_k, z_k)$, $k^* = \arg \max_k F(x_k, z_k)$.

Крок 32 – Обчислення найкращою позицією щодо всіх ітерацій. Якщо $F(x_{k^*}, z_{k^*}) > F(x^*, z^*)$, то $x^* = x_{k^*}$, $z^* = z_{k^*}$.

Крок 33 – Умова зупину. Якщо $n < N$, то $n = n + 1$ і перейти до кроку 5.

Крок 34 – Запис отриманої кращої позиції з усіх ітерацій у базу даних.

Експерименти та результати. Чисельне дослідження запропонованих мультиагентних метаевристичних методів розв'язання задачі управління запасами проводилося на основі даних логістичної компанії «Ecol Ukraine» з використанням технології паралельної обробки інформації CUDA в пакеті Matlab.

У роботі для запропонованого методу DPSO розмір популяції $K = 3 \cdot M$, максимальна кількість ітерацій $N = 100$, мінімального та максимального значення параметра $\theta^{\min} = 0.1, \theta^{\max} = 0.98$, управляючого вкладом інерційної, когнітивної та соціальної компонент у швидкість частинки.

В роботі для запропонованого методу DAFSA розмір популяції $K = 3 \cdot M$, максимальна кількість ітерацій $N = 100$, мінімальна та максимальна кількість повторень $E^{\min} = 1, E^{\max} = N$, мінімальний та максимальний крок зміни вектора позиції $\beta^{\min} = 0.1, \beta^{\max} = 0.98$, мінімальний та максимальний параметр скупчення $\delta^{\min} = 0.5, \delta^{\max} = 0.98$, мінімальний та максимальний радіус околу $R^{\min} = \beta^{\min} \cdot M, R^{\max} = \beta^{\max} \cdot M$.

Результати порівняння запропонованих методів з традиційними з використанням критеріїв середньоквадратичної помилки (MSE) та обчислювальної складності (T) та

без використання паралелізму представлені в табл.1. При цьому враховувалася обчислювальна складність функції цілі $F(\cdot)$.

Таблиця 1 – Порівняння запропонованих мультиагентних метаевристичних методів із традиційними

Критерії	Мультиагентні метаевристичні методи			
	DPSO	PSO	DAFSA	AFSA
MSE	0.07	0.12	0.05	0.1
T без CUDA	$6 \cdot K \cdot M \cdot N$	$5 \cdot K \cdot M \cdot N$	$(16 + K + 5 \cdot E) \cdot K \cdot M \cdot N$	$(20 + K + 7 \cdot E) \cdot K \cdot M \cdot N$
T з CUDA	$N \cdot \log_2 M$	$N \cdot \log_2 M$	$(6 + 2 \cdot E) \cdot N \cdot \log_2 M$	$(6 + 2 \cdot E) \cdot N \cdot \log_2 M$

Джерело: розроблено авторами

Методи PSO і DPSO не враховують номер ітерації при генерації потенційних рішень популяції та модифікації параметрів методу, що знижує точність пошуку рішення (табл.1); не використовують комбінацію розподілів Гауса та Коші при генерації потенційних рішень, що знижує точність пошуку рішення (табл.1); не гарантують збіжність; не використовуються для задач динамічного програмування.

Запропоновані методи дозволяють усунути зазначені недоліки. Швидшим є метод DPSO, а точнішим є метод DAFSA.

Динамічна зміна параметрів запропонованих методів оптимізації забезпечує сильні зміни потенційного рішення на початкових ітераціях та слабкі зміни потенційного рішення на заключних ітераціях.

Висновки. У статті розглядається задача управління запасами як складова задачі ефективного управління ланцюгами постачання. Для вирішення цієї задачі було досліджено існуючі мультиагентні метаевристичні методи. Для підвищення якості розв'язання цієї задачі було обрано оптимізацію рою частинок та алгоритм рою штучних риб, які модифіковані впровадженням динамічних параметрів та розподілів Коші та Гауса. Для цих методів запропоновано паралельні алгоритми на основі технології CUDA. Це дозволило забезпечити високу швидкість та точність рішення.

Запропоновані методи призначені для програмної реалізації у пакеті Matlab з використанням Parallel Computing Toolbox, що прискорює процес пошуку рішення. Програмне забезпечення, що реалізує запропоновані методи, було розроблено та досліджено на основі даних логістичної компанії «Ecol Ukraine».

Проведені експерименти підтвердили працездатність розробленого програмного забезпечення та дозволяють рекомендувати його для використання на практиці при вирішенні задач управління ланцюгами постачання. Перспективи подальших досліджень полягають у тому, щоб перевірити запропоновані методи на більш широкому наборі тестових баз даних.

Список літератури

1. Cox J. F., Schleher J. G. Theory of Constraints Handbook . New York: NY, McGraw-Hill, 2010. 1175 p.
2. Cluster Policy of Innovative Development of the National Economy: Integration and Infrastructure Aspects : monograph / under the editorship of professor Svitlana Smerichevska. Poznań: Wydawnictwo naukowe WSPiA, 2020. 380 p.
3. Diagnostic Rule Mining Based on Artificial Immune System for a Case of Uneven Distribution of Classes in Sample / S. Subbotin, A. Oliinyk, V. Levashenko, E. Zaitseva . *Communications*. 2016. Vol.3. P.3-11.
4. Nakib A., Talbi El-G. Metaheuristics for Medicine and Biology . Berlin: Springer-Verlag, 2017. 211 p.

5. Engelbrecht A. P. *Computational Intelligence: an introduction*. Chichester, West Sussex: Wiley & Sons, 2007. 630 p. DOI: 10.1002/9780470512517.
6. Yang X.-S. *Nature-inspired Algorithms and Applied Optimization*. Charm: Springer, 2018. 330 p. DOI: 10.1007/978-3-642-29694-9
7. Martí R., Pardalos P. M., Resende M. G. C. *Handbook of Heuristics*. Charm: Springer, 2018. 1289 p. DOI: 10.1007/978-3-319-07124-4
8. Blum C., Raidl G. R. *Hybrid Metaheuristics. Powerful Tools for Optimization*. Charm: Springer, 2016. 157 p. DOI: 10.1007/978-3-319-30883-8
9. Yang X.-S. *Optimization Techniques and Applications with Examples*. Hoboken, New Jersey: Wiley & Sons, 2018. 364 p. DOI: 10.1002/9781119490616
10. Chopard B., Tomassini M. *An Introduction to Metaheuristics for Optimization*. New York: Springer, 2018. 230 p. DOI: 10.1007/978-3-319-93073-2
11. Radosavljević J. *Metaheuristic Optimization in Power Engineering*. New York: The Institution of Engineering and Technology, 2018. 536 p. DOI: 10.1049/PBPO131E
12. Du K.-L., Swamy M. N. S. *Search and Optimization by Metaheuristics. Techniques and Algorithms Inspired by Nature*. Charm: Springer, 2016. 434 p. DOI: 10.1007/978-3-319-41192-7
13. Bozorg Haddad O., Solgi M., Loaiciga H. *Meta-heuristic and Evolutionary Algorithms for Engineering Optimization*. Hoboken, New Jersey: Wiley & Sons, 2017. 293 p. DOI: 10.1002/9781119387053
14. Alba E., Nakib A., Siarry P. *Metaheuristics for Dynamic Optimization*. Berlin: Springer-Verlag, 2013. 398 p. DOI: 10.1007/978-3-642-30665-5
15. Method For Parametric Identification Of Gaussian Mixture Model Based On Clonal Selection Algorithm / E. Fedorov, V. Lukashenko, T. Utkina, A. Lukashenko, K. Rudakov. *CEUR Workshop Proceedings*. 2019. Vol. 2353. P. 41-55.
16. Grygor O. O. Optimization method based on the synthesis of clonal selection and annealing simulation algorithms / O. O. Grygor, E. E. Fedorov, T. Yu. Utkina, A. G. Lukashenko, K. S. Rudakov, D. A. Harder et al. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2019. № 2. P. 90-99. DOI: 10.15588/1607-3274-2019-2-10.
17. Spears W. M., Green D. T., Spears D. F. Biases in particle swarm optimization. *International Journal of Swarm Intelligence Research*. 2010. Vol. 1, No. 2. P. 34–57. DOI: 10.4018/jsir.2010040103
18. Review of Artificial Fish Swarm Optimization Methods and Applications / M. Neshat, A. Adeli, G. Sepidnam, M. Sargolzaei, A. N. Toosi. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*. 2012. Vol. 5, No. 1. P. 107–148. DOI: 10.21307/ijssis-2017-474

References

1. Cox, J. F. & Schleher, J. G. (2010). *Theory of Constraints Handbook*. New York: NY, McGraw-Hill [in English].
2. Smerichevska, S. (Eds.). (2020). *Cluster Policy of Innovative Development of the National Economy: Integration and Infrastructure Aspects: monograph*. Poznań: Wydawnictwo naukowe WSPIA [in English].
3. Subbotin, S., Oliinyk, A., Levashenko, V. & Zaitseva, E. (2016). Diagnostic Rule Mining Based on Artificial Immune System for a Case of Uneven Distribution of Classes in Sample. *Communications, Vol.3, 3-11* [in English].
4. Nakib, A. & Talbi, El-G. (2017). *Metaheuristics for Medicine and Biology*. Berlin: Springer-Verlag [in English].
5. Engelbrecht, A. P. (2007). *Computational Intelligence: an introduction*. Chichester, West Sussex: Wiley & Sons. DOI: 10.1002/9780470512517 [in English].
6. Yang, X.-S. (2018). *Nature-inspired Algorithms and Applied Optimization*. Charm: Springer. DOI: 10.1007/978-3-642-29694-9 [in English].
7. Martí, R., Pardalos, P. M. & Resende, M. G. C. (2018). *Handbook of Heuristics*. – Charm: Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-07124-4 [in English].
8. Blum, C. & Raidl, G. R. (2016). *Hybrid Metaheuristics. Powerful Tools for Optimization*. Charm: Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-30883-8 [in English].
9. Yang, X.-S. (2018). *Optimization Techniques and Applications with Examples*. Hoboken, New Jersey: Wiley & Sons. DOI: 10.1002/9781119490616 [in English].
10. Chopard, B. & Tomassini, M. (2018). *An Introduction to Metaheuristics for Optimization*. New York: Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-93073-2 [in English].
11. Radosavljević, J. (2018). *Metaheuristic Optimization in Power Engineering*. New York: The Institution of Engineering and Technology. DOI: 10.1049/PBPO131E [in English].

12. Du, K.-L. & Swamy, M. N. S. (2016). *Search and Optimization by Metaheuristics. Techniques and Algorithms Inspired by Nature*. Charm: Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-41192-7 [in English].
13. Bozorg Haddad, O., Solgi, M. & Loaiciga, H. (2017). *Meta-heuristic and Evolutionary Algorithms for Engineering Optimization*. Hoboken, New Jersey: Wiley & Sons. DOI: 10.1002/9781119387053 [in English].
14. Alba, E., Nakib, A. & Siarry, P. (2013). *Metaheuristics for Dynamic Optimization*. Berlin: Springer-Verlag. DOI: 10.1007/978-3-642-30665-5 [in English].
15. Fedorov, E., Lukashenko, V., Utkina, T., Lukashenko, A. & Rudakov K. (2019). Method For Parametric Identification Of Gaussian Mixture Model Based On Clonal Selection Algorithm. *CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2353*, 41-55 [in English].
16. Grygor, O. O., Fedorov, E. E., Utkina, T. Yu., Lukashenko, A. G., Rudakov, K. S. & Harder, D. A. et al. (2019). Optimization method based on the synthesis of clonal selection and annealing simulation algorithms. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2, 90-99. DOI: 10.15588/1607-3274-2019-2-10 [in English].
17. Spears, W. M., Green, D. T. & Spears, D. F. (2010). Biases in particle swarm optimization. *International Journal of Swarm Intelligence Research, Vol. 1*, 2, 34–57. DOI: 10.4018/jsir.2010040103 [in English].
18. Neshat, M., Adeli, A., Sepidnam, G., Sargolzaei, M. & Toosi A. N. (2012). A Review of Artificial Fish Swarm Optimization Methods and Applications. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, Vol. 5*, 1, 107–148. DOI: 10.21307/ijssis-2017-474 [in English].

Eugene Fedorov, Prof., DSc., **Olga Nechyporenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

Multi-Agent Metaheuristic Methods for Solving the Inventory Management Problem

Currently, the problem of insufficient efficiency of supply chain management is relevant. One of the problems solved within the limits of the specified problem is the optimization problem of inventory management. Optimization methods that find an approximate solution using a directed search have a high probability of reaching a local extremum. Optimization methods that find an exact solution have a high computational complexity. Random search methods do not guarantee convergence. In this connection, there is a problem of insufficient efficiency of optimization methods, which needs to be solved.

The article considers the task of inventory management as a component of the task of effective supply chain management. To solve this problem, the existing multi-agent metaheuristic methods were investigated. To improve the quality of solving this problem, particle swarm optimization and artificial fish swarm algorithm were chosen, which are modified by introducing dynamic parameters and Cauchy and Gaussian distributions. Parallel algorithms based on CUDA technology are proposed for these methods. This made it possible to ensure high speed and accuracy of the decision.

The proposed methods are designed for software implementation in the Matlab package using the Parallel Computing Toolbox, which speeds up the process of finding a solution. The software that implements the proposed methods was developed and researched based on the data of the logistics company "Ekol Ukraine". The conducted experiments confirmed the functionality of the developed software and allow us to recommend it for practical use in solving supply chain management problems. Prospects for further research are to test the proposed methods on a wider set of test databases.

inventory management problem, supply chain management, multi-agent metaheuristic methods, particle swarm optimization, artificial fish swarm algorithm

Одержано (Received) 24.11.2022

Прорецензовано (Reviewed) 06.12.2022

Прийнято до друку (Approved) 29.12.2022

УДК 004.9

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.17-25](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.17-25)

В.О. Качурівський, доц., канд. пед. наук, **Г.М. Качурівська**, доц., канд. фіз.-мат. наук
*Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування
України «Бережанський агротехнічний інститут», м.Бережани, Україна
e-mail: kv.orestovich@gmail.com, anna.kachurivska@gmail.com*

Моделювання інформаційно-документальної системи презентації освітніх компонент освітньої програми

У статті представлено концепцію моделі інформаційно-документальної системи з презентації документів освітніх компонент освітньої програми у вигляді дорожньої карти здобуття освіти. Розроблено модель бази, описано сутності та їх атрибути, встановлено відношення між ними для оперативного менеджменту. Визначено користувачів системи та встановлено їх ролі. Розроблено діаграму прецедентів та проведено групування їх за ролями. Запропоновано послідовність взаємодії об'єктів у часі для програмування функціоналу.

моделювання, інформаційна система, студентоцентризм, база даних, діаграма прецедентів, діаграма послідовностей

Постановка проблеми. Освітня програма – система освітніх компонентів на відповідному рівні вищої освіти в межах спеціальності, що визначає вимоги до рівня освіти осіб, які можуть розпочати навчання за цією програмою, перелік навчальних дисциплін і логічну послідовність їх вивчення, кількість кредитів ЄКТС, необхідних для виконання цієї програми, а також очікувані програмовані результати навчання, професійні та загальні компетентності, які будуть сформовані у здобувача відповідного ступеня вищої освіти.

Огляд веб-сайтів закладів вищої освіти свідчить про наявність у відкритому доступі таких документів як робочі програми або силабуси освітніх компонент. Переважним чином такі матеріали згруповані по кафедрах, на яких відбувається фахова підготовка здобувачів освіти та включають матеріали обов'язкових та вибіркового видів освітніх компонент. Перелік робочих програм або силабусів, які пов'язані із блоком загальної підготовки, розміщено на інформаційних сторінках кафедр, які забезпечують їх вивчення. Також, у переважній більшості, представлені матеріали не визначають послідовність їх вивчення у посеместровому групуванні. Здобувач освіти не має репрезентованої дорожньої карти здобуття освіти за освітньою програмою.

Для подолання визначених недоліків необхідно звести усі документи освітніх компонент, які належать до освітньої програми, на одну інформаційну сторінку випускової кафедри, з упорядкуванням їх по семестрах вивчення. Дана сторінка буде нести навантаження логічної схеми здобуття освіти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) в суспільному житті на сьогодні суттєво розширюється, оскільки вплив цих технологій на суспільство має системний характер. В епоху Четвертої промислової революції йдеться про кардинальні соціальні зрушення, зумовлені змінами в способах сприйняття світу, системах життєвих смислів, цінностей, ідентичностей та формах комунікацій і людської взаємодії, а отже, у культурі в її найширшому розумінні [1, с.7].

На інформаційні системи покладено функції комунікації, які є основою комунікативного менеджменту. Комунікативний менеджмент включає ціленаправлене керування потоком документованої інформації, що має місце як в базових сферах життя суспільства, так і в господарській (економічній), фінансовій, правовій та природничій сферах [2, с.70].

Серед складових нової парадигми вищої освіти є такі поняття як студентоцентризм, орієнтування не на процес, а на результат навчання. Інтерактивна взаємодія між учасниками навчального процесу – викладачем і студентом, використання нових підходів до навчання, орієнтація на результат і спільна відповідальність за нього – головна ідея студентоцентризму [3]. Проведені дослідження базуються на підходах до інформаційних систем підрозділу [4], аналізі компонент інформаційної системи моніторингу якості освіти [5], підходами до формування освітньої траєкторії студентів [6]. Заклад вищої освіти провадить освітню діяльність за освітніми програмами (освітньо-професійна, освітньо-наукова чи освітньо-творча). Принцип відкритості передбачає ознайомлення здобувача вищої освіти з переліком освітніх компонент, які передбачають досягнення програмованих результатів, котрі сформовані в стандарті вищої освіти за спеціальністю.

Постановка завдання. Для вирішення поставленого завдання необхідно створити інформаційно-документальну систему «Каталог освітніх компонент», яка структурує документи освітніх компонент за властивостями, організовує збір, зберігання, передавання та відображення інформації на вимогу користувача на основі запиту і надає функціональні засоби підтримки документів в актуальному стані.

Виклад основного матеріалу. Об'єктом даної системи є файл (електронний документ) робочої програми або силабуса освітньої компоненти (в подальшому документ). Для єдиного формату відображення електронного документу в різноманітних браузерях він має бути представленим у форматі PDF.

Робоча програма освітньої компоненти (навчальної дисципліни) містить виклад конкретно змісту навчальної дисципліни, послідовність, організаційні форми її вивчення та їх обсяг, визначає форми та засоби поточного і підсумкового контролю [8, с.9]. Даний документ компоненти передбачає ознайомлення студентів зі змістом модулів навчальних дисциплін, контрольними заходами, системою накопичення балів, роком та семестром вивчення, лектором курсу, джерелами інформації та інше.

Силабус (Syllabus) – це документ, в якому роз'яснюється взаємна відповідальність викладача і студента. Загальна структура силабуса навчальної дисципліни включає наступні складові: загальна інформація про дисципліну; опис навчальної дисципліни; структура курсу; політика дисципліни; шкала оцінювання [9, с.6]

Модельовання інформаційно-документальної системи «Каталог освітніх компонент» потребує вирішення таких задач:

1. Проєктування моделі бази даних.
2. Визначення користувачів та прав функціональної взаємодії з системою.
3. Розробка правил структурованого зберігання документів у репозиторії (сховищі файлів).
4. Розробка прецедентів роботи з системою.

Впровадження в експлуатацію інформаційної системи забезпечується виконанням таких етапів:

1. Вибір операційної платформи та програмного стеку.
2. Розгортання програмного забезпечення.
3. Проєктування графічного інтерфейсу користувача GUI.

4. Програмування прецедентів системи.
5. Тестування системи.
6. Здача в експлуатацію. Підготовка технічної документації.
7. Підтримка життєвого циклу програмного забезпечення інформаційної системи.

Проектування моделі бази даних.

Оснovo будь-якої інформаційної системи складає база даних, у якій зберігається інформація про об'єкти – документи освітніх компонент. База даних складається з визначеної сукупності сутностей. Визначено перелік таких сутностей: освітня компонента, освітня програма, кафедра, семестр вивчення, належність року, спеціальність. Кожній сутності притаманні атрибути та відношення, які формують базу даних. Розглянемо атрибути сутностей.

Сутність **освітня програма**: ідентифікатор освітньої програми, код освітньої програми, назва освітньої програми, код спеціальності, ступінь освіти, термін навчання, рік впровадження. Опис: Освітня програма – це нормативний документ, за яким здійснюється підготовка фахівців. Кожна програма має свою назву та відповідає спеціальності, освітньому ступеню, має свій термін навчання, рік впровадження в освітню діяльність закладу вищої освіти.

Сутність **освітня компонента** має такі атрибути: ідентифікатор, шифр компоненти за освітньою програмою, назва ОК, тип документа, шифр файлу ОК, вид ОК, номер у блоці вибіркових дисциплін, дата затвердження документа ОК, код кафедри, яка реалізовує вивчення ОК. Опис: Освітня компонента – це складова ОП. Характеризується назвою, належністю до конкретної ОП та року впровадження, шифром у ОП, видом (обов'язкова або вибіркова), статусом (вивчається або ні – для вибіркової компоненти), порядковим номером в блоці вибіркових компонент, шифром документу ОК у репозиторії, кодом кафедри, яка реалізовує ОК, датою затвердження документа.

Сутність **кафедра**: код кафедри у закладі вищої освіти, назва кафедри, контакти.

Сутність **належність року**: ідентифікатор ОК, ідентифікатор року запровадження ОП, статус вивчення ОК. Опис: Освітня компонента відповідає року запровадження ОП в навчальний процес. Документ освітньої компоненти може належати декільком ОП різних років запровадження (при умові незмінності шифру та змісту документа різних ОП).

Сутність **семестр**: ідентифікатор ОК, номер семестру у якому вивчається ОК. Опис: згідно навчального плану ОК має свій семестр вивчення. Одна освітня компонента може вивчатися декілька семестрів (наприклад: вища математика вивчається у 1 та 2 семестрах).

Відношення між сутностями.

Реляційна база даних складається з сутностей, між якими встановлено зв'язки.

При проектуванні бази даних нами визначено такі відношення:

1. Одній освітній програмі відповідає множина освітніх компонент.
2. За однією спеціальністю може реалізовуватися декілька освітніх програм.
3. Одна кафедра може забезпечувати вивчення декілька освітніх компонент.
4. Документ однієї освітньої компоненти може належати більше як одній освітній програмі.
5. Одна освітня компонента може відповідати декільком навчальним семестрам.

Розроблена структура бази даних відповідає третій нормальній формі. Для програмної реалізації бази даних доцільно застосувати системи управління базами даних на основі SQL.

Результат системного аналізу відображено у концептуальній моделі бази даних та встановлених зв'язках між сутностями, що графічно відображено на UML діаграмі (рис. 1).

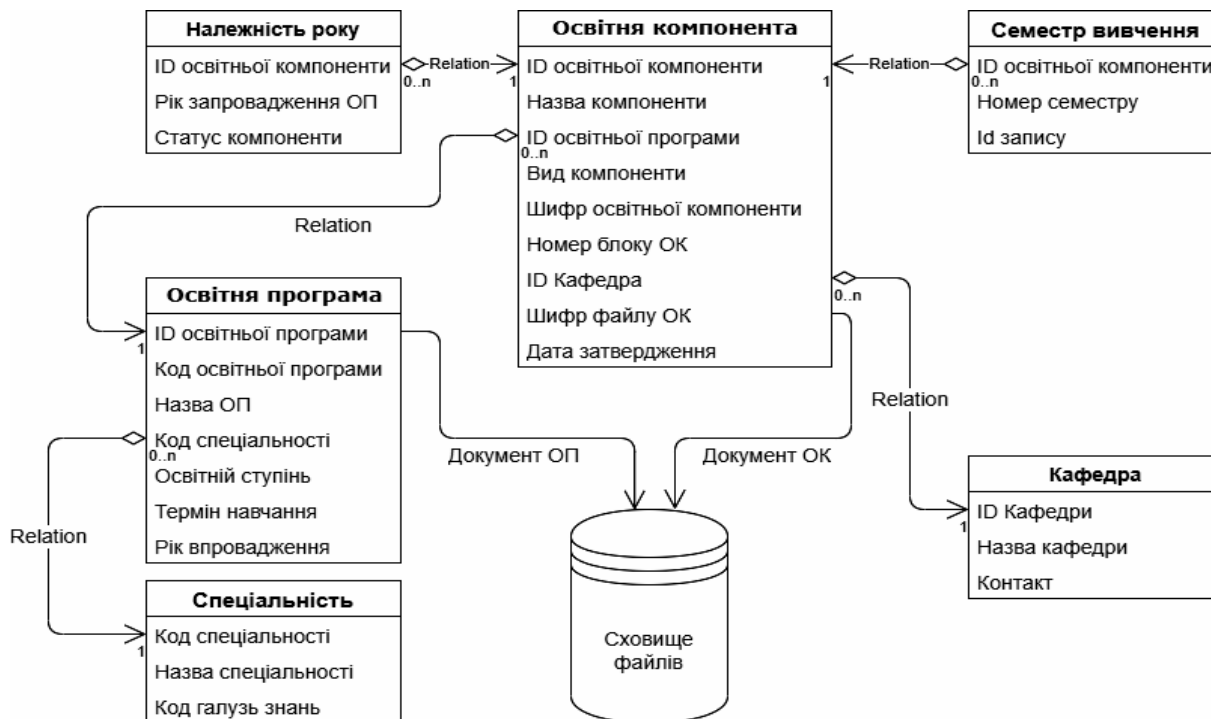


Рисунок 1 – UML діаграма бази даних

Джерело: розроблено авторами

Правила структурованого зберігання документів у сховищі файлів.

Для однакового відображення у різноманітних браузерях зміст освітньої компоненти презентується файлом у форматі pdf. Для заощадливого використання дискового простору сховища pdf-файл повинен мати мінімальний розмір.

Для ідентифікації файлу освітньої компоненти можна використати методику організації збереження файлів та правила шифрування імен файлів, описану авторами у публікації [10]. Тестовий режим роботи з системою вказав на необхідність додати до шифрування імен файлів часовий маркер запису файлу в репозиторій для однозначної ідентифікації документа, адже при роботі виникали аномалії саме з іменами.

Робота із файлами репозиторію зручно проводити через розроблений GUI, який визначає взаємодію через відповідну форму. Також можлива робота із сховищем за допомогою програми ftp-клієнт. Дані види операцій мають право проводити тільки певні користувачі системи (admin, developer).

Користувачі системи та права їх функціональної взаємодії.

Робота із інформаційною системою потребує визначення ролей користувачів та розмежування їх прав доступу до функціональних сервісів. Користувачам даної системи призначено такі ролі: розробник, адміністратор, менеджер, користувач.

Роль розробник (developer): створення користувацьких інтерфейсів, програмних модулів, формування звітів, встановлення прав доступу до сховища файлів через ftp-клієнт.

Роль адміністратор (admin): створення, редагування, видалення записів про ОК усіх ОП в базі даних, доступ до усіх папок у сховищі файлів через ftp-клієнт, доступ до сервісів з обслуговування каталогів (зокрема, очищення залишкових файлів документів в репозиторії).

Роль менеджер (manager): створення, редагування, видалення записів про ОК конкретної ОП в базі даних, доступ до тек документів ОП у сховищі файлів через ftp-клієнт або графічний інтерфейс. Менеджер працює через розроблені форми.

Роль користувач (user): перегляд списку документів ОК до певної ОП на основі запиту.

Розподіл прецедентів та ролей користувачів подано на рисунку 2.

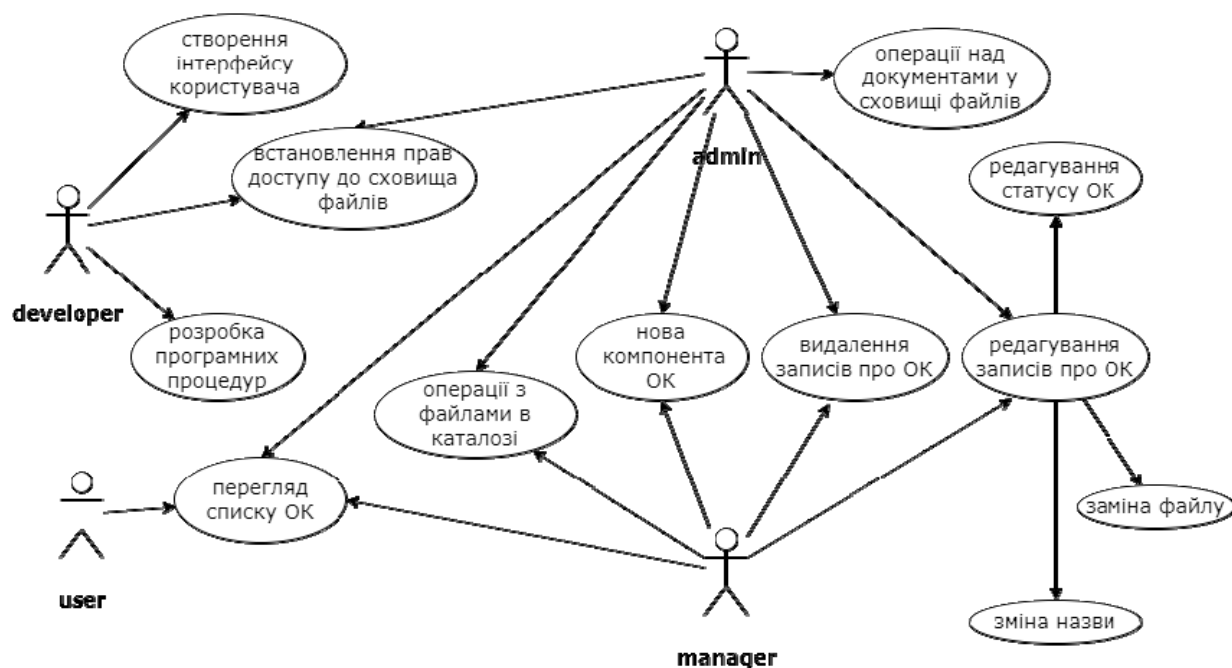


Рисунок 2 – UML-діаграма прецедентів

Джерело: розроблено авторами

Важливим питанням при програмуванні функціоналу інформаційної системи є визначення порядку взаємодії певних об'єктів у часі. Так, при програмуванні прецеденту «нова компонента ОК», ми визначили такі об'єкти: актор (manager), веб-браузер (web browser), серверна аплікація (server application), сервер бази даних (sql), база даних (database) та сховище файлів (repository).

Порядок взаємодії зображено на UML-діаграмі послідовностей (рис. 3).

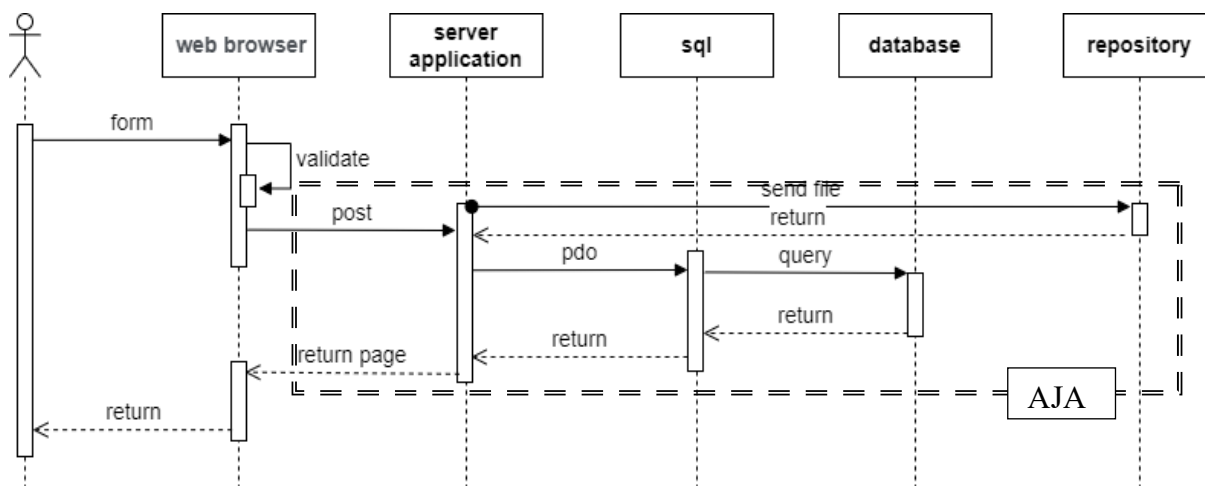


Рисунок 3 – UML-діаграма послідовностей

Джерело: розроблено авторами

Актор (manager) для створення нової компоненти ОП – взаємодіє із відповідною формою у браузері. Після внесення обов'язкової інформації про документ проводиться валідація (validate) внесеної інформації. В разі відсутності повноти інформації актор повертається до форми для доповнення. Після валідації проходить передача даних (post) до відповідної програми на стороні сервера (server application). Відповідна аплікація в першу чергу відправляє файл до сховища файлів (repository) і після отримання позитивної відповіді під'єднується до сервера бази даних (sql) із відповідним запитом до бази даних (database) про внесення інформації. Успішне внесення даних формує відповідь серверної аплікації, яка передається акторові в браузер.

Практична реалізація моделі та програмованого функціоналу інформаційної системи тестувалися у ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут». Реалізація проводилась з використанням клієнт-серверної архітектури з можливістю переходу в разі необхідності на іншу систему управління даними. Технічно система була інтегрована у функціонал офіційного веб-сайту закладу вищої освіти. Можлива реалізація системи як програмно незалежна одиниця. Функціонал системи може бути реалізований різноманітними програмними стеками.

Програмна реалізація інформаційної системи проведена на основі стеку LAMP:

- операційна система Linux;
- Apache веб-сервер HTTP в середовищі Linux;
- SQL – мова структурованих запитів для роботи із базою даних;
- PHP – скриптова мова програмування для реалізації функціоналу прецедентів на стороні сервера (Back-end).

Взаємодія користувача із системою (Front-end) здійснюється через відповідні форми. Перевірка та валідація введених даних користувачем реалізовується розробленими JavaScript-сценаріями. Також застосовується технологія асинхронного завантаження результатів запитів до бази даних, на сторінку користувача, за допомогою фреймворку jQuery методом Ajax.

Дана система є результатом концептуального теоретичного дослідження та може бути доповнена новими атрибутами в залежності від покладених на неї завдань. Так, за результатами впровадження системи, сутність *освітня компонента* доповнено датою затвердження освітньої компоненти для контролю необхідності оновлення документів.

Для прикладу, силабуси можуть бути оновлені при зміні змісту освітніх компонент, як результат обговорення освітньої програми із скейхолдерами або оновлюватися кожні три роки відповідно до положення про організацію освітньої діяльності чи інших нормативних документів. Відповідно до цього програмний функціонал формує список документів ОК, які необхідно оновити та повідомляє на відповідні кафедри через поштовий сервер.

Висновки.

1. Презентована інформаційна система технічно має бути реалізована засобами комп'ютерної техніки та інформаційних технологій на базі клієнт-серверної архітектури з подальшою інтеграцією на офіційному веб-сайті закладу освіти або як незалежна інформаційна система.

2. Пілотний проект впровадження інформаційно-документальної системи «Каталог освітніх компонент» в освітній процес ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут» вказує на створення позитивного іміджу серед здобувачів вищої освіти та науково-педагогічних працівників при організації освітньої та професійної діяльності, покращення інформативності та забезпечення відкритості освітнього процесу в закладі вищої освіти.

3. Однією із переваг системи можна вважати створення своєрідного архіву електронних документів ОК, за яким можна прослідкувати розвиток освітньої програми та вдосконалення змісту освітньої компоненти.

4. Використання даної системи визначає ряд переваг в комунікаційному менеджменті діяльності закладу вищої освіти та сприянні політики студентоцентризму в освітньому процесі:

- інформування студентів про дорожню карту здобуття освіти на обраній освітній програмі;
- ознайомлення з змістом вибіркових дисципліни, які забезпечують формування індивідуальної освітньої траєкторії;
- забезпечення централізованого зберігання документів ОК, підготованих в електронній формі;
- підтримка документів та супровід процесу здобуття освіти в актуальному стані.

Список літератури

1. Розвиток інформаційних систем управління освітою як інструмент реалізації державної освітньої політики: монографія ; за ред. С. Л. Лондара. Київ: ДНУ «Інститут освітньої аналітики», 2020, 258с.
2. Палеха Ю.І. Документально-інформаційні комунікації як основа комунікативного менеджменту. *Інформаційно-документаційне забезпечення сучасного суспільства*: зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. конф., 19-20 трав. 2016 р. К.: ДУТ, 2016. С. 69-79.
3. Голіцин А.М., Студентоцентризм в освітньому процесі. *Студентоцентризм у системі забезпечення якості освіти в економічному університеті*: зб. матеріалів Всеукр. наук.-метод. конф. за міжнар. участю., 2-3 берез. 2016 р. К.: КНЕУ, 2016. С.84
4. Dmytrenko T. Розробка інформаційної системи управління кафедрою будівельних конструкцій. *Системи управління, навігації та зв'язку* : зб. наук. праць. 2021. Т.1(63). С. 84-89. doi:<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.1.084>
5. В.В. Семенець, В.О. Філатов, В.Г. Кобзев. Компоненти інформаційної системи моніторингу якості освіти у харківському національному університеті радіоелектроніки. *Інформаційні системи та технології ICT-2018*. зб. матеріалів 7-ї Міжнар. наук.-тех. конф., 10-15 вересня 2018 р. URL: <https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/8132/3/Filatov2018.pdf> (дата звернення: 07.12.2022)
6. Шаров С. Формування індивідуальної освітньої траєкторії студента засобами інформаційної системи. *Науковий вісник Мелітопольського державного педагогічного університету. Серія:*

- Педагогіка*. 2017. №2. С.149-154. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvmdpu_2017_2_24. (дата звернення: 07.12.2022)
7. Положення «Про освітні програми у ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут». URL: https://www.bati.nubip.edu.ua/Doc/Regulations/Education/bati_edu_r14.pdf (дата звернення: 07.12.2022)
 8. Положення про організацію освітнього процесу у ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут». URL: https://www.bati.nubip.edu.ua/Doc/Regulations/Education/bati_edu_r01.pdf (дата звернення: 07.12.2022)
 9. Положення про си́лабус навчальної дисципліни у ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут». URL: https://www.bati.nubip.edu.ua/Doc/Regulations/Education/bati_edu_r10.pdf (дата звернення: 07.12.2022)
 10. Качурівський В., Качурівська Г. Шифрування імен файлів освітніх компонент як дискретних одиниць інформаційної системи. *Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення*: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф., 20 жовтня 2021р. Мелітополь: ФОП Одрог Т.В., 2021. С.210-212.

References

1. Rozvytok informatsiynykh system upravlinnya osvityu yak instrument realizatsiyi derzhavnoyi osvith'oyi polityky [Development of educational management information systems as a tool for implementation of state educational policy] (2020). S. L. Londara (Ed.). Kiev: DNU «Instytut osvith'oyi analityky» [in Ukrainian].
2. Palekha, Yu.I. (2016). Dokumentalno-informatsiyni komunikatsiyi yak osnova komunikativnoho menedzhmentu [Documentary and informational communications as the basis of communicative management]. *Informatsiyno-dokumentatsiynе zabezpechennya suchasnoho suspil'stva: materialy Vseukr. nauk.-prakt. konf. (19-20 trav. 2016 r.)* – All-Ukrainian Scientific and Practical Conference (pp. 69-79). Kiev: DUT [in Ukrainian].
3. Holitsyn, A.M. (2016). Studentotsentryzm v osvith'omu protsesi. *Studentotsentryzm u systemi zabezpechennya yakosti osvity v ekonomichnomu universyteti*: Vseukr. nauk.-metod. konf. za mizhnar. uchastyu. (2-3 berez. 2016 r.) – All-Ukrainian Scientific and Method Conference (p.84). Kiev: KNEU [in Ukrainian].
4. Dmytrenko, T., Derkach, T., Dmytrenko, A., & Klochko, L. (2021). The information system development for managing the building structures department [Development of an information management system for the Department of Building Structures]. *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zvyazku: zb. nauk. prats – Control, navigation and communication systems: coll. of sci. works. 1(63)*, 84–89. <https://doi.org/10.26906/sunz.2021.1.084> [in Ukrainian].
5. Semenets', V.V., Filatov, V.O. & Kobzyev, V.H. (2018). Komponenty informatsiynoyi systemy monitorynhu yakosti osvity u Kharkivs'komu natsional'nomu universyteti radioelektroniky [Components of the information system for monitoring the quality of education at Kharkiv National University of Radio Electronics]. *Information systems and technologies IST-2018: 7-i Mizhnar. nauk.-tekh. konf., (10-15 veresnia 2018 r.)* – 7th International Science and technology Conf. (pp. 51-54). Retrieved from <https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/8132/3/Filatov2018.pdf> [in Ukrainian].
6. Sharov, S. (2017). Formuvannya indyvidual'noyi osvith'oyi trayektoriyi studenta zasobamy informatsiynoyi systemy [Formation of the individual educational trajectory of the student by means of the information system]. *Naukovyy visnyk Melitopol's'koho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu. Seriya: Pedahohika – Scientific Bulletin of the Melitopol State Pedagogical University. Series: Pedagogy*, 2, 149-154. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvmdpu_2017_2_24 [in Ukrainian].
7. Polozhennya «Pro osvithni prohramy u VP NUBiP Ukrayiny «Berezhans'kyi ahrotekhnichnyy instytut» [Regulation "On educational programs in the VP NUBiP of Ukraine "Berezhn Agricultural Technical Institute"]. *bati.nubip.edu.ua* Retrieved from https://www.bati.nubip.edu.ua/Doc/Regulations/Education/bati_edu_r14.pdf [in Ukrainian].
8. Polozhennya pro orhanizatsiyu osvith'oho protsesu u VP NUBiP Ukrayiny «Berezhans'kyi ahrotekhnichnyy instytut» [Regulations on the organization of the educational process in the VP NUBiP of Ukraine "Berezhn Agricultural Technical Institute"]. *bati.nubip.edu.ua* Retrieved from https://www.bati.nubip.edu.ua/Doc/Regulations/Education/bati_edu_r01.pdf [in Ukrainian].
9. Polozhennya pro sylabus navchal'noyi dystsypliny u VP NUBiP Ukrayiny «Berezhans'kyi ahrotekhnichnyy instytut» [Provisions on the syllabus of the academic discipline in the VP NUBiP of Ukraine "Berezhn Agricultural Technical Institute"]. *bati.nubip.edu.ua* Retrieved from https://www.bati.nubip.edu.ua/Doc/Regulations/Education/bati_edu_r10.pdf [in Ukrainian].

10. Kachurivskyi, V. & Kachurivska, H. (2021). Shyfruvannya imen fayliv osvitnikh komponent yak dyskretnykh odynyts' informatsiynoyi systemy [Encrypting file names of educational components as discrete units of the information system]. *Sustainable development of the agrarian sphere: engineering and economic support*: III Mizhnar. nauk.-prakt. konf., (20 zhovtnya 2021r.) – III International Science and Practice Conf. (pp.210-212). Melitopol: FOP Odnoroh T.V. [in Ukrainian].

Volodymyr Kachurivskyi, Assoc. Prof., PhD ped. sci., **Hanna Kachurivska**, Assoc. Prof., PhD phys.-math. sci.

Separated subdivision National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine "Berezhany Agrotechnical Institute", Berezhany, Ukraine

Modeling of the Information and Documentation System for the Presentation of the Educational Components of the Educational Program

The article presents the concept of the information and documentation system model for the presentation of documents of the educational components of the educational program in the form of a road map for obtaining an education. This system contributes to the implementation of the principle of openness and publicity in the activities of the institution of higher education. The function of communicative management is assigned to the information system.

The database model was developed, the entities and their attributes were described, and the relationship between them was established for operational management. A list of the following entities is defined: educational component, educational program, department, semester of study, year belonging, specialty. Each entity has its own attributes and relations that make up the database. When designing the database, we defined the following relations: one educational program corresponds to a set of educational components; several educational programs can be implemented in one specialty; one department can provide the study of several educational components; a document of one educational component may belong to more than one educational program; one educational component may correspond to several academic semesters. To identify the file of the educational component, the methods of file storage organization and file name encryption rules defined by the authors were used.

Working with the information system requires defining user roles and delimiting their access rights to functional services. Users of this system are assigned the following roles: developer, administrator, manager, user. A diagram of precedents was developed and their grouping by roles was carried out. The sequence of interaction of objects in time for programming the functionality of the system is proposed. The technically presented information system must be implemented using computer equipment and information technologies based on client-server architecture with further integration on the official website of the educational institution or as an independent information system. The software implementation of the information system is based on the LAMP stack.

modeling, information system, student-centeredness, database, precedent diagram, sequence diagram

Одержано (Received) 14.12.2022

Прорецензовано (Reviewed) 18.12.2022

Прийнято до друку (Approved) 29.12.2022

КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 629.7.02+004.3

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.26-36](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.26-36)

О.О. Майданик, асп., **Є.В. Мелешко**, проф., д-р техн. наук, **А.М. Мацуї**, проф., д-р техн. наук, **С.В. Шимко**, асп.

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: maidanyksmail@gmail.com, elisemeleshko@gmail.com, matsuyan@ukr.net,
shymko.sv@meta.ua*

Дослідження методів стабілізації відео та будови гіростабілізованих підвісів відеокамер для безпілотних літальних пристроїв

Метою даної роботи було дослідження будови гіростабілізованих підвісів відеокамер для дронів, що застосовуються для механічної стабілізації відео при відеоспостереженні або візуальній навігації. Від якості стабілізації відео залежить і якість отриманого зображення з дрону, а отже і кількість одержаної корисної інформації. Існує дві основні групи методів стабілізації відео: оптико-механічна та цифрова стабілізація. Для максимального покращення якості зображення з відеокамери безпілотного літального апарату (БПЛА) та зведення до мінімуму наслідків дрижання камери, необхідно в першу чергу виконувати механіко-оптичну стабілізацію відео, а потім за необхідності доповнювати її цифровою стабілізацією. Тільки цифрова стабілізація без механіко-оптичної виконується лише з метою здешевлення дрону. Оптико-механічна стабілізація зазвичай базується на показах гіроскопу. У даній роботі було проведено порівняльне дослідження наступних методів механічної стабілізації відео з БПЛА: на основі 3-х та 2-х осьових гіростабілізованих підвісів з одним мікроконтролером та на основі гіростабілізованих підвісів з енкодерами і декількома мікроконтролерами.

дрон, безпілотний літальний апарат, гіростабілізовані підвіси відеокамер, цифрова стабілізація відео, механічна стабілізація відео, відеоспостереження

Постановка проблеми. Гіростабілізовані підвіси відеокамер на БПЛА використовуються не тільки для стабілізації відео, а й для керування кута нахилу відеокамери з пульта управління оператором. Кут нахилу відеокамери відносно горизонту також може використовуватись для визначення координат об'єкта зйомки, що може бути потрібним, наприклад, у відеоспостереженні або візуальній навігації. Від якості стабілізації відео залежить якість отриманого зображення при відеоспостереженні, а отже і кількість одержаної корисної інформації з дрону. Таким чином дослідження будови гіростабілізованих підвісів відеокамер для БПЛА є важливою науково-практичною задачею, адже від якості їх роботи залежить і якість виконання перерахованих вище задач.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наш час дрони з відеокамерами використовуються у різних сферах, таких як боротьба зі стихійними лихами, перевірка інфраструктури, моніторинг дорожнього руху, моніторинг натовпу, пошуково-рятувальні роботи, відеоспостереження тощо.

Системи відеоспостереження на дронах фактично розміщені на нестабільних або вібруючих платформах. Механічний зв'язок відеокамери з дроном призводить до її кутової вібрації. Це призводить до розмиття зображення та, як наслідок, втрати роздільної здатності. Додатковими збуреннями є хвилеподібне зображення для детекторів на основі механізму рухомих затворів і дратівливе переміщення зображення на низьких частотах.

Існує дві основні групи методів стабілізації відео [1-5]: оптико-механічна стабілізація та цифрова стабілізація.

Невеликі дрони, що літають низько, зазвичай мають фіксовані камери без механічної стабілізації, хоча можуть мати цифрову стабілізацію відео [1, 2]. Відео та зображення з фіксованих камер не є гладкими через вібрацію пропелера та вплив навколишнього середовища. Отримані нестабільні відео часто потрібно згладжувати для подальшої роботи з ними. Цифрова стабілізація може дещо виправити становище, але найбільш якісне зображення дозволяє отримати механічна стабілізація на основі гіростабілізованих підвісів відеокамери, а також поєднання механічної та цифрової стабілізації [3]. Механічна стабілізація зазвичай базується на показах гіроскопа [3-5].

Таким чином, для максимального покращення якості зображення з відеокамери БПЛА та зведення до мінімуму наслідків дрижання камери, необхідно в першу чергу виконувати механіко-оптичну стабілізацію відео, а потім за необхідності доповнювати її цифровою стабілізацією. Тільки цифрова стабілізація без механіко-оптичної виконується лише з метою здешевлення дрону. Повна відсутність стабілізації застосовується лише в найдешевших моделях дронів і для задач, що не вимагають високої точності результатів.

Постановка завдання. Таким чином, метою даної роботи є дослідження будови гіростабілізованих підвісів відеокамер для БПЛА, що застосовуються для механічної стабілізації відео.

Виклад основного матеріалу. В даній роботі було досліджено основні методи механічної стабілізації відео на основі гіростабілізованих підвісів для камер БПЛА.

Слід спочатку сказати декілька слів про застосування дронів без механічної стабілізації відео, адже існують випадки, коли їх використання більш доцільне.

Жорстко закріплені відеокамери на дронах без механічної стабілізації

Жорстко закріплені камери без гіростабілізованого підвісу використовуються в декількох випадках та досить рідко. Через неможливість дрону переміщуватися в просторі абсолютно рівно відносно горизонту, жорстко закріплену камеру використовують для орієнтації пілота в ручному режимі польоту. Тобто як курсову камеру, яка встановлена на зручному куті для пілота відносно горизонту або просто прямо вперед. Такі курсові камери використовують в деяких випадках в парі з окремим підвісом, наприклад, індустриальні дрони з тепловізором, які призначені для обстеження промислових об'єктів. Таке рішення дозволяє пілоту перемикатись між камерами та не втрачати положення дрона у просторі. Також жорстко закріплені камери використовуються в змаганнях з дрон-рейсінгу. Під час польоту на змаганнях, як правило на високій швидкості, корпус їх нахилений вперед та камера стоїть під кутом для зручної видимості.

Перейдемо до дослідження механічної стабілізації відео. У даній роботі будуть досліджені наступні системи механічної стабілізації відео з дронів, засновані на:

- 3-х та 2-х осьових гіростабілізованих підвісів з одним мікроконтролером.
- гіростабілізованих підвісів з енкодерами та декількома мікроконтролерами.

Механічна стабілізація відео на основі 3-х та 2-х осьових гіростабілізованих підвісів з одним мікроконтролером

Гіростабілізовані підвіси – це пристрої для стабілізації відеокамери в просторі, які змонтовані на дроні (літак, квадрокоптер), який через свою фізику польоту знаходиться постійно в русі, тобто камера змонтована на 2-х або 3-х осьовому карданному підвісі (рідше на 1-но осьовому). На кожній з осей знаходиться двигун, який в залежності від зворотнього зв'язку від гіроскопа, що знаходиться на самій камері,

повертає на заданий кут вісь для підтримання камери в горизонті або на кут, який задається пілотом.

Вісі називаються як і в авіації: тангаж, крен та рискання (Pitch, Roll, Yaw).

На рис. 1 зображено конструкцію 3-х осевого гіростабілізованого підвісу, який є наймасовішим і найпростішим. Така будова підвісу має свою перевагу в простоті конструкції. Кожна з осей змонтована через двигун, який відхиляє вісь в потрібному напрямку. Керування виконується одним мікроконтролером та окремим гіроскопом, який змонтовано на одній і тій же вісі з камерою. Функціональна схема роботи підвісу представлена на рис.2.

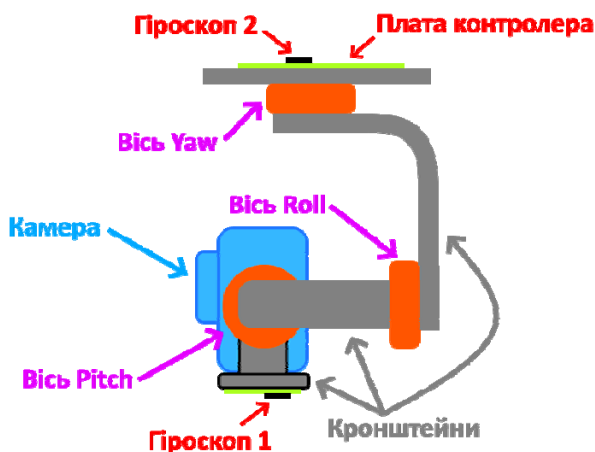


Рисунок 1 – Схема будови 3-х осевого гіростабілізованого підвісу відеокамери
Джерело: розроблено авторами на основі джерел [1-9]



Рисунок 2 – Функціональна схема роботи гіростабілізованого підвісу відеокамери
Джерело: розроблено авторами на основі джерел [1-9]

Гіроскопи потрібні для орієнтації в просторі. В даному випадку мікросхема гіроскопа оснащена акселерометром. Це зумовлено тим, що сам по собі гіроскоп у вигляді мікросхеми має дуже багато погрешностей через те, що він є електромеханічною системою. Тобто, на кристалі кремнію витравлено складний підвіс, який рухається всередині корпусу мікросхеми, а вимірювання відхилень відбувається за рахунок вимірювання ємності. Тому дані гіроскопи при рухах накопичують дуже велику похибку. Для мінімізації цього використовують акселерометр, який в свою чергу вимірює прискорення. Завдяки акселерометру вираховується похибка положення гіроскопа в даний момент часу. Саме таким методом можна отримати положення гіроскопа в просторі. Тобто гіроскоп показує відхилення від горизонту (початкового положення) по 3-х осях (мікросхема має 3-х осьовий гіроскоп та 3-х осьовий акселерометр). Мікроконтролер постійно зчитує положення гіроскопа в просторі та вираховує, на який кут необхідно повернути ту чи іншу вісь, гіроскоп виконує функцію зворотного зв'язку. Другий гіроскоп, який стоїть на платі з мікроконтролером потрібен для початкового калібрування положення гіроскопів.

В даному випадку найчастіше використовуються безщіткові 3-х фазні на постійних магнітах двигуни осей (BLDC - brushless DC motor). Застосування таких двигунів зумовлено їх надійністю, простотою та забезпеченням плавності роботи. Але керування таким двигуном достатньо складне. Мікроконтролер рахує вектор повороту ротора двигуна та генерує 3-х фазну напругу ШІМ (широтно-імпульсна модуляція), яка в кінцевому вигляді на обмотках статора має форму синусоїди. Силова частина кожного двигуна виконана у вигляді мікросхеми, яка має в собі 3-х фазний транзисторний міст (6 транзисторів включених так, щоб кожний з кінців фаз комутувати на живлення або на землю) [1].

При загальній простоті конструкції така система має ряд проблем з навантаженістю мікроконтролера, який постійно зчитує показання гіроскопа та акселерометра і вираховує вектори на кожен з двигунів осей. В такому виконанні осей може бути три та дві, а рідше одна. На рис. 3 зображені різновиди 2-х осьових підвісів.

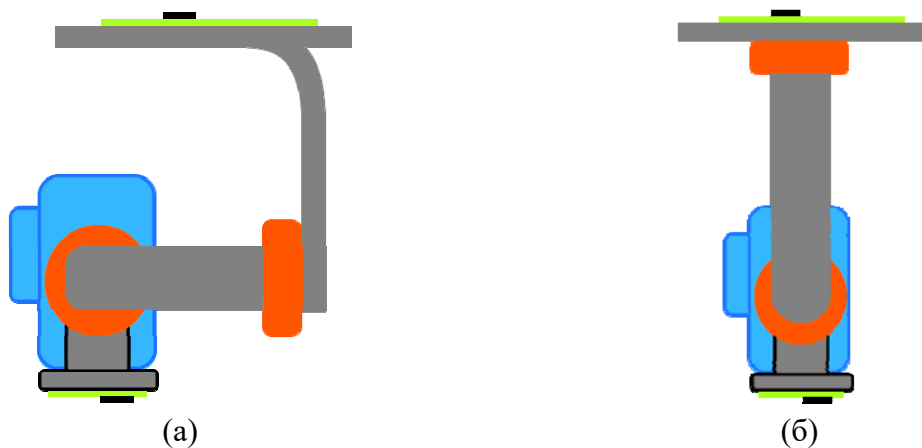


Рисунок 3 – Схеми будови 2-х осьових гіростабілізованих підвісів відеокамери:

а) підвіс з осями Pitch, Roll; б) підвіс з осями Pitch, Yaw

Джерело: розроблено авторами на основі джерел [1-9]

2-х осьові підвіси з осями Pitch, Roll, як і 3-х осьові, використовуються на квадрокоптерах, рідше на літаках. Підвіси Pitch, Yaw використовуються на літаках. Одноосьові підвіси використовуються дуже рідко на літаках з віссю Roll.

Розглянемо також механічну стабілізацію відео на основі гіростабілізованих підвісів з енкодерами та декількома мікроконтролерами.

Механічна стабілізація відео на основі гіростабілізованих підвісів з енкодерами та декількома мікроконтролерами

Описані раніше системи стабілізації мають ряд недоліків, а саме те, що обчислення положення осей виконує один мікроконтролер відносно гіроскопа та акселерометра, які в цій системі є зворотнім зв'язком. Саме по собі зчитування та фільтрація даних з гіроскопа та акселерометра є затратним, з точки зору обчислень, а для нормальної роботи треба зчитувати значення з високою частотою. Тому стабільність такої системи невисока. При тому, що дані гіроскопа та акселерометра потребують ресурсів треба рахувати вектори положень двигунів осей. Це також не проста задача, яка потребує обчислень з плаваючою точкою та більш потужного мікроконтролера, який буде заздалегідь дорожче коштувати.

Для вирішення цієї проблеми використовують систему на основі розділених мікроконтролерів зі зворотнім зв'язком відносно енкодера змонтованого на кожній вісі.

Енкодер – це пристрій (датчик), який дає значення положення повороту вісі (по аналогії з потенціометром, але енкодер може здійснювати повні оберти на 360°). Потенціометри не використовуються через свою ненадійність. Як правило, використовуються магнітні енкодери, оскільки не мають ніяких частин, які труться та зношуються, як у потенціометра. Магнітний енкодер (мікросхема) працює в парі з діаметрально намагніченим магнітом. На рис. 4 зображено магнітний енкодер з магнітом [2].

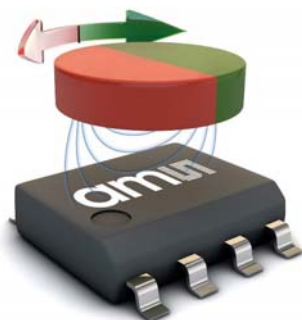


Рисунок 4 – Магнітний енкодер з магнітом

Джерело: Документація до AS5600 Position Sensor, URL: <https://ams.com/zh/as5600>

Позиціонування магніту рівно над мікросхемою дуже важливе для точного вимірювання його положення, оскільки магнітне поле буде нерівномірно проходити через датчики Холла, які знаходяться всередині мікросхеми. Таким чином, не допускається ексцентричність осей магніту та мікросхеми (геометричного центру мікросхеми). Дану особливість варто враховувати при конструюванні осей підвісу.

Поворотний магнітний датчик положення робиться на основі планарних датчиків Холла, які перетворюють на напругу магнітне поле, що знаходиться перпендикулярно до поверхні мікросхеми. Сигнали, що надходять від датчиків Холла, спочатку посилюються і фільтруються перед перетворенням за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Значення кута, надане алгоритмом обчислення вектора напрямку магнітного поля в середині мікросхеми датчика, може виводитись в декількох варіантах: ШІМ, рівень напруги (аналоговий вихід), цифрова шина I2C або цифрова високошвидкісна шина SPI.

Для побудови системи підходять датчики, які видають готове цифрове значення через послідовну шину I2C або SPI. Інші варіанти не підходять так, як не мають прив'язки до початкової точки обертання. Без цього систему буде неможливо відкалібрувати без додаткових датчиків [3]. На рис. 5 зображено схему відповідності значення положення магнітного енкодера та магніта.

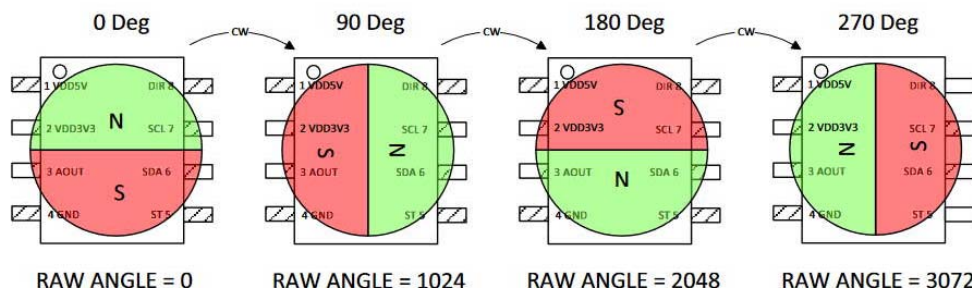


Рисунок 5 – Схема відповідності між значеннями положення магнітного енкодера та магніта
Джерело: документація до AS5600 12-Bit Programmable Contactless Potentiometer, URL: https://ams.com/documents/20143/36005/AS5600_DS000365_5-00.pdf

Використання таких датчиків на кожній з осей з окремим мікроконтролером дає змогу точно позиціонувати осі. Тобто при динамічних рухах і зривах магнітного поля в двигунах, мікроконтролер точно зчитує значення поточного положення осі двигуна та повертає його в нормальне. Також значення кутів нахилу відеокамери можна використовувати для обчислення координат положення об'єкту, за яким ведеться спостереження.

Конструкція підвісу передбачає модульність. Тобто, для роботи треба один головний модуль та модуль гіроскопа, який змонтовано прямо на осі з камерою, а модулі керування двигунами включаються послідовно в залежності від потреби кількості осей стабілізації (одної, двох або всіх трьох).

Модуль керування двигуном складається з самого двигуна та плати керування, змонтованої на задній нерухомій кришці двигуна. По центру плати із сторони осі двигуна розташована мікросхема магнітного енкодера, а на зворотній частині змонтовано логічну частину керування: мікроконтролер та силову мікросхему (як правило збірка транзисторів включених напівмостом). На рис. 6 зображено функціональну схему модуля керування двигуном.

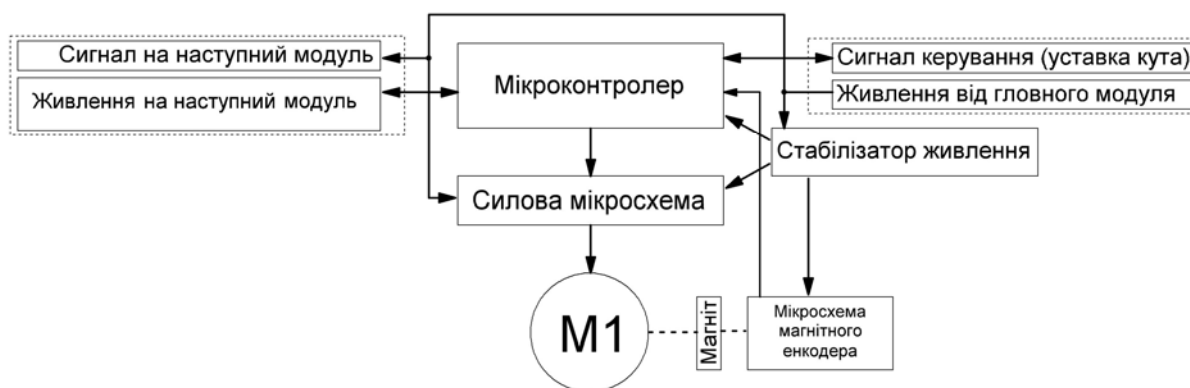


Рисунок 6 – Функціональна схема модуля керування двигуном осі підвісу відеокамери
Джерело: розроблено авторами на основі джерел [1-9]

Дані положення ротора двигуна зчитуються постійно та фільтруються. Потім відносно уставки від головного контролера корегується положення ротора. Також при динамічній взаємодії на вісь підвісу (активне маневрування дрону) модуль керування двигуном дуже швидко та чітко може повертати (підтримувати) положення осі відносно значень енкодера. Алгоритм роботи такого модуля керування двигуном значно простіший за алгоритм роботи керування одразу трьома осями (двигунами), а саме в зчитуванні уставки (значення кута повороту заданого головним контролером, який вираховує кут відносно гіроскопа та акселерометра зі значенням кута заданим пілотом) та зчитуванням значення магнітного енкодера. Далі значення фільтруються та через ПІД-регулятор обраховуються вектори керування двигуном. Після обраховування векторів положення ротора значення передаються на таймери лічильники, які видають ШІМ сигнал на силову частину модуля. Силова частина модуля (мікросхема) включає в себе драйвери затворів транзисторів та самі силові транзистори включені напівмостом (3 напівмости, так як двигун має 3 фази). Функціональна схема роботи модуля керування двигуном зображена на рис. 7.



Рисунок 7 – Функціональна схема роботи модуля керування двигуном осі підвісу відеокамери
Джерело: розроблено авторами на основі джерел [1-9]

Головною вимогою до конструктивного виконання є строга соосність магніту та мікросхеми енкодера. На рис. 8 зображено конструкцію розміщення плати керування відносно двигуна.

Плату керування не обов'язково розміщувати на кришці двигуна. Її можна розмістити на кронштейні кріплення самої осі (як правило це виглядає як скоба), а сам датчик відділити та розмістити вже на двигуні або на протилежній стороні кронштейна (магніт також закріплюється на протилежній опорі). Головною вимогою є розміщення

геометричних центрів двигуна, магніта та енкодера. Це дає змогу гнучко використовувати простір конструкції для більш вигідного розміщення дротів (шлейфів) та інших елементів конструкції та можливість розподілити виділення тепла від двигуна та силової мікросхеми, тому що при роботі ці елементи нагріваються.

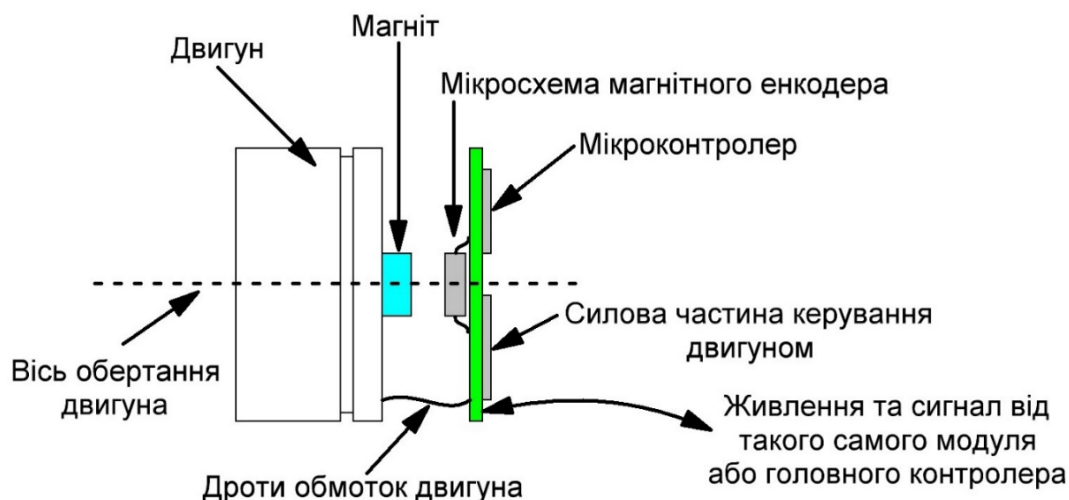


Рисунок 8 – Розміщення плати керування відносно двигуна осі підвісу відеокамери
Джерело: розроблено авторами на основі джерел [1-9]

Головний модуль включає в себе гіроскоп та акселерометр, мікроконтролер та стабілізатор силової напруги. Гіроскоп та акселерометр потрібні для початкового калібрування системи при старті роботи. Мікроконтролер займається зчитуванням команд від контролера польоту та значень гіроскопу модуля керування камери. Стабілізатор силової напруги потрібен для адаптації живлення від акумулятора. Так як акумулятор має високу напругу для живлення системи, а сама система має в собі двигуни, які споживають відносно великий струм, даний стабілізатор є потужнішим за ті, що використовуються для живлення мікроконтролерів та інших мікросхем. Стабілізатори живлення логічної частини включені після силового стабілізатора для розподілення потужності, яка виділяється при зменшенні напруги до потрібної логічній частині. Тому силовий стабілізатор, який займає значно більше місця на платі, використовується лише один і розміщений на головному модулі.

Модуль гіроскопа та керування камерою має в собі найважливішу частину – це мікросхему гіроскопа та акселерометра, яка є зворотнім зв'язком для всієї системи при корегуванні динамічних взаємодій в системі (стабілізації). Мікроконтролер цього модуля призначений для зчитування гіроскопа і акселерометра та підготовки даних для головного модуля, а також для видачі керуючих сигналів на камеру [4]. Загальний вигляд системи зображено на рис. 9.

Дана система на основі магнітних енкодерів хоч і є складнішою за звичайну, реалізовану на одному мікроконтролері, але має ряд переваг в модульності, точності стабілізації та керуванні.

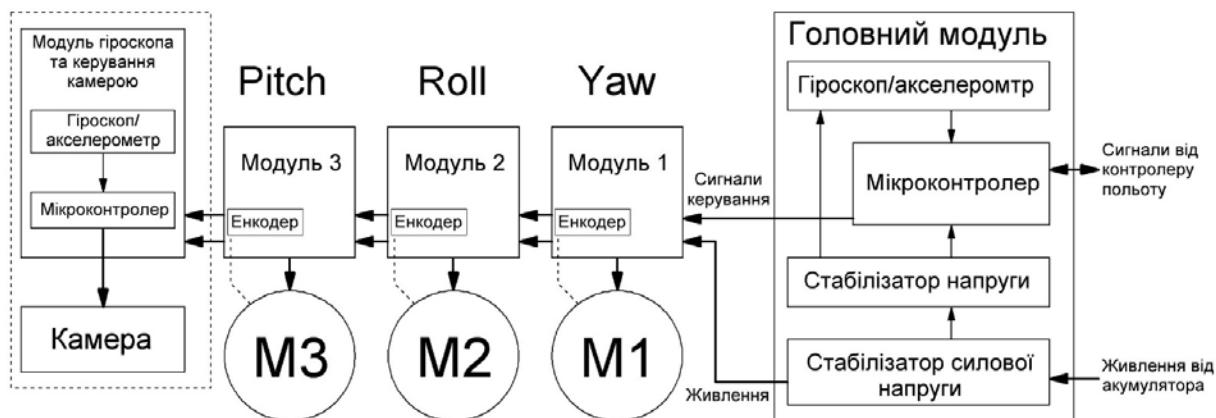


Рисунок 9 – Загальний вигляд системи механічної стабілізації відеокамери на декількох мікроконтролерах

Джерело: розроблено авторами на основі джерел [1-9]

Висновки. В даній статті було проведено аналіз систем стабілізації відеокамер в просторі. Який показав, що з розвитком дронів та камер з оптичним приближенням та високою роздільною здатністю без механічної системи стабілізації не обійтись. Також механічна стабілізація окрім вирівнювання положення камери при маневруванні дрону дозволяє повертати камеру на зручний кут огляду для пілота оператора.

Найбільше розповсюдження отримали 2-х та 3-х осові підвіси через свою зручність та практичність. Рідше використовуються 1-но осові підвіси або взагалі жорстко закріплені камери.

Жорстко закріплені камери використовуються як курсові для орієнтації в просторі пілотом. Тобто така камера дає змогу зрозуміти відхилення дрону від горизонту та скоригувати команду операторові для коректного польоту. Також жорстко закріплені камери використовують на дронах для змагань з дрон-рейсінгу.

Модульна система на основі магнітних енкодерів тільки починає розвиватися, але така система має ряд переваг хоч і є складнішою та дорожчою. Система забезпечує високу точність та надійність стабілізації, оскільки кожен модуль системи виконує свою задачу, тому ресурси мікроконтролерів розподіляються. Головною її особливістю є підтримання положення роторів осей відносно показів енкодера, що дає змогу дуже точно реагувати на динамічні дії на систему при активному маневруванні дрону.

Перспективою подальших досліджень є розробка системи керування стабілізації відеокамер на основі магнітних енкодерів.

Список літератури

1. Aswini, N., Uma, S.V. Video Stabilization for Drone Surveillance System / In: Venugopal, K.R., Shenoy, P.D., Buyya, R., Patnaik, L.M., Iyengar, S.S. (eds) Data Science and Computational Intelligence (ICInPro 2021), *Communications in Computer and Information Science*, Vol. 1483. Springer, Cham. 2021. P. 468-480. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-91244-4_37
2. Kowal D. Considerations for opto-mechanical vs. digital stabilization in surveillance systems // *Proceedings*, vol. 9451, *Infrared Technology and Applications XLI*, 94510B, Event: SPIE Defense + Security, 2015, Baltimore, Maryland, United States. 2015. URL: <https://doi.org/10.1117/12.2178123>
3. Aguilar W.G., Angulo C. Real-Time Model-Based Video Stabilization for Microaerial Vehicles // *Neural Process Lett* 43. P. 459-477. 2016. URL: <https://doi.org/10.1007/s11063-015-9439-0>
4. Zhou X., Zhang H., Yu R. Decoupling control for two-axis inertially stabilized platform based on an inverse system and internal model control // *Mechatronics*, Vol. 24, Issue 8. 2014. P. 1203-1213. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957415814001317>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2014.09.004>

5. Безпілотні літальні апарати радіаційної розвідки і сільськогосподарського призначення: монографія / В.Я. Канченко та ін.; Чорнобиль: Інститут проблем безпеки атомних електростанцій. 2015. 180 с. URL: <http://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/mono/khan-2015.pdf>
6. STorm32 NT brushless gimbal controller. URL: http://www.olliw.eu/storm32bgc-wiki/Main_Page
7. AS5600 Position Sensor . URL: <https://ams.com/zh/as5600>
8. AS5600 12-Bit Programmable Contactless Potentiometer. URL: https://ams.com/documents/20143/36005/AS5600_DS000365_5-00.pdf (Last accessed: 29.10.2022)
9. Tstorm32. URL: <http://www.olliw.eu/storm32bgc-wiki/File:Tstorm32-wiring-scheme-sketch.jpg> (Last accessed: 29.10.2022)

Referencis

1. Aswini, N. & Uma, S.V. (2021). Video Stabilization for Drone Surveillance System. In: Venugopal, K.R., Shenoy, P.D., Buyya, R., Patnaik, L.M., Iyengar, S.S. (eds) . Data Science and Computational Intelligence (ICInPro 2021). *Communications in Computer and Information Science, Vol. 1483*. Springer, Cham, P. 468-480. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-91244-4_37
2. Kowal, D. (2015). Considerations for opto-mechanical vs. digital stabilization in surveillance systems. *Proceedings, Vol. 9451, Infrared Technology and Applications XLI, 94510B*, Event: SPIE Defense + Security, 2015, Baltimore, Maryland, United States. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2178123>
3. Aguilar, W.G. & Angulo, C. (2016). Real-Time Model-Based Video Stabilization for Microaerial Vehicles. *Neural Process Lett 43*, P. 459-477. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11063-015-9439-0>
4. Zhou, X., Zhang, H. & Yu, R. (2014). Decoupling control for two-axis inertially stabilized platform based on an inverse system and internal model control. *Mechatronics, Vol. 24, Issue 8*, P. 1203-1213. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957415814001317> . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2014.09.004>
5. Kanchenko, V.Ya., Karnausenko, R.V., Kliuchnykov, O.O., Marynoshenko, O.P. & Chepur, M.L. (2015). Unmanned aerial vehicles for radiation reconnaissance and agricultural purpose. Chernobyl: Institute of Safety Problems of Nuclear Power Plants, 180 p. URL: <http://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/mono/khan-2015.pdf> (in Ukrainian)
6. STorm32 NT brushless gimbal controller. *olliw.eu*. URL: http://www.olliw.eu/storm32bgc-wiki/Main_Page
7. AS5600 Position Sensor. *ams.com*. URL: <https://ams.com/zh/as5600>
8. AS5600 12-Bit Programmable Contactless Potentiometer. *ams.com*. URL: https://ams.com/documents/20143/36005/AS5600_DS000365_5-00.pdf
9. Tstorm32. *olliw.eu*. URL: <http://www.olliw.eu/storm32bgc-wiki/File:Tstorm32-wiring-scheme-sketch.jpg>

Oleksandr Maidanyk, post-graduate, **Yelyzaveta Meleshko**, Prof., DSc., **Anatolii Matsui**, Prof., DSc., **Serhii Shymko**, post-graduate

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Research of Video Stabilization Methods and of the Construction of Video Camera Gyro-stabilized Suspensions for Drones

The goal of this paper was to research the construction of gyro-stabilized video camera suspensions for drones used for mechanical video stabilization during video monitoring or aerial exploration. The quality of the image received from the drone depends on the quality of the video stabilization, and therefore the amount of useful information received.

There are two main groups of video stabilization methods: optical-mechanical and digital stabilization. In order to maximize the quality of the image from the video camera of the unmanned aerial vehicle and to minimize the effects of camera shake, it is necessary to first perform mechanical-optical video stabilization, and then, if necessary, supplement it with digital stabilization. Only digital stabilization without mechano-optical is performed only for the purpose of making the drone cheaper. Optical-mechanical stabilization is usually based on gyroscope readings.

In this work, comparative research of the following methods of mechanical stabilization of video from drones was conducted: based on 3-axis and 2-axis gyro-stabilized suspensions with one microcontroller and based on gyro-stabilized suspensions with encoders and several microcontrollers. Mechanical stabilization, in addition to leveling the position of the camera when maneuvering the drone, allows you to turn the camera to a convenient viewing angle for the operator of a drone. 2-axis and 3-axis suspensions with one microcontroller have become the most popular because of their convenience and practicality. 1-axis suspensions or rigidly fixed cameras are used less often. Rigidly fixed cameras are used as course guides for orientation in space by the operator of a drone. That is, such a camera makes it possible to understand the deviation of the drone from the

horizon and to adjust the command to the operator for correct flight. Rigid cameras are also used on drones for drone racing competitions. A modular system based on magnetic encoders and several microcontrollers is just beginning to develop, but such a system has a number of advantages, although it is more complicated and expensive. The system provides high accuracy and reliability of stabilization. Each module of the system performs its task. In this way, the resources of microcontrollers are distributed. But its main feature is maintaining the position of the axis rotors relative to the encoder readings. This makes it possible to react very precisely to dynamic actions on the system during active maneuvering of the drone.

drone, unmanned aerial vehicle, gyro-stabilized video camera suspensions, digital video stabilization, mechanical video stabilization, video monitoring, aerial exploration

Одержано (Received) 05.11.2022

Прорецензовано (Reviewed) 17.11.2022

Прийнято до друку (Approved) 29.12.2022

АГРОІНЖЕНЕРІЯ

УДК 631.333:631:172

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.37-44](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.37-44)**А.С. Лімонт**, доц., канд. техн. наук*Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир, Україна**e-mail: andrespartak@ukr.net***З.А. Лімонт** *Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна*

Об'єм кузова машин для внесення твердих органічних добрив та їх габаритні розміри

Мета статті полягала в дослідженні і з'ясуванні кількісної зміни об'єму кузова машин для внесення твердих органічних добрив як результативної ознаки залежно від їх габаритних розмірів, як факторіальних ознак. Досліджена і зміна габаритних довжини, ширини та висоти машин залежно від об'єму їх кузова. Об'єм кузова машин та їх габаритна висота є одними з параметрів кузовних машин, які використовують для розрахунку навантажувального забезпечення технологічного процесу внесення твердих органічних добрив. Дослідження і з'ясування відповідних парних зв'язків параметрів машин здійснені з використанням методів кореляційно-регресійного аналізу та стандартних комп'ютерних програм.

Зміна об'єму кузова від габаритної довжини машини, об'єму кузова від висоти машин і навпаки габаритних довжини та висоти машин залежно їх об'єму описується прямими з додатними кутовими коефіцієнтами. Зміна об'єму кузова залежно від габаритної ширини машин також описується прямою з додатним кутовим коефіцієнтом, а зміну габаритної ширини машини залежно від об'єму кузова краще описати сповільнено зростаючою степеневою функцією. Опрацьовані модельні лінії прямолінійної регресії більшості результативних ознак на факторіальні і криволінійної регресії габаритної ширини машин на об'єм кузова.

кузовні машини для внесення твердих органічних добрив, довжина, ширина, висота, кузов, об'єм, кореляційний зв'язок

Постановка проблеми. Поряд з іншими агротехнічними прийомами і заходами з підвищення родючості ґрунтів значна роль належить внесенню твердих органічних добрив (ТОД). Серед технічних засобів, що їх використовують для внесення таких добрив, важливе місце займають кузовні машини. Їх застосовують в технологічних схемах удобрення ґрунту ТОД за прямоточною, перевалочною і перевантажувальною технологіями. До основних параметрів кузовних машин поряд з іншими відносять об'єм кузова та габаритні довжину, ширину і висоту.

Об'єм кузова машин для внесення ТОД є їх параметром, що визначає організацію навантажувальних робіт. Навантажування ТОД здійснюють переважно одним навантажувачем, вибір якого за геометричною місткістю ковша чи іншого робочого органа залежить від об'єму кузова машини для внесення ТОД. Тривалість навантажування добрив в кузовну машину і кількість навантажувальних циклів зумовлені об'ємом кузова. Об'єм кузова необхідно знати при розрахунках продуктивності машинно-тракторних агрегатів (МТА) на внесенні добрив та розрахунках тривалості виробничого циклу внесення добрив МТА. Об'єм кузова машин для внесення ТОД необхідно знати при розрахунках витрати робочого часу і паливно-мастильних матеріалів на внесенні добрив та енергомісткості відповідних МТА, що їх використовують у складі з кузовними машинами для удобрення ґрунту.

З'ясована зміна габаритної довжини кузовної машини залежно від об'єму кузова може бути використана в експлуатаційних розрахунках з визначення кінематичної довжини МТА, радіуса повороту та ширини поворотної смуги при розбивці поля на загінки. Знайдений кількісний зв'язок габаритної ширини кузовної машини і об'єму кузова може бути використаний при визначенні кінематичної ширини МТА за об'ємом кузова та розрахунках з організації використання агрегатів в полі і зокрема для визначення мінімальної ширини поворотної смуги у випадку її неудобрення.

Прогнозована зміна габаритної висоти кузовної машини залежно від об'єму кузова може бути використана при виборі навантажувача ТОД для використання його в складі комплексу машини, що здійснює удобрення ґрунту за відповідною технологічною схемою. За габаритною висотою машин доходять висновку щодо вибору навантажувача за його мінімальною навантажувальною висотою. Це сприятиме раціоналізації окремого навантажувального циклу, що уможливило мінімізацію його тривалості і є фактором економної витрати палива в розрахунку на тону навантаженого ТОД.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В колективній праці [1] та книзі [2] за редакцією Л.В. Погорілого крім іншого розглянуто відповідно технологічні основи проектування процесів і робочих органів та конструювання і розрахунок кузовних машин для внесення ТОД. В праці П.М. Заїки [3] та статті В.І. Мельника і О.А. Романаценка [4] висвітлені відповідно крім іншого передумови щодо визначення енергомісткості розкидальних робочих органів та енергетична оцінка комплексів машин для внесення ТОД. В статтях С.М. Герука і С.М. Хоменка [5] та С.І. Павленка [6] досліджено використання відповідно удосконаленого подріблювального барабана та двобарабанного навісного пристрою кузовних машин для внесення ТОД. Удосконалені робочі органи поліпшують якість і сприяють зниженню енергомісткості внесення добрив. Проте в аналізованих публікаціях [1–6] відсутня інформація щодо спроби з'ясування усталених співвідношень і пропорцій між окремими параметрами кузовних машин для внесення ТОД.

О.Я. Переходько і В.А. Ярошук [7] та І.П. Вітрух і С.Г. Білик [8] відповідно опрацьовували визначення потужності на привод розкидальних барабанів кузовних машин для внесення ТОД та оптимізували, крім іншого, місткість кузова машин для внесення органічних добрив.

Постановка завдання. Таким чином, мета роботи полягала в дослідженні і з'ясуванні кількісної зміни об'єму кузова машин для внесення ТОД залежно від габаритних довжини, ширини і висоти машин та зворотного зв'язку габаритних розмірів машин і об'єму їх кузова.

Об'єкт і методика дослідження. Об'єктом дослідження були 47 марок кузовних машин для внесення ТОД виробництва підприємствами на території колишнього Радянського Союзу та компаній "KUNN" і "Strautmann". Вихідні дані щодо досліджуваних параметрів кузовних машин вибирали із відповідних літературних джерел [9, 10, 11], а обробка зібраних статистичних даних здійснена з використанням методів кореляційно-регресійного аналізу [12] та стандартних комп'ютерних програм.

Для з'ясування характеру досліджуваних парних кореляційних зв'язків здійснювали вирівнювання експериментальних значень результативних ознак залежно від факторіальних рівняннями прямих та криволінійних залежностей: логарифмічних, степеневих, експоненціальних і показникових функцій та гіперболами. Для кожної з апроксимуючих залежностей визначали R^2 -коефіцієнт, за найбільшим значенням якого чи що наближається до цього значення вибирали одну із прогностичних функцій зміни результативної ознаки залежно від факторіальної.

Виклад основного матеріалу. Об'єм кузова аналізованих машин змінювався від 1,9 до 25,7 м³ за середнього арифметичного значення і середнього квадратичного відхилення відповідно 11,9 і 5,44 м³ та коефіцієнта варіації 45,7%. Габаритна довжина машин коливалася в межах 3600–11300 мм, їх ширина – від 1850 до 3530 мм, а габаритна висота приймала значення від 1650 до 6030 мм. Середні арифметичні значення габаритних довжини, ширини і висоти машин становили відповідно 7408 мм та 2533 і 2935 мм. Середні квадратичні відхилення емпіричних розподілів габаритних довжини, ширини і висоти становили відповідно 1359 мм, 322 і 1019 мм за коефіцієнтів варіації в тій же послідовності 18,3% та 12,7 і 34,7%. Найменш мінливою виявилася габаритна ширина машин.

Результати кореляційного-регресійного аналізу досліджуваних результативних і факторіальних ознак та оцінні показники відповідних рівнянь регресії наведені в табл. 1. Між досліджуваними результативними і факторіальними ознаками виявлений додатний кореляційний зв'язок з коефіцієнтами кореляції в межах від 0,523 до 0,893 за кореляційних відношень результативних ознак на факторіальні, що приймали значення від 0,611 до 0,899. Виявлений додатний кореляційний зв'язок між результативними і факторіальними ознаками свідчить, що із збільшенням факторіальних ознак результативні зростають.

Таблиця 1 – Результати кореляційно-регресійного аналізу і оцінні показники рівнянь регресії

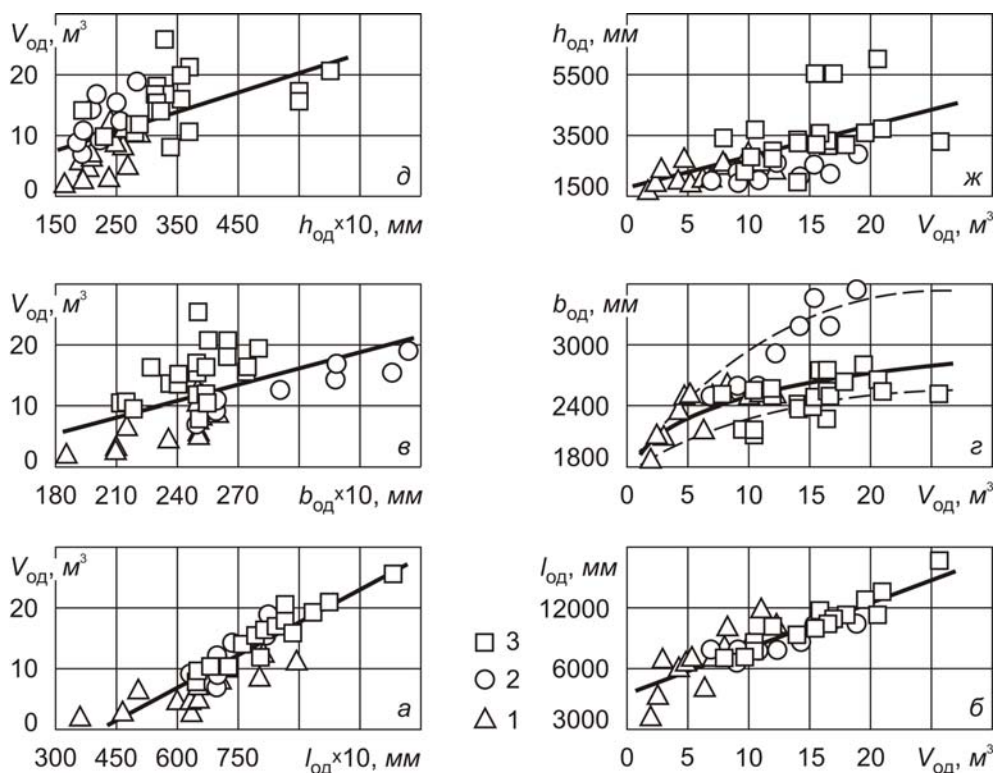
Результативна – факторіальна ознаки	Коефіцієнт кореляції	Кореляційне відношення	Прогностична функція (чисельник) і рівняння регресії (знаменник)	R ² -коефіцієнт	Помилка S _y рівняння регресії	Коефіцієнт детермінації k _d
Об'єм кузова V _{од} (м ³) – габаритна довжина l _{од} (мм) машини	0,893	0,899	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $V_{од} = 0,00357 l_{од} - 14,56$	0,798	2,45	0,808
Габаритна довжина l _{од} (мм) машини – об'єм кузова V _{од} (м ³)	0,893	0,899	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $l_{од} = 223,17 V_{од} + 4749,74$	0,798	612,3	0,808
Об'єм кузова V _{од} (м ³) – габаритна ширина b _{од} (мм) машини	0,523	0,611	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $V_{од} = 0,00884 b_{од} - 10,47$	0,274	4,64	0,373
Габаритна ширина b _{од} (мм) машини – об'єм кузова V _{од} (м ³)	0,523	0,611	Сповільнено зростаюча степенева функція $b_{од} = 1876,05 V_{од}^{0,125}$	0,373	255,0	0,373
Об'єм кузова V _{од} (м ³) – габаритна висота h _{од} (мм) машини	0,585	0,636	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $V_{од} = 0,00312 h_{од} + 2,76$	0,342	4,41	0,404
Габаритна висота h _{од} (мм) машини – об'єм кузова V _{од} (м ³)	0,585	0,636	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $h_{од} = 109,53 V_{од} + 1630,33$	0,342	826,6	0,404

Джерело: розроблено авторами

За R^2 -коефіцієнтом найкраще вирівнювання експериментальних значень $V_{\text{од}}$ залежно від $l_{\text{од}}$ забезпечувала апроксимація цих значень рівнянням логарифмічної функції ($R^2=0,405$). За вирівнювання експериментальних значень $V_{\text{од}}$ рівнянням увігнутої степеневі функції R^2 -коефіцієнт дорівнював 0,382, а за рівнянням прямої – 0,342. З власних міркувань вважаємо, що для зручності розрахунків з проектування кузовних машин та експлуатаційних розрахунків з організації їх використання в реальних умовах удобрення ґрунту доцільніше зміну $V_{\text{од}}$ залежно від $l_{\text{од}}$ описати рівнянням прямої. В табл. 1 наведено модельне рівняння прямолінійної регресії $V_{\text{од}}$ на $l_{\text{од}}$, що має додатний кутовий коефіцієнт $0,00357 \text{ м}^3/\text{мм}$. За цим коефіцієнтом із збільшенням габаритної довжини кузовної машини на 1 м за її зміни від 3600 (розкидач РУ-2000 ВАТ «Лідаагропромаш») до 11300 мм (розкидач PS3401 компанії «Strautmann») об'єм кузова машини зростає майже на $3,6 \text{ м}^3$.

Найкраще вирівнювання експериментальних значень $l_{\text{од}}$ за їх зміни залежно від $V_{\text{од}}$ забезпечувала апроксимація досліджуваної зміни рівнянням сповільнено зростаючої степеневі функції ($R^2=0,809$). За апроксимації досліджуваної зміни рівнянням прямої R^2 -коефіцієнт дорівнював 0,738. У графічному поданні лінійна зміна $l_{\text{од}}$ залежно від $V_{\text{од}}$ збігалася із кривою степеневі функції. В табл. 1 наведено модельне рівняння прямолінійної регресії $l_{\text{од}}$ на $V_{\text{од}}$. Кутовий коефіцієнт рівняння дорівнював $223,17 \text{ мм}/\text{м}^3$. Отже, збільшення об'єму кузова машин для внесення ТОД на 1 м^3 за його зміни від 1,9 (розкидач РУ-2000) до $25,7 \text{ м}^3$ (розкидач PS3401) супроводжується зростанням габаритної довжини машин майже на 225 мм.

Модельні лінії регресії результативних ознак на факторіальні наведені на рис. 1.



$V_{\text{од}}$ – об'єм кузова машин для внесення твердих органічних добрив (ТОД); $l_{\text{од}}$, $b_{\text{од}}$ і $h_{\text{од}}$ – габаритні відповідно довжини, ширини і висоти машин для внесення ТОД; 1 – параметри машин виробництва підприємствами на території колишнього Радянського Союзу; 2 – те ж компанії «KUHN»; 3 – компанії «Strautmann»

Рисунок 1 – Кореляційні поля об'єму кузова $V_{\text{од}}$ машин для внесення твердих органічних добрив і їх габаритних довжини $l_{\text{од}}$, ширини $b_{\text{од}}$ та висоти $h_{\text{од}}$, а також модельні лінії регресії $V_{\text{од}}$ на $l_{\text{од}}$ (а) і $l_{\text{од}}$ на $V_{\text{од}}$ (б), $V_{\text{од}}$ на $b_{\text{од}}$ (в) і $b_{\text{од}}$ на $V_{\text{од}}$ (г), $V_{\text{од}}$ на $h_{\text{од}}$ (д) і $h_{\text{од}}$ на $V_{\text{од}}$ (ж)

Джерело: розроблено авторами

Апроксимація зміни експериментальних значень $V_{од}$ залежно від $b_{од}$ рівнянням увігнутої степеневі функції вигляду

$$V_{од} = 0,8 \cdot 10^{-9} \cdot b_{од}^{2,981} \quad (1)$$

забезпечила найкраще в умовах дослідів вирівнювання $V_{од}$, за якого R^2 -коефіцієнт мав найбільше значення 0,373. За вирівнювання експериментальних значень $V_{од}$ рівнянням експоненти $R^2=0,327$, а логарифмічною функцією – $R^2=0,299$. Проте для практичних розрахунків успішніше зміну $V_{од}$ залежно від $b_{од}$ подати рівнянням прямої, за якого R^2 -коефіцієнт дорівнював 0,274. В табл. 1 наведено опрацьоване модельне рівняння прямої регресії $V_{од}$ на $b_{од}$ з додатним кутовим коефіцієнтом 0,00884 м³/мм. За значенням кутового коефіцієнта рівняння прямої із збільшенням габаритної ширини кузовної машини на 1 м за її зміни від 1850 мм (розкидач РУ-2000) до 2810 мм (розкидач VS2005 компанії “Strautmann”) об’єм кузова може зростати майже на 9 м³. Серед досліджуваних апроксимуючих залежностей зміни експериментальних значень $b_{од}$ залежно від $V_{од}$ найкраще вирівнювання значень габаритної ширини кузовних машин забезпечила сповільнено зростаюча степенева функція (R^2 -коефіцієнт дорівнював 0,373). Модельне рівняння криволінійної регресії $b_{од}$ на $V_{од}$ за сповільнено зростаючою степеневі функцією наведено в табл. 1. Графік зміни $b_{од}$ залежно від $V_{од}$ представлений на рисунку (позиція «г»). Крім усередненої кривої зміни $b_{од}$ залежно від $V_{од}$ на рисунку наведені нижня і верхня обмежувальні криві, які показані пунктирними лініями і визначають граничні відхилення досліджуваних параметрів кузовних машин від усередненої кривої. Нижня обмежувальна лінія охоплює, наприклад, параметри машин РУ-2000, ППУ-4, PS2401 і PS3401, об’єм кузова яких дорівнював відповідно 1,9 м³; 6,3; 21,0 і 25,7 м³ за габаритної ширини в тій же послідовності 1850 мм, 2150, 2550 і 2550 мм. Верхня обмежувальна лінія охоплює, наприклад, параметри машин ППУ-3,5, ПРТ-7А, KUHN-8132, KUHN-1150, KUHN-8141, KUHN-1159 і KUHN-8150, габаритна ширина яких дорівнювала відповідно 2100 мм, 2500, 2000, 3175, 3450, 3175 і 3530 мм.

Однією із властивостей сповільнено зростаючої степеневі функції є те, що із збільшенням аргумента функція зростає і прямує до відповідного граничного значення. Найбільше граничне значення габаритної ширини кузовних машин можна визначити за асимптотою рівняння гіперболи. Рівняння гіперболічної зміни $b_{од}$ залежно від $V_{од}$ має вигляд

$$b_{од} = 2745,6 - 1791,03 / V_{од} \quad \text{при} \quad R^2 = 0,331 . \quad (2)$$

В рівнянні (2) вільний член, що дорівнює 2745 мм, є його асимптотою і визначає граничну габаритну ширину кузовних машин. Така чи близька до цього габаритна ширина розкидачів VS2403 і VS1205 та VS2005 виробництва компанією “Strautmann”, що мають габаритну ширину відповідно 2750 мм і 2750 та 2810 мм. Розкидач 8132 компанії “KUHN” має габаритну ширину 2900 мм, а розкидачі МТТ-Ф-13 і МТТ-Ф-19 («Могилевсельмаш») мали габаритну ширину відповідно 2800 і 2850 мм.

Якщо зміну $b_{од}$ залежно від $V_{од}$ описати рівнянням прямої регресії з додатним кутовим коефіцієнтом ($R^2=0,274$), то за його значенням із збільшенням об’єму кузова на 1 м³ габаритна ширина кузовної машини зростає на 31 мм.

Дослідження кількісної зміни експериментальних значень $V_{од}$ залежно від $h_{од}$ показали, що за їх апроксимації рівнянням випуклої логарифмічної функції вигляду

$$V_{\text{од}} = 11,225 \ln h_{\text{од}} - 77,16 \quad (3)$$

R^2 -коефіцієнт дорівнював 0,405, а за їх вирівнювання увігнутою степеневою функцією

$$V_{\text{од}} = 0,000768 h_{\text{од}}^{1,198} \quad (4)$$

R^2 -коефіцієнт приймав значення 0,382.

Пропонуємо зміну $V_{\text{од}}$ залежно від $h_{\text{од}}$ визначати за рівнянням прямолінійної регресії з додатним кутовим коефіцієнтом $0,00312 \text{ м}^3/\text{мм}$ ($R^2=0,342$). Модельне рівняння прямолінійної регресії $V_{\text{од}}$ на $h_{\text{од}}$ наведене в табл. 1. За значенням кутового коефіцієнта рівняння прямої збільшення габаритної висоти кузовних машин на 1 м за її зміни від 1650 мм (розкидач РУ-2000) до 6030 мм (розкидач VS-2003 компанії “Strautmann”) прогнозовано супроводжується зростанням об’єму кузова на дещо більше, ніж 3 м^3 .

Якщо зміну експериментальних значень $h_{\text{од}}$ залежно від $V_{\text{од}}$ апроксимувати рівнянням прискорено зростаючої експоненти або сповільнено зростаючої степеневої функції, то за такого вирівнювання R^2 -коефіцієнти дорівнюють відповідно 0,404 і 0,382. Знову ж таки вважаємо доцільнішим для здійснення відповідних розрахунків зміну $h_{\text{од}}$ залежно від $V_{\text{од}}$ описати рівнянням прямолінійної регресії з додатним кутовим коефіцієнтом $109,53 \text{ мм}/\text{м}^3$ ($R^2=0,342$). Модельне рівняння прямолінійної регресії $h_{\text{од}}$ на $V_{\text{од}}$ наведене в табл. 1. За кутовим коефіцієнтом рівняння прямої збільшення об’єму кузова на 1 м^3 в межах його зміни від 1,9 до $25,7 \text{ м}^3$ прогнозовано супроводжується зростанням габаритної висоти машин майже на 110 мм.

Графіки зміни досліджуваних результативних ознак залежно від факторіальних наведені на рис. 1. Помилки рівнянь регресії значно менші середніх арифметичних значень емпіричних розподілів досліджуваних результативних ознак. В рівняннях зміни об’єму кузова їх помилки коливалися в межах $2,45\text{--}4,64 \text{ м}^3$. Помилки рівнянь регресії зміни габаритних довжини, ширини і висоти машин дорівнювали відповідно 612,3 мм та 255,0 і 826,6 мм.

За розрахованими коефіцієнтами детермінації варіація габаритних довжини, ширини і висоти кузовних машин відповідно на 81% та 37 і 40% причинно зумовлює і визначає варіювання об’єму кузова цих машин. Решту непоясненої дисперсії зумовлює вплив інших випадкових факторів, які не розглядали в цьому дослідженні.

Висновки. Опрацьовані рівняння прямолінійної регресії об’єму кузова машин для внесення твердих органічних добрив на їх габаритні довжину, ширину і висоту та криволінійної регресії за степеневою функцією габаритної ширини машин на об’єм кузова можуть бути використані при проектуванні кузовних машин для внесення твердих органічних добрив та розрахунках і визначенні окремих параметрів машин.

Перспективи подальших розвідок на нашу думку варто спрямувати на дослідження і з’ясування якісно-кількісних зв’язків між споживаною потужністю на привод робочих органів кузовних машин для внесення ТОД і пропускною спроможністю цих машин.

Список літератури

1. Марченко Н.М., Личман Г.И., Шебалкин А.Е. Механизация внесения органических удобрений (Технологические основы проектирования процессов и рабочих органов). Москва: Агропромиздат, 1990. 207 с.
2. Машины и оборудование для производства и внесения органических удобрений: конструирование и расчет / Линник Н.К. и др.; под ред. Л.В. Погорелого. Киев: Техника, 1992. 103 с.

3. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин: машини для приготування і внесення добрив. Харків: Око, 2002. Т. 1. Ч. 3. 352 с.
4. Мельник В.І., Романашенко О.А. Енергетична оцінка комплексів машин при внесенні добрив. *Інженерія природокористування: наук. журн. / засн.: Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка*. 2016. № 1 (5). С. 118–121.
5. Герук С.М., Хоменко С.М. Результати лабораторно-польових досліджень машини для внесення твердих органічних добрив. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Механізація сільськогосподарського виробництва*. 2010. Вип. 93. Т. 2. С. 141–149.
6. Павленко С.І. Експериментальні дослідження показників роботи розкидача органічних добрив ПРТ-10 з двобарабанным навісним пристроєм. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів: наук. журн. / засн.: Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка*. 2018. № 14. С. 156–164.
7. Переходько О.Я., Ярошук В.А. Обґрунтування раціональної ширини внесення твердих органічних добрив кузовними розкидачами. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 1992. Вип. 75. С. 70–74.
8. Вітрух І.П., Білик С.Г. Деякі системні аспекти оптимізації параметрів транспортно-технологічних машин для внесення органічних та органо-мінеральних добрив. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2013. Вип. 43. Ч. 1. С. 231–240.
9. Клименко М. Система машин для внесення твердих та рідких органічних добрив. *Техніка АПК*. 2006. № 8. С. 21–23.
11. KUHN. Каталог техніки. 2018. 64 с.
12. В. Strautmann & Söhne GmbH & Co. KG. Проспекти розкидачів органічних добрив.
13. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: учеб. пособ. Москва: Изд-во Москов. ун-та., 1972. 292 с.

References

1. Marchenko, N.M., Lichman, G.I. & Shebalkin, A.E. (1990). *Mekhanizatsiya vneseniya organicheskikh udobreniy (Tekhnologicheskie osnovy proektirovaniya protsessov i rabochikh organov)* [Mechanization of applying organic fertilizers (Technological bases of designing processes and working bodies)]. Moskva: Agropromizdat [in Russian].
2. Linnik, N.K. et al. (1992). *Mashiny i oborudovanie dlya proizvodstva i vneseniya organicheskikh udobreniy: konstruirovaniye i raschet* [Machines and equipment for the production and application of organic fertilizers: design and calculation] . L.V. Pogorelogo (Ed.). Kiev: Tekhnika [in Russian].
3. Zaika, P.M. (2002). *Teoriia silskohospodarskykh mashyn: mashyny dlia pryhotuvannia i vnesennia dobryv* [Theory of agricultural machines: machines for preparing and applying fertilizers]. Kharkiv: Oco, Vol. 1, Part 3. 352 [in Ukrainian]
4. Melnyk, V.I. & Romanashenko, O.A. (2016). Enerhetychna otsinka kompleksiv mashyn pry vnesenni dobryv [Energy assessment of machine complexes during fertilizer application]. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia: nauk. zhurn. – Engineering of nature management: science. journal*, 1 (5), 118–121 [in Ukrainian].
5. Heruk, S.M. & Khomenko, S.M. (2010). Rezultaty laboratorno-polovykh doslidzhen mashyny dlia vnesennia tverdyykh orhanichnykh dobryv [The results of laboratory and field studies of the machine for applying solid organic fertilizers]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. Petra Vasylenka. Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva – Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Peter Vasylenko. Mechanization of agricultural production, Issue. 93, Vol. 2*, 141–149 [in Ukrainian].
6. Pavlenko, S.I. (2018). Eksperymentalni doslidzhennia pokaznykiv roboty rozkydacha orhanichnykh dobryv PRT-10 z dvobarabannym navisnym prystroiem [Experimental studies of performance indicators of the spreader of organic fertilizers PRT-10 with a two-drum attachment device]. *Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv: nauk. zhurn. – Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes: science. journal*, 14, 156–164 [in Ukrainian].
7. Perekhodko, O.Ya. & Yaroshchuk, V.A. (1992). Obgruntuвання ratsionalnoi shyryny vnesennia tverdyykh orhanichnykh dobryv kuzovnymy rozkydachamy [Justification of the rational width of application of solid organic fertilizers by body spreaders]. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva – Mechanization and electrification of agriculture, Issue 75*, 70–74 [in Ukrainian].
8. Vitruk, I.P. & Bilyk, S.H. (2013). Deiaki systemni aspekty optymizatsii parametriv transportno-

- tehnolohichnykh mashyn dlia vnesennia orhanichnykh ta orhano-mineralnykh dobryv [Some system aspects of optimizing the parameters of transport and technological machines for applying organic and organo-mineral fertilizers]. *Konstruivannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 43, Part 1, 231–240* [in Ukrainian].
9. Klymenko, M. (2006). Systema mashyn dlia vnesennia tverdykh ta ridkykh orhanichnykh dobryv [A system of machines for applying solid and liquid organic fertilizers.]. *Tekhnika APK – Machinery AIC, 8, 21–23* [in Ukrainian].
 10. KUHN. Kataloh tekhniky [Equipment catalog]. (2018). 64 [in Ukrainian].
 11. B. Strautmann & Söhne GmbH & Co. KG Prospekty rozkydachiv orhanichnykh dobryv [Prospectuses of spreaders of organic fertilizers]. [in Ukrainian].
 12. Dmitriev, E.A. (1972). Matematicheskaya statistika v pochvovedenii [*Mathematical statistics in soil science*]. Moskva: Izd-vo Moskov. un-ta [in Ukrainian].

Anatolij Limont, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Zhytomyr Agrotechnical Colledge, Zhytomyr, Ukraine

Zlata Limont, student

Dnipro National University named after Oles Honchar, the city of Dnipro, Ukraine

Body Volume of Solid Organic Fertilizer Application Machines and their Overall Dimensions

Along with other agronomic techniques and measures to increase soil fertility, a significant role belongs to the application of solid organic fertilizers. Among the technical means used to apply such fertilizers, an important place is occupied by body machines. The purpose of the article was to study and clarify the quantitative change in the volume of the body of such machines as a productive feature depending on their dimensions, as factorial features. The change of overall length, width and height of cars depending on the volume of their body is also investigated. The volume of the body of machines and their overall height are one of the parameters of body machines, which are used to calculate the load support of the technological process of solid organic fertilizers. Investigations and elucidation of the corresponding pairwise relationships of machine parameters were performed using correlation-regression analysis methods using standard computer programs.

The statistical reconciliation included 47 brands of body machines for the application of solid organic fertilizers produced by enterprises in the former Soviet Union, “KUHN” and “Strautmann”. Empirical distributions of the investigated parameters of body machines for application of solid organic fertilizers are processed. The range of variation of parameters, arithmetic mean values and standard deviations and coefficients of variation of empirical distributions of parameters of these machines are determined. Between the studied resultant and factorial traits, a positive correlation was found with correlation coefficients in the range from 0.523 to 0.893 with correlation ratios of the resultant traits to factorial ones, which took values from 0.611 to 0.899. The closest relationship was found between the volume of the body and the overall length of the cars.

The change in body volume from the overall length of the car, body volume from the height of the car and vice versa overall length and height of the car depending on their volume is described by straight lines with positive body coefficients. The change in body volume depending on the overall width of the machine is also described as a straight line with a positive angular factor, and the change in the overall width of the machine depending on the body volume is better described by a slowly increasing power function. The model lines of rectilinear regression of the majority of effective signs on factorial and curvilinear regression of overall width of cars on body volume are developed. If the last change is given by the equation of increasing hyperbola ($R^2 = 0.311$), as a partial case of slowly increasing power function, then the asymptote of the hyperbola can be determined with the estimated maximum overall width of body machines for solid organic fertilizers, which should be 2745 mm.

body machines for solid organic fertilizers, length, width, height, body, volume, correlation

Одержано (Received) 31.08.2022

Прорецензовано (Reviewed) 12.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 29.12.2022

АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.3:656.1

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.45-57](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.45-57)**В.В. Аулін**, проф., д-р техн. наук, **А.В. Гриньків**, ст. досл., канд. техн. наук,**С.В. Лисенко**, доц., канд. техн. наук, **Д.В. Голуб**, доц., канд. техн. наук,**О.М. Лівіцький**, ст. наук. співр., канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна**e-mail: aulinvv@gmail.com*

Підвищення ефективності використання транспортних машин у агропромисловому виробництві узгодженням їх експлуатаційних характеристик та умов функціонування

В даній роботі розглянуто питання підвищення ефективності використання транспортних машин у агропромисловому виробництві узгодженням їх експлуатаційних характеристик та умов функціонування. Запропоновано підхід узгодження експлуатаційних характеристик машин з умовами функціонування, який базується на структурній та імітаційних моделях системи "транспортна машина-умови її функціонування". Пропонується ітераційне рішення імітаційної моделі з пошуком оптимальних параметрів. В якості інтегрального критерію ефективності використання транспортної машини на підприємстві агропромислового виробництва взято питому витрату палива на здійснення транспортної роботи. Специфічність умов експлуатації транспортних машин запропоновано характеризувати коефіцієнтом узгодженості, який відображає вплив умов функціонування на питому витрату палив при транспортних роботах. Узгодження характеристик транспортних машин з умовами функціонування, обґрунтування їх оптимальних конструкційних параметрів, проводили підбором параметрів трансмісії, що забезпечують покращення умов частковим демпфіруванням коливань навантаження. Представлені результати параметрів демпфіруючого вузла трансмісії автомобіля КамАЗ-4308 для різних режимів руху. Для цих умов проведені базові, теоретичні, експериментальні оцінки коефіцієнта узгодженості, а також дано рекомендовані режими руху транспортних машин при вивезенні зернових від комбайна для автомобілів КамАЗ-4308 та тракторних агрегатів МТЗ-82+2ПТС4.

ефективність, транспортна машина, агропромислове виробництво, експлуатаційні характеристики, структурна модель, імітаційна модель, коефіцієнт узгодженості, трансмісія

Постановка проблеми. На транспортні роботи в агропромисловому виробництві (АПВ) припадає до 35% витрат праці, до 40% вартості механізованих робіт, і навіть до 50% витрат енергії. При цьому до 30% перевезень у АПВ здійснюється тракторними агрегатами, до 70% – автомобілями, серед яких основну частку займають автомобілі загального призначення, які не завжди пристосовані до характерних для сільського господарства умов функціонування [1]. З урахуванням проблематики цього дослідження всі ці транспортні засоби класифіковані як "транспортні машини" (ТМ). Насьогодні існує низка проблем, пов'язаних із парком ТМ у АПВ: 54% тракторів перебувають у експлуатації понад 10 років, показник зносу вантажних автомобілів становить 60%. Безпеченість тракторами становить 73%, а забезпеченість автотранспортом – 58% [2]. При цьому до 50% нової техніки не відповідає технічним умовам щодо експлуатаційних характеристик. Таким чином, актуальною є проблема раціонального використання наявної техніки у АПВ та

створення нових ТМ, з урахуванням вимог сільськогосподарського виробництва. Одним із комплексних шляхів вирішення цієї проблеми є обґрунтування оптимальних конструкційних параметрів та режимів роботи ТМ на базі удосконаленої методики узгодження характеристик ТЗ з умовами функціонування, з використанням імітаційного математичного моделювання. Існуючі методики узгодження показників ТМ у АПВ з умовами їх функціонування завжди достатньою мірою враховують складну структуру системи "транспортна машина-умови функціонування". У той же час існує добре розроблений програмний інструментарій для розробки математичних моделей, що недостатньо широко застосовується для розрахунку машин, що експлуатуються і обслуговуються на підприємствах АПВ. Тому створення інструментарію, здатного охопити широке коло завдань узгодження параметрів ТМ з умовами їх функціонування на основі досягнень математичного моделювання є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сільськогосподарські роботи мають сезонний характер [3], а тому використання ТМ відбувається за обмеженого часу. Зі збільшенням розміру підприємств АПВ потрібні машини великої продуктивності, щоб розв'язати поставлені перед ними завдання під час відносно короткого проміжку часу. На відміну від промислових машин, амортизація яких може проходити за тисячі годин, використання ТМ у АПВ повинні окупатися за сотні годин експлуатації. Втрата оптимальних термінів використання ТМ при збиранні врожаю приводить до значних збитків з урахуванням обмеженості цього терміну [4,5]. ТМ мають бути зроблені з великою надійністю і мати високу ефективність, а тому правильний вибір ТМ і управління ними є безумовно важливим для її виробників і споживачів.

Згідно досліджень американських вчених [6], порядок вибору ТМ та управління їх ефективністю на підприємствах АПВ безпосередньо залежить від необхідного об'єму робіт, характеристики машин та їх продуктивності. Спочатку треба знати об'єм оброблювальних площ та види робіт, і визначити ефективність використання того або іншого типу машин для виконання конкретних видів робіт [7,8]. Потім ТМ підбираються за тяговими та показниками потужності. За цими показниками існують тільки мінімальні обмеження: з необхідним об'ємом робіт, наприклад, можуть справлятися трактори з більш потужними агрегатами, а їх використання в АПВ вимагає детального техніко-економічного обґрунтування [9,10]. Воно може бути зроблено на основі визначення повної вартості експлуатації машин, яка включає вартість використання і керування технічним станом машин [11-13].

При використанні ТМ на підприємствах АПВ основні витрати йдуть на паливо і оливу, технічне обслуговування і ремонт. Ці витрати корелюють з їх технічним станом [14,15]. Аналіз публікацій у цьому напрямку свідчать про те, що їх лінійне зростання при експлуатації не зовсім відповідає дійсності. Про це свідчать роботи [16,17] в яких йде мова про нелінійний характер зростання цих витрат. Окрім цього важливим чинником, що впливає на вартість використання машини, є її здатність виконувати необхідний об'єм робіт у встановленні терміни, що пов'язане з особливостями АПВ. Витрати при несвоєчасному виконанні робіт, можуть бути значними, що різко знижує ефективність використання малих машин, незважаючи на їх низьку вартість і експлуатаційні витрати.

Постановка завдання. Метою даної роботи є підвищення використання ТМ у АПВ на основі структурної та імітаційної моделей узгодженням конструктивних і експлуатаційних характеристик ТМ з умовами їх функціонування.

Виклад основного матеріалу. В роботі запропоновано підхід узгодження експлуатаційних характеристик ТМ з умовами функціонування, який базується на

структурній та імітаційній моделях досліджуваних систем "транспортна машина-умови її функціонування". Структура імітаційної моделі визначається структурою реальної ТМ, її експлуатаційними характеристиками: векторами вхідних впливів $\vec{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n\}$ і вихідних показників $\vec{Y} = \{y_1, y_2, \dots, y_{n-1}, y_n\}$.

Систему "транспортна машина-умови її функціонування" представлено у вигляді блок-схеми, в якій конкретизовано умови функціонування ТМ та її конструкційні і експлуатаційні характеристики, які введено в блок-схему узгодження характеристик ТМ з умовами функціонування представлено на рис.1. Відображено процес оптимізації, встановлюються параметри, що варіюються, і вводиться цільова функція. Після чого проводиться ітераційне рішення імітаційної моделі з пошуком оптимальних параметрів.

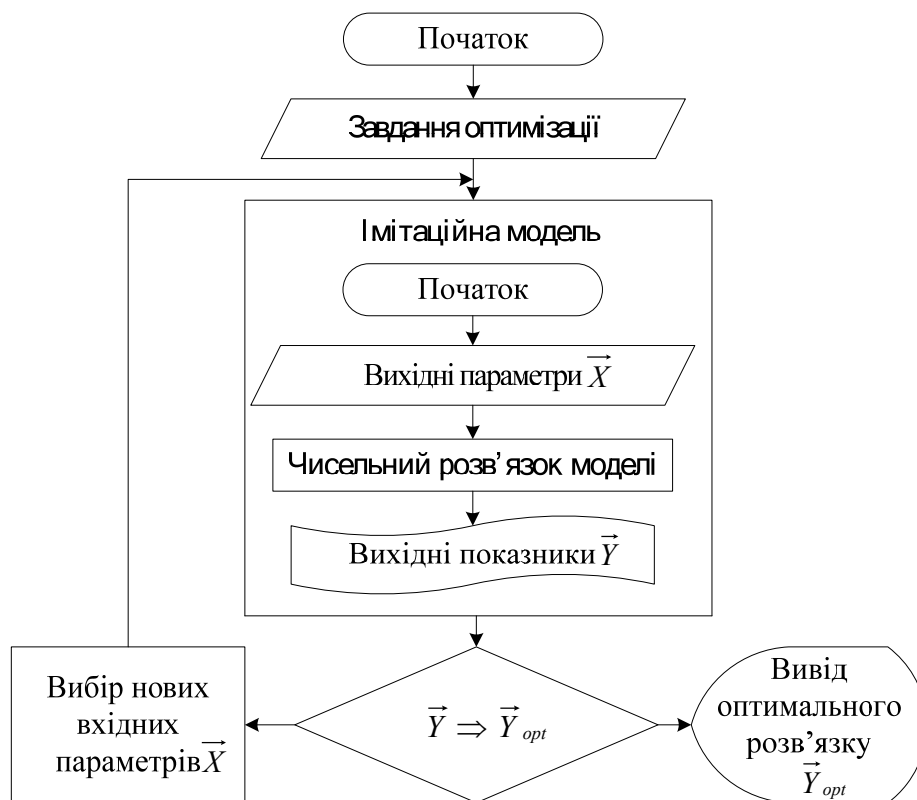


Рисунок 1 – Алгоритм розв'язання імітаційної та оптимізаційної моделей

Джерело: розроблено авторами

Розглянуто характеристики ТМ як динамічної системи, які є функціями перетворення вхідних параметрів у вихідні показники. Запропонована модель являє собою множину характеристик: погодинна витрата палива, потужність двигуна, крутний момент, експлуатаційна швидкість ТМ і т.д. В якості інтегрального критерію ефективності використання ТМ у підприємстві АПВ взято питому витрату палива на здійснення транспортної роботи (кг/100 т.км). Критерій пов'язує між собою дві важливі характеристики ТМ – погодинну витрату палива й продуктивність. За умови відсутності зміни зовнішнього навантаження погодинна витрата палива дорівнює:

$$B_{num} = 3,6k_{\kappa} g_{\kappa} \omega_{\kappa.в.}, \quad (1)$$

де $k_{\kappa} = i_{\delta} / (\pi \tau_{\delta})$, i_{δ} – число циліндрів двигуна;

τ_{δ} – тактність двигуна;

g_u – циклова подача, кг/цикл;

$\omega_{к.в.}$ – кутова швидкість колінчастого валу двигуна, рад/с.

Питома витрата палива істотно впливає на транспортну роботу і, з урахуванням відомих виразів для зв'язку циклової подачі палива з крутним моментом, має вигляд:

$$B_{num} = \frac{360 P_k V_{теор}}{\eta_e \eta_m H_u V_{факт} M_\epsilon}, \quad (2)$$

де M_ϵ – маса вантажу, що перевозиться, т;

η_e – ефективний ККД;

η_m – ККД трансмісії;

H_u – нижчий рівень теплоти згоряння палива, Дж/кг;

$V_{теор}$, $V_{факт}$ – теоретична та фактична швидкість ТМ, відповідно, км/год.;

P_k – дотична сила тяги, Н.

В умовах АПВ, з урахуванням (1) і (2) у режимах руху для одинично малої зміни навантаження зміна питомої витрати палива, дорівнює:

$$\Delta B_{num} = \frac{360 k_\kappa \Delta g_u \omega_{к.в.}}{\Delta V_{факт} M_\epsilon}, \quad (3)$$

де $\Delta g_u = g_{u0} + \bar{D}(\Delta z)$,

\bar{D} – вектор передавальних функцій ланок системи паливоподачі;

\bar{z} – вектор вхідних змінних.

У випадку $\bar{z} = (\alpha_{оупн}; h_{оупн}; \omega_{к.в.})$,

де $\alpha_{оупн}$ – положення органу управління подачею повітря (ОУПП);

$h_{оупн}$ – відносне положення органу управління подачею палива.

З урахуванням ієрархічної та блокової структури моделі циклова подача може бути визначена для дизелів з різним регулюванням. Опускаючи проміжні перетворення, величини другого порядку малості, вважаючи динамічний режим роботи ТМ як підсумування збільшень та зменшень навантажень, зміна середньої питомої витрати палива становить:

$$\Delta \bar{B}_{num} = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{360 k_\kappa}{t_\kappa} \sum_{t_0}^{t_\kappa} \frac{g_{u0} \Delta \omega_{к.в.} + D \omega_{к.в.0}(\Delta z)}{\Delta V_{факт} M_\epsilon}, \quad (4)$$

де (i, n) – кількість зменшень та збільшень навантажень у відповідності до кількості нерівностей на шляху ТМ, од.;

t_κ – час перебігу перехідного процесу, с.

Враховуючи специфічність умов експлуатації ТМ на підприємствах АПВ, введемо коефіцієнт узгодженості K_{num} , що відображає вплив умов функціонування ТМ на питому витрату палива при транспортних роботах:

$$K_{num} = (B_{num} + \Delta \bar{B}_{num}) / B_{num} = 1 + \Delta \bar{B}_{num} / B_{num}, \quad (5)$$

Коефіцієнт K_{num} враховує вплив характеристик двигуна, вантажу, що перевозиться та показника зовнішнього навантаження. З виразу (5) випливає, що у разі узгодженої роботи ТМ з умовами його функціонування $K_{num} \rightarrow \min$. З урахуванням попереднього, в математичній формі узгодження характеристик ТМ з умовами його

функціонування набуває вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{num} = 1 + \frac{1}{nB_{num}} \sum_i^n \frac{360k_{\kappa}}{t_{\kappa}} \sum_{t_0}^{t_{\kappa}} \frac{g_{y0} \Delta \omega_{\kappa.в.} + D \omega_{\kappa.в.0} (\Delta z)}{\Delta V_{факт} M_{\epsilon}}, \\ \frac{d(\Delta \omega_{\kappa.в.})}{dt} = \frac{\Delta M_{кр} - \Delta M_{зч}}{J_{\delta}}, \\ \frac{d(\Delta V_{факт})}{dt} = \frac{\varphi_{зч} \Delta N \pm (M_{\epsilon p} + M_{T3}) g \sin(\Delta \alpha) + f(M_{\epsilon p} + M_{T3}) g \cos(\Delta \alpha_n)}{M_{\epsilon} + M_{T3}}, \\ K_{num} \rightarrow \min \end{array} \right. \quad (6)$$

де J_{δ} – наведений момент інерції двигуна, кг·м²;

$M_{кр}$ – крутний момент, Нм;

$M_{зч}$ – приведений до двигуна момент на зчепленні, Нм;

$\varphi_{зч}$ – коефіцієнт зчеплення;

N – нормальна сила, Н;

M_{T3} – маса ТЗ, кг;

α_n – кут нахилу ТЗ, рад.

У виразі (6) $\Delta M_{кр}$ визначається наступним чином:

$$\Delta M_{кр} = \sum_{k=1}^m (\Delta M_{k.ін\delta} \pm \Delta M_{k.ін} - \Delta M_{k.м.п}), \quad (7)$$

де $k = \overline{1, m}$ – циліндри двигуна;

$M_{k.ін\delta}$, $M_{k.ін}$, $M_{k.м.п}$ – індикаторний момент, інерційний момент та момент механічних втрат k -го циліндра, Нм.

Розрахунок термомеханічного стану циліндрів двигуна базується на залежностях, що описують масову подачу повітря та палива в контрольні об'єми двигуна та його системи. Розрахунок моменту опору заснований на перетворенні моменту, з урахуванням характеристик трансмісії ТМ та зчеплення. При цьому динаміку трансмісії описує система виразів:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_i \dot{\omega}_i = \eta_i z_i M_{i-1} - M_{i+1} - k_i \theta_i - b_i (\omega_{i-1} - \omega_i), \\ \dot{\theta}_i = (\omega_{i-1} - \omega_i), \\ z_i = [i_1, i_2, \dots, i_x], \\ 0 < k_i \leq k_{ном}, \\ 0 < b_i \leq b_{ном}, \end{array} \right. \quad (8)$$

де J – момент інерції, кг·м²;

ω – кутова швидкість, рад/с;

z_i – передавальне число;

M – момент сили опору, Нм;

b – коефіцієнт демпфірування, Нмс/рад;

k – жорсткість, Нм/рад;

θ – кут закручування, рад; індекс i відноситься до i -го елемента трансмісії, $(i-1)$, $(i+1)$ – до попереднього та наступного елементів трансмісії, відповідно.

Алгоритм розрахунку сил опору на провідних колесах ТМ базується на відомих положеннях теорії трактора та автомобіля. Профіль поверхні руху розраховується з використанням апарату випадкових функцій на основі даних про ймовірні

характеристики типових умов руху ТМ у АПВ.

Математична модель погодження характеристик ТМ з умовами його функціонування була доповнена допоміжними залежностями, що визначають граничні умови роботи окремих підсистем ТМ, а також умови управління ними і переходів моделі з динамічного стану в інший стан. Графічне відображення імітаційної моделі у вигляді кривих функцій крутного моменту $M_{кр}(t)$, швидкості руху ТМ $V(t)$, питомої витрати палива $B_{num}(t)$, частоти обертання колінчатого валу $n_{кв}(t)$, відносного положення органу управління подачею палива $h_{оупн}(t)$ наведено на рис.2.

Графічне відображення динамічної зміни характеристик імітаційної моделі ТМ: $B_{num}(t)$, $V(t)$ і $\alpha(t)$ при збільшенні навантаження наведено на рис.3.

Розроблена імітаційна модель системи "ТМ-умови функціонування" дозволяє розраховувати характеристики ТМ та їх структурних елементів у часі для випадків часткових швидкісних і навантажувальних режимів та переходів між цими режимами при сумісному впливі зміни характеру навантаження та впливів оператора на органи управління машини.

Спільне рішення виразів (6)-(8), що відображують математичну модель системи "ТМ-умови функціонування" з її оптимізацією, дозволяє, варіюючи в даному випадку параметри паливоподачі, передавальні числа та конструкційні параметри трансмісії, а також інші параметри вектора \vec{X} вхідних дій ТМ та умов функціонування, дає можливість визначити оптимальні режими роботи ТМ за критерієм мінімізації питомої витрати палива K_{num} на транспортних роботах.

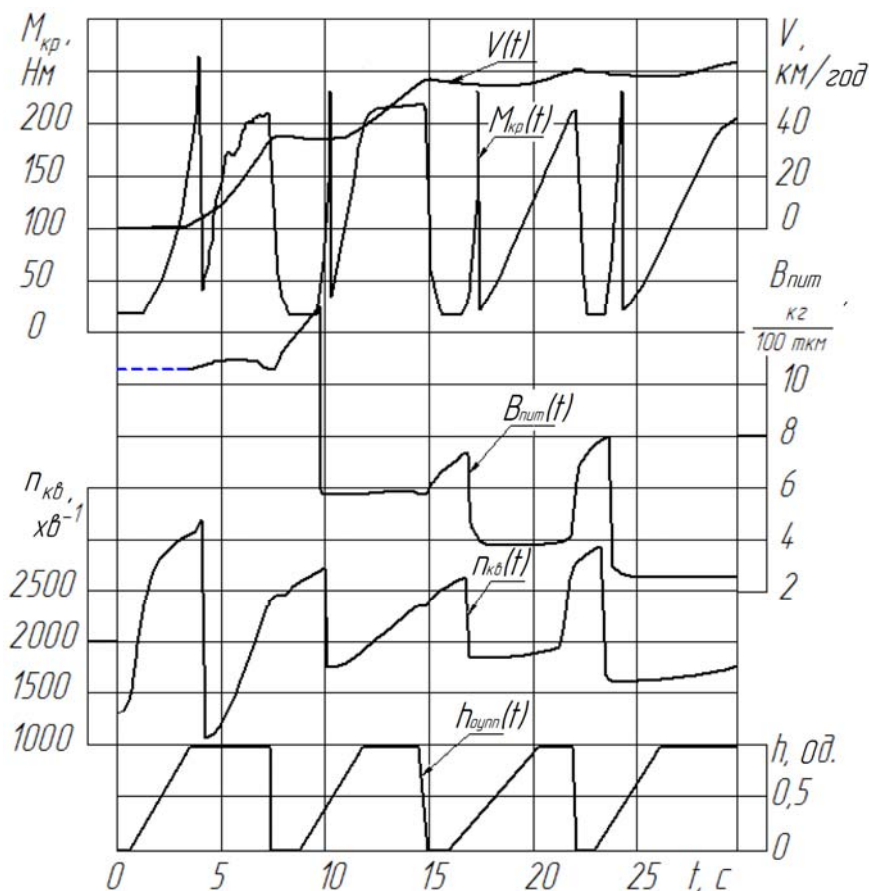


Рисунок 2 – Графічне відображення функцій характеристик імітаційного моделювання розгону Т3
Джерело: розроблено авторами

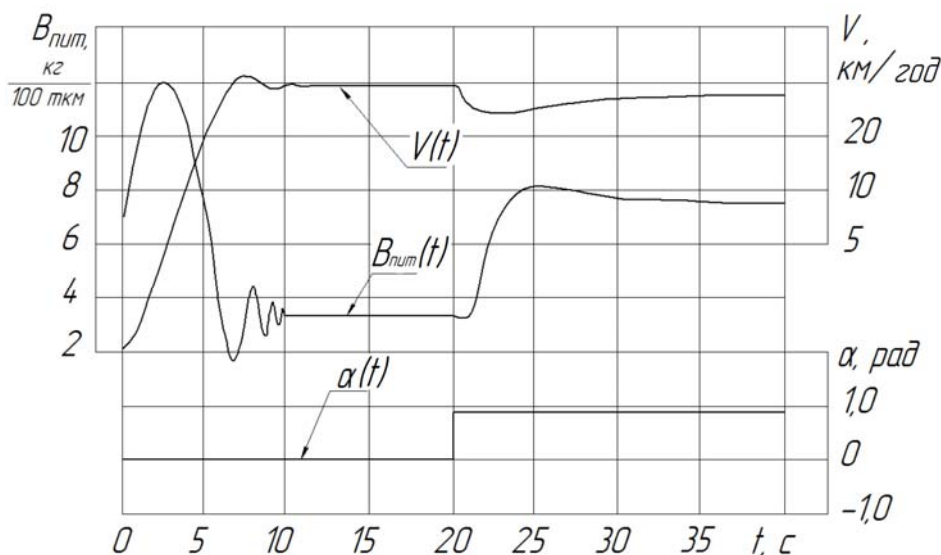
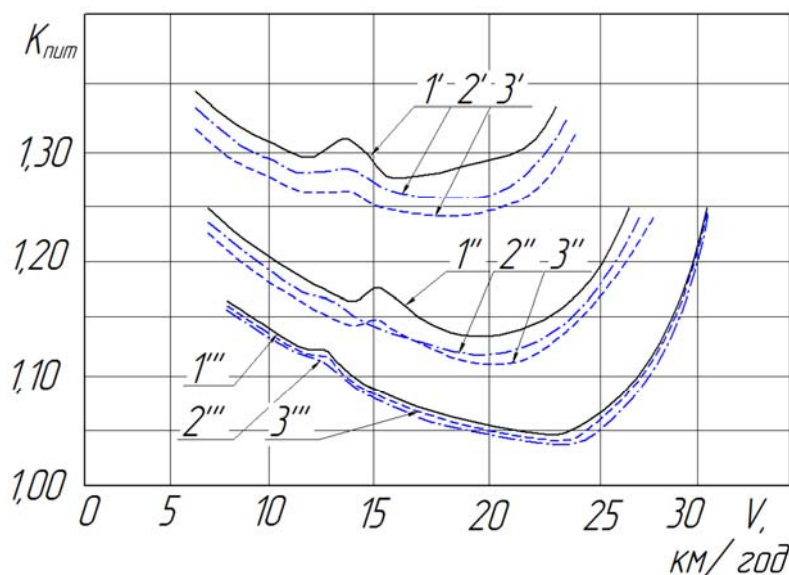


Рисунок 3 – Моделювання збільшення навантаження (зміна кута підйому дороги $\alpha(t)$) на ТМ
Джерело: розроблено авторами

Для двигунів з різними паливними системами зміна циклової подачі палива Δg_u визначалася як функція зміни положення дросельної заслінки (для бензинових ТМ), функція зміни положення важеля подачі палива (для дизельних ТМ) з урахуванням роботи компонентів системи автоматичного регулювання паливоподачі машини.

На рисунку 4 наведено приклад графічних залежностей K_{nut} від швидкості руху ТМ (автомобіль КамАЗ-4308), з яких можна визначити оптимальний швидкісний режим функціонування ТМ.



1 – при номінальних параметрах; 2 – з електронним керуванням ТМ; 3 – при демпфіруванні коливань моменту опору трансмісії; ' – при русі по стерні колосових; '' – під час руху ґрунтовою дорогою; ''' – при русі асфальтованою дорогою

Рисунок 4 – Зміна коефіцієнта питомої витрати палива K_{nut} від швидкісного режиму автомобіля КамАЗ-4308 на другій передачі

Джерело: розроблено авторами

Математична модель спільно з оптимізаційною на базі побудованого генетичного алгоритму була реалізована у вигляді використання пакетів прикладних програм на ПК. На основі отриманих даних розроблені рекомендації до конструкційних параметрів трансмісії ТМ, рекомендації операторам ТМ щодо управління системами паливо- та повітроподачі у ТМ для підтримки оптимальних швидкостей експлуатації. Для підтримки заданих режимів експлуатації ТМ у АПВ розроблено алгоритми управління органами регулювання паливоподачі двигунів. На відміну від поширеного методу пропорційно-інтегрально-диференціального регулювання запропоновані алгоритми, що базуються на теорії нечітких множин.

Дорожньо-польові дослідження проводили з використанням у якості ТМ, широко розповсюдженого на підприємствах АПВ автомобіля КамАЗ-4308. Проводився збір експериментальних даних оцінки адекватності математичної моделі та узгодження характеристик ТМ з умовами їх функціонування.

Статистична оцінка досліджуваних показників ТМ показала, що усереднені значення теоретичних та експериментальних даних для ТМ з дизелем автомобілів КамАЗ-4308 розходилися по крутному моменту, до 7,2%, за витратою повітря до 5,1%, за витратою палива до 3,6%, за частотою обертання колінчастого валу двигуна до 7,0%, за потужністю двигуна до 6,0%, за питомою витратою палива до 9,0%. Зазначене свідчить про хорошу збіжність теоретичних та експериментальних даних.

Узгодження характеристик ТМ з умовами функціонування, обґрунтуванням їх оптимальних конструкційних параметрів, проводили підбором параметрів трансмісії, що забезпечують покращення умов функціонування ТМ частковим демпфіруванням коливань навантаження. В якості характеристик демпфіруючих елементів взято крутильну жорсткість та коефіцієнт демпфірування. Результати досліджень представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Параметри демпфіруючого вузла трансмісії автомобіля КамАЗ-4308 для різних режимів руху

Тип поверхні руху	$M_{гр}$, кг	b , кНм/рад		c , Нмс/рад		B , кг/год		W , т-км/год							
		Базовий	Демпф.	Базовий	Демпф.	Базовий	Демпф.	Базовий	Демпф.						
Асфальт сухий	2500	27,53	20,51	5,72	2,93	11,56	11,19	145,35	150,80						
	5000									20,30	3,87	15,32	14,78	275,40	287,30
Ґрунтова дорога	2500									17,91	3,47	6,95	6,54	82,80	88,10
	5000									16,37	3,98	8,04	7,82	147,50	158,10
Поле по стерні	2500									15,90	3,50	5,62	5,38	51,50	55,10
	5000									14,57	4,20	6,05	5,74	92,55	99,40

Джерело: розроблено авторами

Для інших режимів раціональними параметрами є: жорсткість – 14,12...22,47 кНм/рад; коефіцієнт демпфірування – 7,22...2,04 Нмс/рад.

Проведені порівняльні дослідження коефіцієнта K_{num} для базових, теоретичних та експериментальних даних по демпфіруючому вузлі при русі автомобіля КамАЗ-4308 із завантаженням 5 т за різними типами поверхні руху представлені в табл. 2.

Визначено, що зниження величини K_{num} від базового варіанту для різних режимів склало від 3,1% до 14,2% для КамАЗ-4308 і від 5% до 18,5% – для МТЗ-82+2ПТС4 за рахунок переходу на режими з мінімальним питомим споживанням палива.

Таблиця 2 – Коефіцієнт узгодженості – вплив умов функціонування ТМ

Поверхня руху:	Коефіцієнт K_{num}		
	Базовий	Теоретичний	Експеримент
Асфальт	1,19	1,11	1,08
Ґрунтова укочена	1,27	1,17	1,21
Ґрунтова нерівна	1,38	1,20	1,23
Стерня колосових	1,44	1,29	1,35
Стерня кукурудзи (вздовж)	1,48	1,32	1,38
Стерня кукурудзи (поперек)	1,57	1,34	1,42
Бездоріжжя	1,61	1,40	1,46

Джерело: розроблено авторами

Експериментальні дослідження показали, що додаткове зниження K_{num} може становити від 1,1 до 10,5% для КамАЗ-4308 і від 2,3% до 14% – для МТЗ-82+2ПТС4 за рахунок зниження впливу перехідних процесів на витрату палива.

Для узгодження показників ТМ з умовами їх функціонування при оптимізації режимів роботи розроблено рекомендації ефективного використання ТМ на підприємствах АПВ у вигляді режимів руху ТМ під час вивезення зернових від комбайнів (табл.3).

Таблиця 3 – Рекомендовані режими руху ТМ при вивезенні зернових від комбайна за різних умов руху автомобілів КамАЗ-4308 та тракторних агрегатів МТЗ-82+2ПТС4

Поверхня руху	M_e , кг	$V_{баз}$, км/год	$V_{рек}$, км/год	Номер передачі	B_{num} , кг/(100 ткм)		
					Базовий	Рекоменд.	Експеримент
КамАЗ-4308							
Асфальт сухий	0	55...60	62	4	8,3...8,1	7,8	8,0
	5000	50...55	57	4			
Ґрунтова дорога	0	30...35	35	3	8,9...8,6	8,4	8,5
	5000	19...25	26	3			
Поле по стерні	0	20...26	24	3	11,0...10	10,1	9,8
	5000	15...19	19	3			
МТЗ-82+2ПТС4							
Асфальт сухий	0	30...34	34	9	10,0...9,5	9,5	9,7
	4000	12...16	17	8			
Ґрунтова дорога	0	15... 18	18	8	14,5...12,4	12,4	12,6
	4000	10...12	14	7			
Поле по стерні	0	13... 15	15	7	21,1...19,1	18,6	18,1
	4000	6...10	9	5			

Джерело: розроблено авторами

Визначено, що застосування рекомендованих конструкційних параметрів досліджуваних ТМ і умов їх використання дозволить, наприкладі, для автомобіля типу КамАЗ-4308 знизити витрату палива на одиницю транспортної роботи на 6,70...15,98%, а також підвищити продуктивність на 3,75...13,60%. Крім цього використання рекомендованих режимів руху ТМ дозволить знизити витрати пального на одиницю транспортної роботи на 3,61...8,18%.

Висновки.

1. Аналіз стану питання щодо ефективного використання ТМ у сільськогосподарському виробництві показав, що неузгодженість характеристик транспортних засобів з умовами АПВ призводить до перевитрати до 13...20% палива і зниження на 12...17% продуктивності транспортних машин. Виявлено, що машини здебільшого працюють на режимах, що не відповідають мінімальній питомій витраті палива, а існуючі методики розрахунку характеристик транспортних машин не враховують в повному обсязі жорсткої умови їх функціонування.

2. Запропонована методика узгоджує характеристики транспортних машин з умовами їх функціонування у АПВ на підставі коефіцієнта узгодженості з питомою витраті палива, що базується на системному та імітаційному підході з урахуванням конструктивних їх особливостей та характеру процесів, що відбуваються у ТМ.

3. Розроблено імітаційну модель системи "транспортна машина-умови функціонування", що дозволяє розраховувати характеристики транспортних засобів та зміни їх підсистем у часі для випадків часткових швидкісних та навантажувальних режимів та переходів між цими режимами при спільному впливі зміни характеру навантаження та впливі оператора на органи управління машини та проведенні дорожньо-польові дослідження функціонування транспортних машин в умовах АПВ.

4. Дано рекомендації до швидкісних режимів транспортних засобів – автомобіля КамАЗ-4308 та машино-тракторного агрегату МТЗ-82+2ПТС-4 – в умовах функціонування, характерних для АПВ. Забезпечується відповідно до рекомендацій зниження питомої витрати палива на 3,61...8,18% для автомобіля та на 5,03...14,41% для тракторного агрегату, а отримані алгоритми управління органами регулювання можуть бути адаптовані до сучасної техніки, що використовується у АПВ.

Список літератури

1. Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Роговський І. Л. Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ: НУБіП України, 2016. 360 с.
2. Сидорчук О. В., Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І., Михалюк М. А. Обґрунтування виробничої структури пунктів технічного обслуговування тракторів ХТЗ. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2013. № 17. С. 54-64.
3. Козаченко О.В. Проблеми та перспективи розвитку технічного сервісу машин АПК. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2014. Вип. 145. С. 3-7.
4. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лівіцький О.М. Підвищення надійності мобільної та автотранспортної техніки сільськогосподарського виробництва на основі діагностики їх стану. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с.-г. техніки*: матеріали X Міжнар. наук.-практичної конференції. Кіровоград: КНТУ, 2015. С.163-164.
5. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Жулай О.Ю. Стан проблеми підвищення ефективності технічного сервісу СГТ в нових умовах господарювання. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин*. 2007. Вип.37. С. 158-162.
6. Engineering Principles of Agricultural Machines, 2nd Edition Chapter 15 pp. 525-552 (Copyright 2006 American Society of Agricultural Engineers).
7. Полянский А.С. Повышение эксплуатационной надежности и эффективности использования сельскохозяйственной техники в машинно-технологических станциях (МТС) Харьковской области. *Сб. науч. тр. Х.: ХГТУСХ*, 2000. С.119-123.
8. Аулін В.В., Замота О.М. Економічне обґрунтування ефективності та рентабельності використання транспортних засобів на АТП. *Вісник інженерної академії України*. 2014. №3. С. 151-158.
9. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / В. Ю. Ільченко та ін.; за ред. В.Ю. Ільченка. К. : Урожай, 1993. 288 с.
10. Таценко О. В. Шляхи підвищення ефективності використання транспортних засобів в транспортних технологіях для аграрного виробництва на основі їх експлуатаційних властивостей. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матеріали III Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 01-26 листопада 2021 р.). Мелітополь:

- ТДАТУ, 2021. 473-477 с.
11. Dong Z, Zhao J, Duan J, Wang M and Wang H (2018). Research on agricultural machinery fault diagnosis system based on expert system. 2nd IEEE advanced information management,communicates,electronic and automation control conf. (IMCEC) (Xi'an: IEEE) pp 2057-2060.
 12. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. 370 с.
 13. Аулін В.В., Великодний Д.О. Методи формування системи транспортно-технологічного забезпечення в АПК. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення*: збірник наукових праць за матеріалами VIII-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 23-25 травня 2018р. Одеса: КУПРІСНКО СВ, 2018. С. 15-17.
 14. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної технологіями триботехнічного відновлення: монографія / Аулін В. В., Лисенко С. В., Кузик О. В. [та ін.]; за ред. В. В. Аулін. - Кропивницький : СПД ФО Лисенко В. Ф., 2016. 303 с.
 15. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. та ін. Принципи побудови та функціонування кіберфізичної системи технічного сервісу автотранспортної та мобільної сільськогосподарської техніки. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2020. № 22. С. 162-174.
 16. Аулін В.В., Замота О.М. Теоретичні передумови формування собівартості перевезень при різних системах технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів . *Вісник інженерної академії України*. 2013. №2. С. 162-165.
 17. Андрійчук В. Г. Економіка підприємств агропромислового комплексу : підручник . К. : КНЕУ, 2013. 779 с.

References

1. Voitiuk, V.D., Rublov, V.I. & Rohovskyi, I.L. (2016). *Systemni pryntsypy zabezpechennia yakosti tekhnichnoho servisu silskohospodarskoi tekhniki* [Systemic principles of ensuring the quality of technical service of agricultural machinery]. Kyiv: NUBiP Ukrainy [in Ukrainian].
2. Sydorhuk O.V., Kuzminskyi R.D., Barabash R.I., Mykhaliuk M.A. (2013). Obgruntuvannia vyrobnychoi struktury punktiv tekhnichnoho obsluhovuvannia traktoriv KhTZ [Substantiation of the production structure of maintenance points for HTZ tractors]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: ahroinzhenereni doslidzhennia – Bulletin of Lviv National Agrarian University: agro-engineering research*, 17, 54-64 [in Ukrainian].
3. Kozachenko O.V. (2014). Problemy ta perspektyvy rozvytku tekhnichnoho servisu mashyn APK [Problems and prospects for the development of technical service of agricultural machinery]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka – Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture*, Vol. 145, 3-7 [in Ukrainian].
4. Aulin V.V., Hrynkyv A.V., Livitskyi O.M. (2015). Pidvyshchennia nadiinosti mobilnoi ta avtotransportnoi tekhniki silskohospodarskoho vyrobnytstva na osnovi diahnostryky yikh stanu [Improving the reliability of mobile and motor vehicles of agricultural production based on the diagnosis of their condition]. *Problems of design, production and operation of agriculture techniques: X Mizhnar. nauk.-pratychna konferentsia – X International Scientific-Practical Conference* (pp. 163-164). Kirovohrad: KNTU [in Ukrainian].
5. Aulin, V.V., Livitskyi, O.M. & Zhulai, O.Iu. (2007). Stan problemy pidvyshchennia efektyvnosti tekhnichnoho servisu SHT v novykh umovakh hospodariuvannia [The state of the problem of increasing the efficiency of technical service of HRT in the new economic conditions]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia s/h mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery*. Kirovohrad:KNTU, Issue.37, 158-162 [in Ukrainian].
6. Engineering Principles of Agricultural Machines, 2nd Edition Chapter 15 pp. 525-552 (Copyright 2006 American Society of Agricultural Engineers). [in English].
7. Polyanskiy, A.S. (2000). Povyshenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti i effektivnosti ispolzovaniya selskohozyaystvennoy tekhniki v mashinno-technologicheskikh stantsiyah (MTS) Harkovskoy oblasti [Improving the operational reliability and efficiency of the use of agricultural machinery in machine-technological stations (MTS) of the Kharkiv region]. *Sb. nauch. tr. - Sat. scientific tr.* X.: HGTUSH, 119-123 [in Russian].

8. Aulin, V.V. & Zamota, O.M. (2014). Ekonomichne obgruntuvannya efektyvnosti ta rentabelnosti vykorystannia transportnykh zasobiv na ATP [Economic substantiation of the efficiency and profitability of using vehicles on the ATP]. *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy – Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*, 3, 151-158 [in Ukrainian].
9. Ilchenko, V.Yu., Karasov, P.I., Limont A.S. et al. (1993). *Ekspluatatsiia mashynno-traktornoho parku v ahrarnomu vyrobnytstvi [Operation of the machine and tractor fleet in agricultural production]*. V.Iu. Ilchenka (Ed.). Kyiv : Urozhai [in Ukrainian].
10. Tatsenko, O.V. (2021). Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti vykorystannia transportnykh zasobiv v transportnykh tekhnolohiiakh dlia ahrarnoho vyrobnytstva na osnovi yikh ekspluatatsiinykh vlastyvostei [Ways of increasing the efficiency of the use of vehicles in transport technologies for agricultural production based on their operational properties]. *Technical support of innovative technologies in the agro-industrial complex: International Scientific-Practical (Melitopol, 01-26 lystopada 2021 r.). – III Internet Conference Internet-Conference* (pp. 473-477). Melitopol: TDATU [in Ukrainian].
11. Dong, Z, Zhao, J, Duan, J, Wang, M & Wang, H. (2018). Research on agricultural machinery fault diagnosis system based on expert system. *2nd IEEE advanced information management, communicates, electronic and automation control conf. (IMCEC)* (Xi'an: IEEE). pp 2057-2060 [in English].
12. Aulin, V.V., Golub, D.V., Grinkiv, A.V. & Lisenko, S.V. (2017). *Metodologichni i teoretichni osnovi zabezpechennia ta pidvishennia nadiynosti funkcionuvannia avtomobilnih transportnih sistem: monografiya [Methodological and theoretical bases of maintenance and increase of reliability of functioning of automobile transport systems]*. Kropivnickij: Vidavnictvo TOV "KOD" [in Ukrainian].
13. Aulin, V.V. & Velykodnyi, D.O. (2018). Metody formuvannia cystemy transportno-tekhnolohichnoho zabezpechennia v APK [Methods of formation of the system of transport and technological support in the agro-industrial complex]. *Transport and logistics: problems and solutions: zbirnyk naukovykh prats za materialamy VIII-yi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - a collection of scientific papers on the materials of the VIII International Scientific and Practical Conference*, 23-25 travnia 2018r. Odesa: KUPRIENKO SV, 15-17 [in Ukrainian].
14. Aulin, V.V., Lysenko, S.V., Kuzyk, O.V. et al. (2016). *Trybofizychni osnovy pidvyshchennia nadiynosti mobilnoi silskohospodarskoi ta avtotransportnoi tekhnolohiiamy trybotekhnichnoho vidnovlennia [Tribophysical basics of increasing the reliability of mobile agricultural and motor vehicle technologies of tribotechnical recovery]*. V. V. Aulin (Ed.). Kropyvnytskyi : SPD FO Lysenko V. F. [in Ukrainian].
15. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V., Lysenko, S.V. et al. (2020). Pryntsypy pobudovy ta funktsionuvannia kiberfizychnoi systemy tekhnichnoho servisu avtotransportnoi ta mobilnoi silskohospodarskoi tekhniky [Principles of construction and functioning of cyberphysical system of technical service of motor transport and mobile agricultural machinery]. *Tekhnichniy servis ahropromysloвого, lisovoho ta transportnoho kompleksiv – Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes*. Kharkiv: KhNTUSH, 22, 162-174 [in Ukrainian].
16. Aulin, V.V. & Zamota, O.M. (2013). Teoretychni peredumovy formuvannia sobivartosti perevezen pry riznykh systemakh tekhnichnoho obsluhovuvannia i remontu transportnykh zasobiv [Theoretical prerequisites for the formation of the cost of transportation in different systems of maintenance and repair of vehicles]. *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy - Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*, 2, 162-165 [in Ukrainian].
17. Andriichuk, V.H. (2013). *Ekonomika pidpriemstv ahropromysloвого kompleksu : pidruchnyk [Economics of enterprises of the agro-industrial complex: textbook]*. Kyiv : KNEU [in Ukrainian].

Viktor Aulin, Prof., DSc., **Andrey Hrinkiv**, Senior Researcher, PhD tech. sci., **Serhii Lysenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmitro Holub**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Livitskyi**, Ph.D., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Increasing the Efficiency of the Use of Transport Vehicles in Agro-industrial Production by Harmonizing their Operational Characteristics and Operating Conditions

This paper examines the issue of increasing the efficiency of the use of transport vehicles in agro-industrial production by harmonizing their operational characteristics and operating conditions.

The approach of matching the operational characteristics of machines with the conditions of operation is proposed, which is based on structural and simulation models of the "transport machine-conditions of its operation" system. An iterative solution of the simulation model with the search for optimal parameters is proposed. The specific fuel consumption for carrying out transport work is taken as an integral criterion for the efficiency of the use of a transport vehicle at an agro-industrial production enterprise. The specificity of the operating conditions of transport vehicles is proposed to be characterized by the consistency coefficient, which reflects the influence of operating conditions on the specific fuel consumption during transport operations. This coefficient takes into account the influence of the characteristics of the engine, cargo and external load. The

corresponding system of equations is given as a mathematical model, which was supplemented with auxiliary dependencies that determine the boundary conditions of the operation of individual subsystems of transport machines, their control conditions and transitions of the model from a dynamic state based on a simulation model, the characteristics of machines and their structural elements in time are calculated for cases of partial high-speed and loading modes and transitions between them.

Matching the characteristics of transport vehicles with the operating conditions, justifying their optimal design parameters, was carried out by selecting the transmission parameters, which ensure the improvement of conditions by partial damping of load fluctuations. The results of the parameters of the damping assembly of the transmission of the KamAZ-4308 car for different driving modes are presented. For these conditions, basic, theoretical, and experimental evaluations of the consistency coefficient were carried out, as well as recommended driving modes of transport vehicles when removing grain from the КамАЗ-4308 combine for cars and МТЗ-82+2ПТЦ4 tractor units.

efficiency, transport machine, agricultural production, operational characteristics, structural model, simulation model, consistency coefficient, transmission

Одержано (Received) 19.11.2022

Прорецензовано (Reviewed) 29.11.2022

Прийнято до друку (Approved) 29.12.2022

УДК 519.8

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.57-67](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.57-67)

Л.А. Тарандушка, доц., д-р техн. наук, **Н.Л. Костьян**, доц., канд. техн. наук,

І.П. Тарандушка, ст. викл., **С.С. Курко**

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна

e-mail: tarandushka@ukr.net; 438knl@gmail.com; tarandushka@ukr.net, s.s.kurko.fktdm21@chdtu.edu.ua

Е.С. Клімов, доц., канд. техн. наук

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчуцьк, Україна

e-mail: edward.klimov@gmail.com

М.В. Мельниченко

Черкаський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України, м. Черкаси, Україна

e-mail: 24_kdtz@ukr.net

Методика визначення та розташування оптимальної кількості зарядних станцій для електротранспорту в населеному пункті

Досліджується проблема визначення оптимальної кількості та розташування зарядних станцій для електротранспорту в межах міста. Для вирішення цієї проблеми було визначено критерії, фактори та обмеження оптимального розміщення зарядних станцій. Так як задача включала в себе забезпечити комфортну експлуатацію електромобілів містянами до 2025 року, то була необхідність спрогнозувати кількість електромобілів, що будуть зареєстровані в місті Черкаси. Для цього було складено портрет потенційного споживача, визначено потенційні потужності ринку транспорту. Також було визначено ключові місця концентрації потенційних клієнтів, виконано підбір рівня зарядних станцій для електромобілів, що будуть забезпечувати їх експлуатацію в місті Черкаси та виконано розрахунок оптимальної кількості зарядних станцій для Південно-Західного району міста Черкаси.

електромобілі, зарядні станції, оптимальна кількість, розташування

Постановка проблеми. Використання електромобілів населенням країни є важливим і перспективним фактором без якого не можливо уявити розвиток транспортної галузі України. Для забезпечення комфортного використання електромобілів населенням необхідно передбачити оптимальну кількість та розташування електростанцій. При плануванні зарядної інфраструктури для електромобілів необхідно враховувати безліч факторів та обмежень. По перше, необхідно виходити з того, хто і для чого збирається встановити зарядні станції. Це може бути приватна організація – власник мережі зарядних станцій для електромобілів. Її метою, найімовірніше, є максимізація прибутку за мінімальних витрат. Така організація постарается розмістити станції в місцях максимального попиту, найбільш зручні для ймовірного користувача. Якщо ж розгортанням інфраструктури займаються муніципальні органи влади, то особи, приймаючі рішення повинні взяти до уваги логістичні та соціальні фактори. Шляхом встановлення зарядних станцій у відповідних місцях можна якоюсь мірою перенаправляти міський трафік, розвантажувати проблемні ділянки доріг, стимулювати розвиток окремих районів міста.

Постановка завдання. Метою роботи є виявлення методики визначення оптимальної кількості та розташування зарядних станцій для електромобілів в межах міста для забезпечення комфортного користування місцевими жителями.

Аналіз останніх досліджень публікацій. У різних джерелах, присвячених плануванню зарядної інфраструктури для електромобілів, згадується поняття «радіус обслуговування» зарядної станції [1]. Власне, під цим параметром мається на увазі просто величина пробігу транспортного засобу в кілометрах або відстань, яку може проїхати електромобіль після однієї зарядки протягом заданого часу. Припустимо, що у точках А та В (рис. 1), які розташовані на відстані 100 км, знаходяться зарядні станції. Електромобіль, маючи спочатку повний заряд, цілком може дістатися з пункту А до пункту В. Проте, найчастіше, власник транспортного засобу хоче дістатись деякого пункту С і повернутися назад. В такому випадку, фактична відстань пересування виходить більшою.



Рисунок 1 – Радіус обслуговування зарядної станції

Джерело: розроблено авторами

Крім того, відстань між вихідним та кінцевим пунктом не можна вважати лінійною, оскільки фактична траєкторія руху автомобіля не є прямолінійною.

Існує безліч математичних підходів щодо оптимального розміщення будь-яких об'єктів. В роботі [2] аналізуються вимоги до інфраструктури для розміщення електростанцій в житлових будинках для однієї сім'ї, багатоквартирних житлових будинках і комерційних будинках, що є вихідними даними для математичних моделей. В роботі [3] пропонується модель розташування зарядних станцій для електромобілів, що базується на основі моделі покриття існуючих АЗС як потенційних місць для визначення розподілу зарядних станцій та заміни акумуляторів. В роботі [4] для аналізу феномена інтеграції електромобілів з'явився підхід моделювання на основі агентів, в якості яких розглядаються власники транспортних засобів, виробники транспортних засобів, власники домоволодінь, політики, маркетологи. Найбільш

вдалим способом визначення оптимального розташування зарядних станцій для електромобілів є метод ієрархічної кластеризації [5]. Автори пропонують підхід, якому місто розбивається на кластери, а «точки попиту» – потрібне місце установки зарядної станції, визначаються виходячи з обсягу трафіку автомобілів. Для цього пропонується використовувати дані з камер спостереження за дорожнім рухом або якісь датчики/лічильники, встановлені, наприклад, під дорожнім полотном.

Виклад основного матеріалу. Істотним обмеженням для розташування зарядної станції є доступність точок підключення до електромережі. Трансформаторні підстанції повинні розташовуватися як якомога ближче до передбачуваного місця встановлення зарядної станції, що дозволить скоротити втрати в лінії живлення і знизить витрати на організацію підведення. Але у будь-якому випадку, головним обмеженням є вартість розгортання мережі зарядних станцій.

Кількість зарядних станцій або точок підключення, а також їх пропускна спроможність має бути достатньою для зарядки всіх наявних у місті електромобілів. Місткість батарей сучасних електромобілів становить 25-40 кВт * год, пробіг за повного заряду становить 120-180 км. Вважатимемо, що кожен електромобіль заряджається щодня, незважаючи на те, що його добовий пробіг може бути менше максимально можливого.

Таким чином, ставиться завдання: розмістити мінімально необхідну кількість зарядних станцій для електромобілів таким чином, щоб задовольнити попит, забезпечити фактичний радіус обслуговування при умови мінімальних витрат за їх установку.

Обмежимо область досліджень станціями повільного заряду, тобто виберемо станції, що працюють на змінному струмі та видають потужність близько 7 кВт. У такому режимі електромобіль може повністю зарядитись за 3-4 години. Власники можуть заряджати свої електромобілі у такому режимі вночі, коли автомобіль знаходиться на прибудинковій території або в гаражі, також у денний час, коли електромобіль знаходиться на парковці, обладнаній електрозарядним пристроєм.

Оскільки ми розглядаємо проблему розміщення станцій повільної зарядки, а не швидкої, то більш правильним буде виходити з кількості мешканців, в кожному районі. Припускаємо, що кількість необхідних точок для зарядки електромобілів пропорційна кількості населення району. Тоді, модифікований метод кластеризації полягатиме в наступному.

По-перше, карта міста розбивається на райони, у кожному з яких визначається кількість мешканців. Можна використовувати адміністративні райони міста, як це показано на рис. 2, вручну задавати координати великих житлових масивів або взагалі використовувати ортогональну сітку.



Рисунок 2 – Карта адміністративного поділу м. Черкаси

Джерело: розроблено авторами

Осередок сітки, або район міста і називається кластером. Потім визначають приблизну кількість мешканців у кожному кластері. Для центральних частин міста, де зосереджені адміністративні та офісні будівлі, можна взяти не кількість зареєстрованих мешканців, а кількість людей, що перебувають у будинках. Надалі, зарядні станції будуть розміщуватись з урахуванням кількості можливих споживачів. Цей показник буде ваговим коефіцієнтом кластера. Для відображення «ваги» кластера використовуємо коло, радіус якого пропорційний кількості потенційних споживачів у кластері, як це показано на рис. 3.



Рисунок 3 – Карта міста Черкаси з прогнозованими точками попиту

Джерело: розроблено авторами

Спочатку, як точка розташування зарядної станції може служити кожна житлова/адміністративна будівля, торговельний комплекс або паркування. Таких точок набагато більше, ніж кількість зарядних станцій у розпорядженні. Тому ці точки слід об'єднувати в кластери за критерієм кількості мешканців. Об'єднані точки утворюють кластер другого рівня, кілька об'єднаних кластерів другого рівня утворюють кластер третього рівня і так далі.

Центр кожного нового кластера вищого рівня розташовується в центрі мас точок чи кластерів, які він об'єднує. Тобто центр кластера зміщений у бік точок із більшою щільністю населення.

Таким чином, у міру підвищення рівня ієрархії на карті залишається все менше та менше кластерів. Це дозволить особам, які приймають рішення, вибрати найбільш підходящий рівень ієрархії з урахуванням кількості ресурсів у їхньому розпорядженні.



Рисунок 4 – Фрагмент мапи м. Черкаси з кластерами 2 та 3 рівнів

Джерело: розроблено авторами

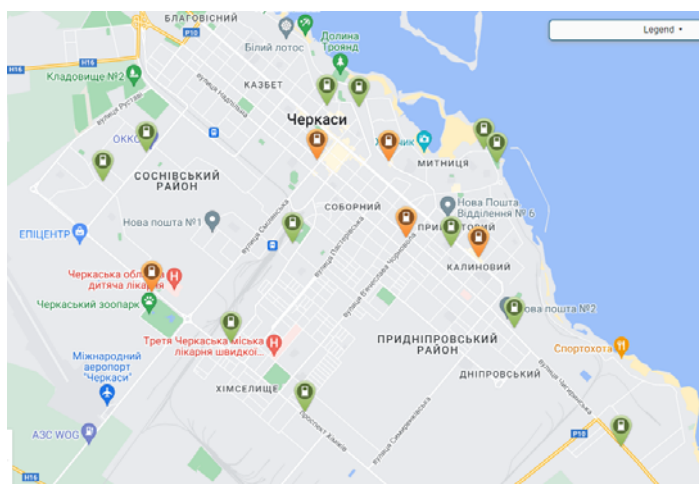


Рисунок 5 – Розташування існуючих зарядних станцій для електромобілів в місті Черкаси

Джерело: розроблено авторами

Вихідною інформацією для розробки алгоритму визначення розташування зарядних станцій є припущення про те, що кількість зарядних станцій завжди менше кількості можливих точок-кандидатів.

Серед кандидатів шукатимемо ту точку, в якій забезпечується максимум критерію оптимізації.

Як головний критерій вибору місця розташування зарядної станції приймемо суму відстаней до центрів кластерів з урахуванням ваги кожного з них. Тобто, одна і та ж відстань розцінюватиметься по-різному для районів із різною чисельністю.

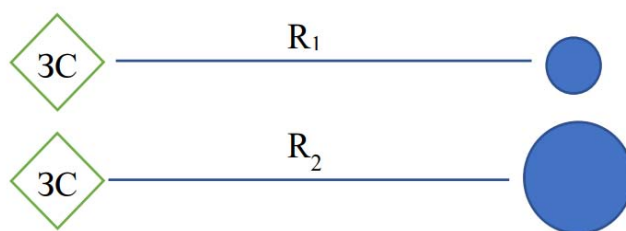


Рисунок 6 – Пояснення критерію оптимізації

Джерело: розроблено авторами

Критерій оптимізації:

$$Q = \sum_i R_i \cdot P_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

де i – номер кластера;

P_i – чисельність населення в i -му кластері.

Сформулюємо алгоритм розміщення зарядних станцій наступним чином.

1. Задаємося рівнем ієрархії, він визначає кількість та параметри кластерів у розгляді.

2. Визначаємо координати центрів кластерів та кандидатів на встановлення зарядних станцій для електромобілів.

3. За кожною точкою-кандидатом закріплюємо кластери, виходячи з радіусу обслуговування зарядної станції. Закріплені кластери викреслюються зі списку на поточній ітерації (щоб не потрапити до розрахунку іншого кандидата).

4. Коли всі кластери закріплені за кандидатами, розраховується критерій оптимізації.

5. Результат розрахунку (набір точок-кандидатів і критерій, що вийшов за результатами оптимізації) зберігається та точки-кандидати, які взяли участь на ітерації викреслюються зі списку.

6. Пункти 1-5 повторюють доти, доки не будуть перебрані всі кандидати.

Для прогнозування кількості електромобілів в регіоні, необхідно визначити основні ознаки власників електромобілів та частку населення регіону, що відповідають даним ознакам ($X_1 - X_6$).

Визначивши частку потенційних власників електромобілів для кожної функції в м. Черкаси, ми будемо використовувати наступну формулу для визначення парку електромобілів:

$$N_{\text{п.е.}} = \frac{N_{\text{н}}}{X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 \cdot X_5 \cdot X_6}, \quad (2)$$

де $N_{\text{н}}$ – кількість населення в м. Черкаси (282 тис.осіб), що приймається за 1;

X_1 – частка населення віком від 30-40 років, 0,14;

X_2 – частка чоловіків серед населення м. Черкаси, 0,43;

X_3 – частка одруженого населення, 0,32;

X_4 – частка населення з вищою освітою, 0,38;

X_5 – частка населення, що проживає в приватному будинку, 0,08;

X_6 – частка населення, що має дохід 20000 - 30000 грн., 0,15.

$$N_{\text{п.е.}} = \frac{1}{0,14 \cdot 0,43 \cdot 0,32 \cdot 0,38 \cdot 0,08 \cdot 0,15} = 11383 \text{ шт}$$

Таким чином, при належному рівні розвитку зарядної інфраструктури, постійно підлаштовуючись під поточні потреби власників, до 2025 року можна отримати парк електромобілів в кількості 11383 шт. Це означає, що портрету потенційного власника електромобіля відповідає 4,03 % населення міста.

Склавши портрет споживача, і визначивши потенційну ємність ринку електромобілів в місті Черкаси, необхідно повернутися до одного важливого питання щодо ключових точок концентрації потенційних власників електромобілів. Результат опитування показаний на рис. 7.



Рисунок 7 – Результати опитування, щодо зручності зарядки електромобілів

Джерело: розроблено авторами

Аналізуючи гістограму, можна зробити висновок, що найпопулярнішим місцем проведення часу є будинок, де проживає опитуваний, за яким слідує торгові центри і спортивні / фітнес-центри. Найменш популярними місцями є театри і кінотеатри. Графа «Інше» включає відповіді - в гаражі, на риболовлі, на дачній ділянці і т.п. - місця, де неможливо забезпечити споживача зарядною інфраструктурою.

Під вибором зарядних станцій ми розуміємо тип (рівень) зарядних станцій. Від цього залежить час зарядки акумулятора електромобіля. Тому необхідно визначити місця, де люди проводять достатньо часу на зарядку електромобіля з різним рівнем зарядних станцій.

Зарядні станції 3 рівня підходять для установки у всіх перерахованих місцях.

Немає норм щодо необхідної кількості зарядних станцій для певного парку. Пропонується адаптувати норми для АЗС, внести корективи щодо особливостей процесу технічної зарядки та кількості зарядів електромобілів за одиницю часу.

Відповідно до «Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень ДБН 360-92» [6] застосовуються такі норми, встановлені для необхідної кількості АЗС, а саме 1 паливно-роздавальний пістолет на 1200 автомобілів. Ми адаптуємо ці стандарти для електричних зарядних станцій [7].

Згідно з опитуванням, середньодобовий пробіг автомобілів складає 23,9 км/день, щотижневий пробіг складає 168 км.

Для того щоб оцінити необхідну кількість палива за тиждень, обираємо найпопулярніший автомобіль в Україні на 2021 рік. Ним виявився Volkswagen Polo з об'ємом двигуна 1.6 л. У заявлених характеристиках автомобіля витрата палива в комбінованому циклі становить 5,8 літра на 100 км.

Розглянемо електромобілі на прикладі найпопулярнішої марки в Україні - Nissan Leaf. Заявлений виробником пробіг становить 160 км. на одному заряді. Всі зарядні електростанції, що розташовуються в м. Черкаси є швидкозарядними, що забезпечують 80% заряду акумулятора за 30 хв. Тому необхідну кількість зарядок для одного електромобіля за тиждень можна розрахувати за наступною формулою [7]:

$$N_{з\text{ел}} = \frac{L_{\text{тиж}}}{L_{13} \cdot 0,8} = \frac{168}{160 \cdot 0,8} \approx 1,3, \quad (3)$$

де L_{13} – пробіг електромобіля за 1 зарядку, км.

$L_{\text{тиж}}$ – пробіг електромобіля за тиждень, км;

Необхідна кількість заправок автомобіля за тиждень:

$$N_{з\text{авт}} = \frac{L_{\text{тиж}}}{\frac{V_{\text{пал.бак}}}{N_{\text{витр}}} \cdot 100} = \frac{168}{\frac{55}{5,8} \cdot 100} \approx 0,2, \quad (4)$$

де $N_{\text{витр}}$ – норми витрат палива на 100км, л.

$V_{\text{пал.бак}}$ – об'єм паливного баку автомобіля;

Необхідно порівняти витрати часу на заправку автомобіля паливом та зарядки електромобіля.

За технічними даними процес заправки автомобіля паливом на заправці становить в середньому 5 хвилин.

Для визначення оптимального співвідношення зарядних станцій до електромобілів будемо використовувати наступну формулу:

$$X_{ел} = \frac{X_a}{\frac{T_{ел} \cdot N_{зел}}{T_a \cdot N_{завт}}}, \quad (5)$$

де X_a – нормативне значення кількості необхідних точок заправки автомобілів паливом;

$X_{ел}$ – нормативне значення кількості необхідних точок заправки електромобілів;

$T_{ел}$ – час заправки електромобіля, хв;

$N_{зел}$ – середня кількість зарядок електромобіля за тиждень;

T_a – час заправки автомобіля паливом, хв;

$N_{завт}$ – середня кількість заправок автомобіля за тиждень.

$$X_{ел} = \frac{1200}{\frac{30 \cdot 1,3}{5 \cdot 0,2}} \approx 31$$

Тобто, це означає, що норма не менше однієї електричної зарядної станції 3-го рівня на 31 електромобіль.

Як приклад розглянемо частину міста, щоб показати ефективність техніки. Надалі таким чином можна розглядати місто в цілому.

Для демонстрації методики був обраний Південно-Західний район міста Черкаси.

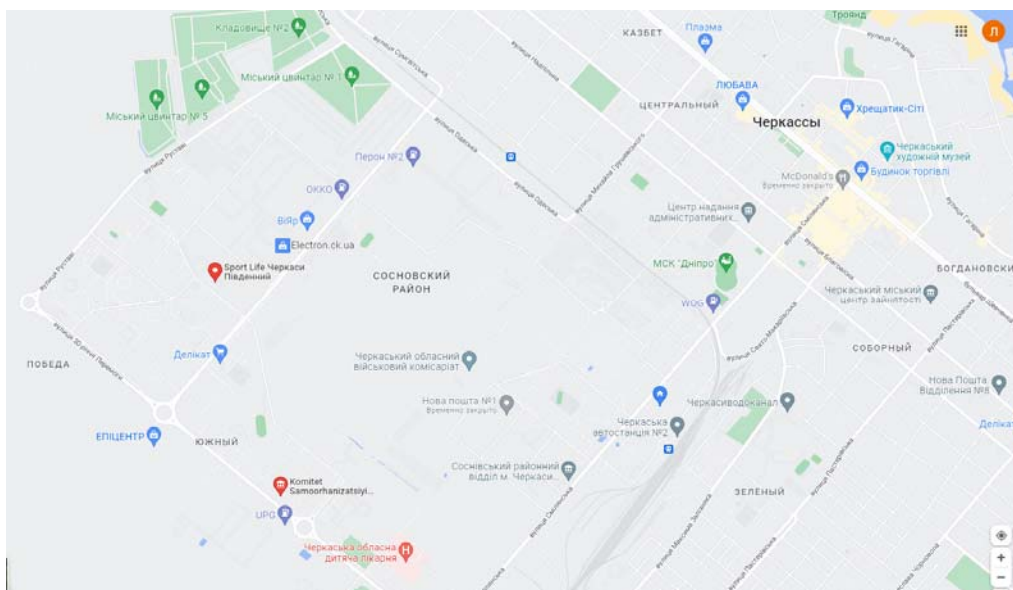


Рисунок 8 - Мапа Південно-Західного району міста Черкаси

Джерело: розроблено авторами

Населення Південно-Західного району міста Черкаси складає 55000 осіб. Так як 4,03 % населення відповідає портрету споживача електромобілів, то ми отримаємо прогнозований парк електромобілів 2216 шт. до кінця розрахункового періоду.

Для якісного забезпечення потреб населення необхідно мати в Південно-Західному районі міста 71 зарядне місце, які розташовані у раніше визначених місцях (табл. 1).

Таблиця 1 – Прогнозована структура мережі зарядних станцій для електромобілів в Південно-Західному районі м. Черкаси

Місце	Кількість
Житлові райони	30
Торгові центри	14
Фітнес-центри	10
Ресторани, кафе і т.п.	8
На відкритому повітрі	5
Театри, кінотеатри	4
Підсумок	71

Джерело: розроблено авторами

Мапа існуючих зарядних станцій міста Черкаси представлена на рис. 9

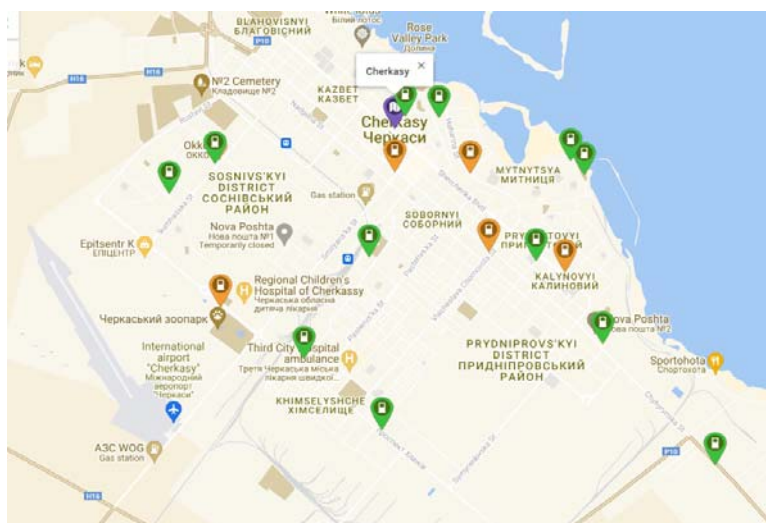


Рисунок 9 – Мапа існуючих зарядних станцій міста Черкаси

Джерело: розроблено авторами

Враховуючи необхідну кількість та бажані місця розташування зарядних станцій (відповідно до прогнозу кількості електромобілів в 2025 році) було розроблено мапу Південно-Західного району м. Черкаси

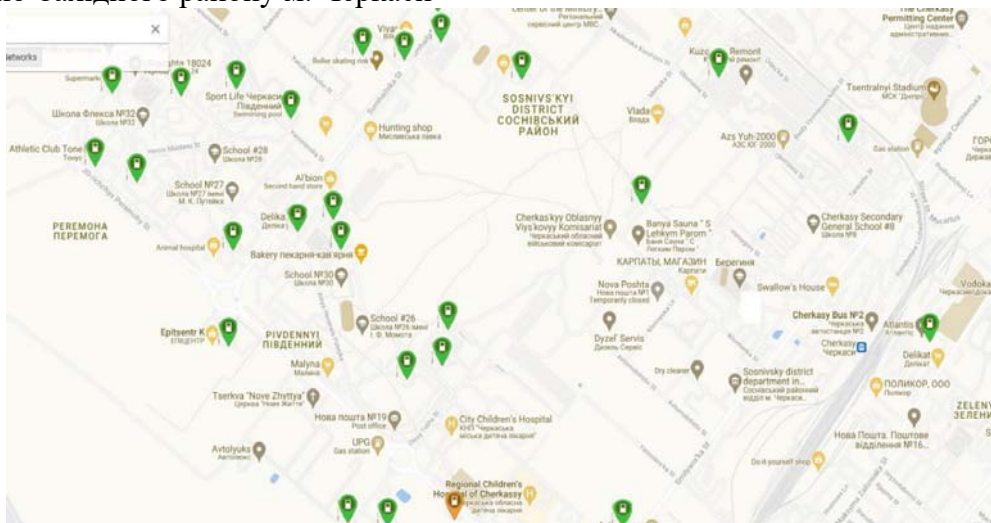


Рисунок 10 – Варіант розташування зарядних станцій Південно-Західного району м. Черкаси

Джерело: розроблено авторами

Оцінимо вартість встановлення необхідної кількості зарядних станцій.

Компанія AE Charge Point виготовляє домашні та комерційні зарядні станції для електромобілів з 2014 року. Дана продукція постачається в США, Канаду, Латинську Америку, Україну, Європу, Ізраїль та всі інші країни [8].

Проста зарядна станція, яка підходить для використання вдома чи на підприємстві та має роз'єми Type 2, Type1, GB, максимальною потужністю AC-43kW коштує від 399 €. Установка даної станції коштує ще 400 €.

Тому для облаштування 71 зарядного місця в Південно-Західному районі м. Черкаси необхідно витратити:

$$71 \cdot 8000 = 568000 \text{€}$$

При поступовій реалізації цього варіанту установки зарядних станцій протягом наступних 3 років річні витрати складуть близько 18933 €.

Висновки. Виконання проекту з забезпечення зарядними станціями для електромобілів вигідне як з точки зору матеріальних вкладень, так і з точки зору зайнятої корисної площі міських паркувальних місць.

Адміністрація міста Черкаси може бути зацікавлені в реалізації цього проекту в умовах програми розвитку міста. Це пов'язано з тим, що в результаті реалізації цього проекту очікується поліпшення екологічної ситуації міста, отримання прибутку від зарядки електромобілів і продажу нових електромобілів автосалонами.

Список літератури

1. Du A, Hu Z, Song Y, Wu JY. Distribution network planning considering layout optimization of electric vehicle charging stations. *Power system technology*. 2011; 2(11):35-42.
2. K. Morrow, D. Karner and J. Francfort, "Plug-in hybrid electric vehicle charging infrastructure review", US Department of Energy-Vehicle Technologies Program, 2008.
3. H. Gao, Y. Huo and Y. Luo, Optimization Model of the Public EV Charging Station Distribution in City, International Conference on Transportation Engineering. ASCE, 2009. pp. 3166-3171.
4. T. Sweda and D. Klabjan, An agent-based decision support system for electric vehicle charging infrastructure deployment. Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC). IEEE, 2011. pp. 1-5.
5. A. Ip, S. Fong, E.Liu. Optimization for allocating BEV recharging stations in urban areas by using hierarchical clustering. Electric and hybrid vehicles design fundamentals; CRC Press, Taylor & Francis e-Library, 2005.
6. ДБН 360-92. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень. Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1992. 142 с. (Державні будівельні норми України).
7. Тарандушка Л.А., Курко С., Тарандушка І.П. Методика розрахунку необхідної кількості зарядних станцій для електромобілів в м. Черкаси . Збірник тез доповідей студентської науково-практичної конференції ЧДТУ : 19–22 квітня 2022 р. [Електронний ресурс] . М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси : ЧДТУ, 2022. С. 95-96.
8. *Autoenterprise* : веб-сайт. URL: <https://autoenterprise.ua>. (дата звернення: 27.10.22).

References

1. Du, A. (2011). Distribution network planning considering layout optimization of electric vehicle charging stations. *Power system technology*, 2(11), Pp. 35-42 [in English].
2. Morrow, K. (2008). Plug-in hybrid electric vehicle charging infrastructure review. *US Department of Energy-Vehicle Technologies Program* [in English].
3. Gao, H. (2009). Optimization Model of the Public EV Charging Station Distribution in City. *International Conference on Transportation Engineering*, ASCE, Pp. 3166-3171 [in English].
4. Sweda, T. (2011). An agent-based decision support system for electric vehicle charging infrastructure deployment. *Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, IEEE, Pp. 1-5 [in English].

5. Ip, A. (2005). Optimization for allocating BEV recharging stations in urban areas by using hierarchical clustering. *Electric and hybrid vehicles design fundamentals*; CRC Press, Taylor & Francis e-Library [in English].
6. Mistobuduvannia. Planuvannia i zabudova miskykh i silskykh poselen [Urban planning. Planning and construction of urban and rural settlements] . (1992). *DBN 360-92*, Derzhavnyj komitet ukrainy u spravakh mistobuduvannia i arkhitektury [in Ukrainian].
7. Tarandushka L.A. (2022). Metodyka rozrakhunku neobkhidnoi kilkosti zariadnykh stantsii dlia elektromobiliv v m. Cherkasy [Methodology for calculating the required number of charging stations for electric cars in Cherkasy]. *Zbirnyk tez dopovidei studentskoi naukovo-praktychnoi konferentsii ChDTU (pp. 95-96)*. Cherkasy : ChDTU [in Ukrainian].
8. Autoenterprise : Website. *autoenterprise.ua*. Retrieved from <https://autoenterprise.ua/> [in Ukrainian].

Ludmyla Tarandushka, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Nataliia Kostian**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ivan Tarandushka**, Senior Lecturer, **Stepan Kurko**, student

Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

Eduard Klimov, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine

Maksym Melnychenko

Cherkasy scientific research forensic centre of MMIA of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

Method of Determining and Locating the Optimal Number of Charging Stations for Electric Transportation in Settlement

The problem of determining the optimal number and location of charging stations for electric transport within the settlement is being studied. To solve this problem, the criteria, factors and limitations of the optimal placement of charging stations were defined.

Since the task included ensuring the comfortable operation of electric cars by citizens until 2025, it was necessary to forecast the number of electric cars that will be registered in the town of Cherkasy. For this, a portrait of the potential consumer was drawn up, and the potential capacity of the transport market was determined. Also, the key points of concentration of potential customers were determined, the level of charging stations for electric vehicles that will ensure their operation in the town of Cherkasy was selected, and the calculation of the optimal number of charging stations for the South-Western district of Cherkasy was performed. Since there are no regulations regarding the required number of charging stations for a certain fleet, it was proposed to adapt the regulations for gas stations by making corrections regarding the features of the technical charging process and the number of electric vehicle charges per unit of time. With the help of the method of hierarchical clustering, demand points in charging stations for electric cars were determined and a map of their location was developed for the residents of the South-Western district of Cherkasy. The cost of this project was also calculated.

It can be concluded that the implementation of the project to provide charging stations for electric cars is profitable both from the point of view of material investments and from the point of view of the occupied useful area of town parking lots. The administration of Cherkasy may be interested in the implementation of this project under the terms of the city development program. This is due to the fact that the implementation of this project is expected to improve the town's environmental situation, generate profit from charging electric cars and sell new electric cars at car dealerships.

electric cars, charging stations, optimal number, location

Одержано (Received) 28.11.2022

Прорецензовано (Reviewed) 08.12.2022

Прийнято до друку (Approved) 29.12.2022

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

УДК 656.073

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.68-75](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.68-75)

І.О. Кузєв, ст. викл.

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
м.Кременчук, Україна**e-mail: Igor-kuzev@ukr.net*

Модель результативного ринку і технологія вантажних залізничних перевезень

Процеси лібералізації, спроба переходу залізничної галузі на нову модель ринку вільної конкуренції без відповідних змін складової моделі негативно позначаються на ефективності роботи залізничної галузі та на результативності ринку вантажного залізничного сервісу. Пропонується поглянути на проблему не з позицій зміни форми власності в галузі та формування ринку вільної конкуренції, а з позицій пошуку рівноваги технології роботи та моделі ринку вантажних залізничних перевезень, що застосовується. Дослідження ґрунтується на відомій концепції Industrial organization. Результативність ринку вантажних залізничних перевезень багато в чому залежить від технології створення залізничного вантажного сервісу. Пропонується сформулювати ринкову модель орієнтуючись не так на вигляд конкуренції, але в деяку гармонію технології вантажного залізничного сервісу та ринку, точніше рівноваги складових сервісного ринку. За результатами дослідження можуть бути сформульовані рекомендації щодо формування збалансованої моделі ринку вантажних залізничних перевезень та коригування цілей та існуючої моделі ринку.

поле ринку, учасник процесу, вантажні залізничні перевезення, технологія перевізного процесу

Постановка проблеми. Транспортна галузь та залізнична підгалузь не є винятком. Взаємодіючи з вирішенням проблем економічного вибору та прийняття рішень в умовах невизначеності, багатофакторності та багатозадачності, теорія та практика економіки галузевих ринків дозволяють раціонально та адекватно трактувати проблеми розвитку галузі, використовувати технологічні рішення, визначати стратегію розвитку та поведінки організації для досягнення кращих результатів, орієнтувати та мотивувати персонал тощо. У нашій країні залізничний транспорт, як відомо, був монополією, але в результаті структурних змін стався розподіл вантажних ресурсів (вагонів), точніше, їх передача у приватне володіння, внаслідок чого технологія, яка створювала сервіс, що задовольняє потреби у перевезеннях вантажів, стала втрачати ефективність. По суті створена в часи минулого століття технологія роботи залізничного транспорту втратила систему планування, транспортного виробництва та ефективні технології керування парком порожніх універсальних вагонів: «шахівку» та «регулювання».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Управління перевізним процесом зараз децентралізоване, інструментарію для управління перевізним процесом, що враховує ці зміни, не запропоновано і не створено, хоча необхідні ресурси та можливості для цього були і поки що залишаються доступними. Йдеться про створення дещо зміненої технології перевізного процесу, що реалізується за допомогою ІТ-рішень, яка дозволить керувати цим процесом в умовах децентралізації системи керування та переходу універсальних вагонів від одного власника до багатьох власників. Ця технологія є динамічною моделлю планування та реалізації перевізного

процесу (якусь «динамічну шахівницю», на базі якої і реалізується планування виробничих ресурсів, що забезпечують процес вантажних залізничних перевезень) за участю власника інфраструктури, перевізника, власників вантажних залізничних вагонів і власників вантажів (вантажовідправки вантажоодержувачів), в основі якої лежить та сама «шахівниця» та відповідність попиту на вантажні перевезення техніко-технологічним можливостям власника інфраструктури, перевізника та власників вантажних ресурсів. Внаслідок зміни моделі ринку та відсутності технологій, що враховують ці зміни, замість підвищення ефективності перевізної діяльності залізничного транспорту в частині вантажних перевезень було досягнуто зниження її ефективності, виникли труднощі у реалізації технологічного процесу перевезення вантажів залізничним транспортом [7].

Дослідження економіки галузевих ринків і, зокрема, ринку вантажоперевезень, ґрунтуються на спробах виміряти велику кількість базисних умов, насамперед: технології виробництва сервісу, переваги та поведінку споживача тощо. Однак у реальних умовах зібрати репрезентативні дані та дати їм однозначне тлумачення дуже важко, а здебільшого і просто неможливо. Про це Ф.М. Шерер та Д. Росс міркували у своїй роботі «Структура галузевих ринків» [1]. З того часу мало що змінилося на краще.

Залізнична галузь перебуває у поганому стані, технологія створення сервісу вантажних перевезень хоч і здатна забезпечувати реалізацію вантажних перевезень, але вкрай неефективна, що відбиває транспортна складова у ціні товарів, що перевозяться залізничним транспортом. У цьому дослідженні зроблено спробу визначити та запропонувати деякі зміни в реалізованій сьогодні моделі ринку вантажних залізничних перевезень [2].

У роботі використані фундаментальні праці: Tirole J., Ross D., Нагорний Е.В., Шраменко Н.Ю., Вінников В.В., Ломотько Д.В. [2,3,4,7,19] та ін., а також власний особистий досвід роботи на залізничному транспорті [18] та в консалтинговій діяльності в галузі менеджменту та логістики [16,17].

Постановка завдання. Мета – визначити модель результативного ринку вантажних залізничних перевезень, у якому залізнична галузь зможе показати максимальну ефективність. Методи роботи – експертна оцінка спроби зміни моделі ринку вантажних залізничних перевезень; аналіз причин розбалансування економічного механізму перевізної діяльності у сфері вантажних залізничних перевезень; спроба структурувати цілі результативного ринку вантажних залізничних перевезень.

Виклад основного матеріалу. Організація перевезення вантажів залізничним транспортом має певну специфіку на відміну інших галузей. Створюваний при цьому сервіс є масовим обслуговуванням споживачів за однією єдиною технологією організації перевізного процесу, крім того, інфраструктура, тяга, навантажувальні ресурси та забезпечують підрозділи є невід'ємною частиною технології виробництва вантажного залізничного сервісу, над ринком реалізується товар цього виробництва. Ринки монополії відповідають такій технології виробництва. Вкрай важко на таких ринках реалізувати функціонал двох власників процесів або двох процесів у рамках однієї технології. Проблема реформи, як мені здається, полягає в певному дисбалансі технології виробництва сервісу та моделі ринку. По суті, спроба вбудовування моделі ринку досконалої конкуренції в модель ринку природної монополії при цьому не змінюючи технологію виробництва. Ситуацію посилює побудову моделі ринку вантажних залізничних перевезень в розрізі з теорією галузевих ринкових структур (Industrial organization) [5,6] і не враховуючи специфіку залізничної галузі.

Ринок вантажних залізничних перевезень є полем, де реалізуються економічні відносини між власниками процесу залізничних перевезень (виробниками транспортних послуг (насамперед перевізниками), власниками транспортної інфраструктури, власниками рухомого складу) та споживачами транспортних послуг (вантажовласниками, вантажовідправниками, вантажовідправниками). Ринок вантажних залізничних перевезень – це балансує чи розбалансує механізм вантажного залізничного сервісу та попиту на вантажні залізничні перевезення.

Велике охоплення дослідження та значна кількість показників розмивають його, не дозволяючи сфокусуватися на головній меті. Фокусуючись на цілі дуже важливо визначитися з межами дослідження, у випадку із залізничною галуззю, це межі ринку вантажних залізничних сервісів прямих та інтегрованих в модальні сервіси вантажних залізничних перевезень [13]. Усе це лише ускладнило управління перевізним процесом на залізничному транспорті і відбилося на результативності ринку цього сервісу. Індикатори відобразили ці зміни, ціна на перевезення вантажів залізничним транспортом з урахуванням усіх витрат власників вантажів пішла вгору, навантаження на мережі залізниць плавно, але дуже впевнено знижується. Наступний крок реформ – збільшення залізничних тарифів на перевезення вантажів, і це за умов переорієнтації бізнесу на ринок автомобільних перевезень [9].

Головне, у чому помилилися реформатори – вони не врахували міру кореляції між ринком та технологією. Друге, якщо робиться спроба зміни моделі ринку, тоді змінюється і технологія виробництва сервісу, статус та взаємодія його учасників. Зміна форми власності на залізничні вантажні ресурси не змінила модель ринку вантажного залізничного сервісу, а лише створила конкурентний ринок залізничних вантажних ресурсів («збоку» ринку вантажних залізничних перевезень), в даному випадку ринок вантажних залізничних вагонів як активів та ринок вантажних ресурсів вантажного залізничного транспорту.

Крім того, зміни призвели до появи нових акторів та перерозподілу доходів від перевізної діяльності, основну частку якого отримує не організатор перевізного процесу, а власник вантажного ресурсу, при цьому практично не беручи участь у перевізному процесі. На жаль, підвищенню результативності ринку, а тим паче ефективності процесу вантажних залізничних перевезень це не сприяє.

Як відомо, парадигма ефективних галузевих ринків складається з уявлень про очікування суспільства від виробників товарів та послуг, яка представляється як «структура – поведінка – результативність» [12]. Що стосується ринку вантажних залізничних перевезень поняття результативності його функціонування багатомірне, втім, як та інших галузевих ринків. Правильне визначення цілей багато в чому визначить ефективність моделі галузевого ринку.

Досягнення мети побудови моделі ринку вимагає звернення до фундаментальних цінностей, застосування нових технологічних рішень та вимірювачів ступеня досягнення поставленої мети.

Зрозуміло, що головна мета досягнення гармонії між виробниками та користувачами досягається лише за умови мінімальних збоїв роботи ринкового механізму технології перевізного процесу на залізничному транспорті [14,15]. Ця модель результативного ринку вантажних залізничних перевезень, у якій зроблено спробу визначити структурні та технологічні параметри, що істотно впливають на ринок вантажних залізничних перевезень.

Справжня модель ґрунтується на Гарвардській парадигмі, проте має деякі відмінності, які перебувають у дещо зміненій схемі класичної Гарвардської парадигми. Ринок представляється як поле, а ефективність взаємодії досягається через консенсус.

Крім того, враховано специфіку роботи вантажного залізничного транспорту в Україні, його інфраструктурну та технологічну модель.

Результативність ринку досягається за допомогою консенсусу складових ринку та балансу попиту та пропозиції на вантажний залізничний сервіс, а також дещо по-іншому вибудованих взаємозв'язків. Така модель дозволяє гармонізувати взаємодію учасників ринку та технологію виробництва сервісу.

Поле ринку – це чіткі межі ринку (арена), що дозволяють побудувати його модель, в рамках якої актори вибудовують свою поведінку, орієнтуючись на позиції та владу кожного з них. Де загальна мета всіх учасників ринку – не видавити слабших за межі поля, а досягти такого становища кожного з учасників, при якому стане можлива стабілізація ринку, що дозволяє ринку виживати та розвиватись її учасникам у відносно довгостроковій перспективі.

Стабільність ринку досягається абсолютно зрозумілими ідентичністю та ієрархією учасників ринку (лідерів та аутсайдерів), де всі вони поділяють концепцію контролю, що спрямовує дії факторів. Справжня модель дозволяє побачити рівноважне становище складових ринку та збалансувати будь-яку з них щодо інших, зображено на рисунку 1, 2.

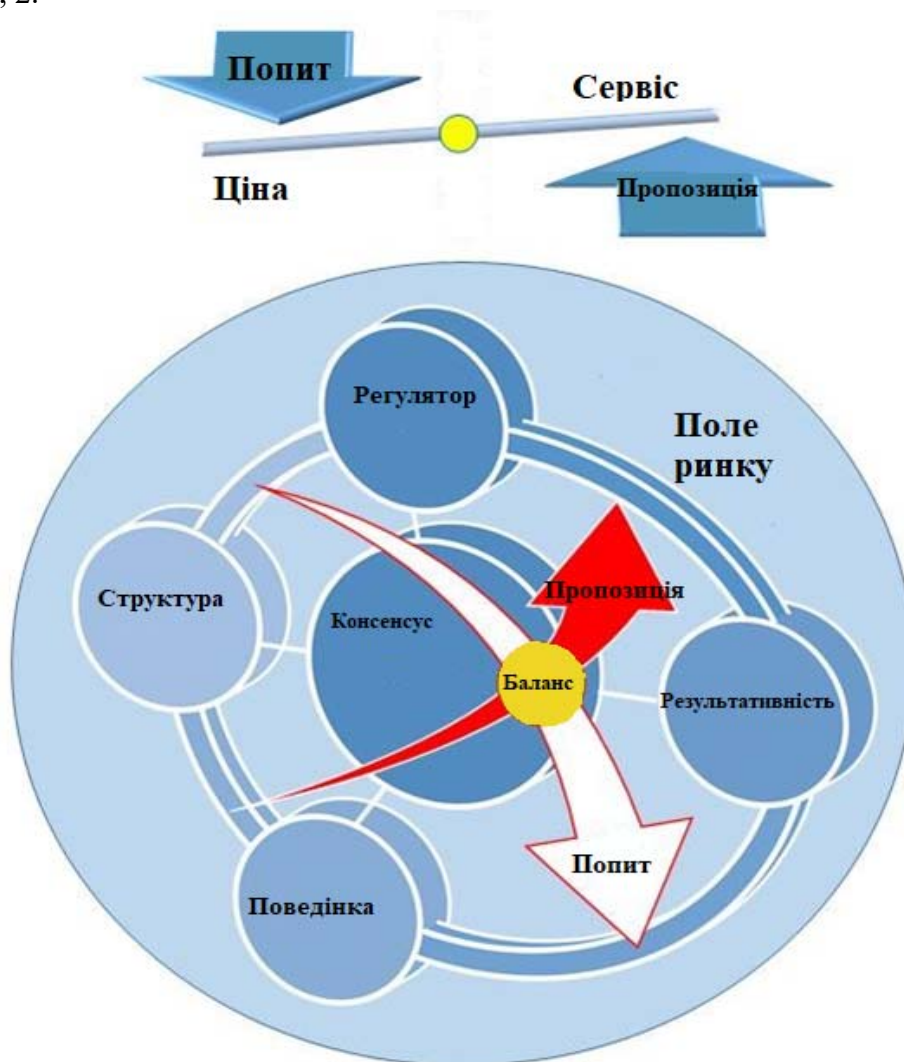


Рисунок 1 – Модель результативного ринку вантажних залізничних перевезень
Джерело: розроблено автором

Структура	Регулятор	Поведінка	Результативність
Характеристика сервісу	Правила торгівлі	Цілі галузі	Ефективність транспортного виробництва
Продавці	Умови та правила для логістичних інтеграторів	Галузева стратегія	Адекватна транспортна складова
Відправники	Антимонопольне регулювання	Технологічний уклад	Використання ресурсів
Вантажоодержувач	Регулювання фінансово-господарської діяльності	Технологія і процес	Прогресивність технологій
Структура витрат	Податки	Ступінь інтеграції	Зайнятість
Модель розподілу	Субсидії	Показники	Справедливість розподілу
Диверсифікація	Контроль ціни та тарифу	Управління	
Перевізник		Інтеграція	
Логістичний інтегратор		Аутсорсинг	

Рисунок 2 – Блок-схема моделі ринку вантажних залізничних перевезень

Джерело: розроблено автором

У даному випадку стабільне становище ринку може бути досягнуто, якщо його учасники не формують тугий вузол проблем конкуруючи за владу, а вибудовують партнерські взаємини, співпрацюючи та доповнюючи один одного при реалізації перевізного процесу. Рівноважне становище ринку позначиться на транспортній складовій ціні товарів, що перевозяться, залізничним транспортом.

Точки зростання можна визначити при аналізі складових ринку реалізованих у запропонованій моделі ринку: структури, регулятора, поведінки та результативності, становище яких у полі ринку стабілізується за допомогою досягнення консенсусу між акторами при балансі попиту та пропозиції. При цьому необхідно враховувати всі проблемні точки в моделі ринку, інакше не вдасться досягти рівноважного та стабільного стану ринку, а отже ринок не буде результативним.

Висновки. Ринок вантажних залізничних перевезень залежить від технології виробництва послуги (технології організації перевізного процесу), мабуть, більше, ніж у інших галузях економіки.

1. Змінюючи цілі та модель ринку, потрібно змінювати і спосіб виробництва сервісу, він має бути більш ефективним, ніж існуючий, тоді і ринок буде результативним, інакше такі зміни не доцільні. Пропонуючи свідомо неефективну або менш ефективну технологію виробництва, і при цьому змінювати модель ринку - означає свідомо орієнтувати ринок на нерезультативність. Важливо не забувати, що максимальна ефективність роботи залізничного транспорту досягається саме в умовах монополії, а транспортної системи – у партнерстві та кооперації, а не у вільній конкуренції її учасників.

2. Представлена в цій роботі модель результативного ринку вантажних залізничних перевезень та сформульовані цілі надають можливість по-новому поглянути на стан залізничної галузі, оцінити доцільність продовження експерименту. Щодо розвитку технологій, враховуючи перехід до шостого технологічного укладу, інтеграційні процеси та нові швидкості розвитку, технології повинні бути орієнтовані не на розвиток конкуренції, а на інтеграцію в єдину систему всіх видів транспорту,

кооперацію, а не конкуренцію учасників перевізного процесу. Можливо, це призведе до трансформації видів транспорту на одну транспортну галузь.

3. Звичайно, при побудові моделі ринку для його стабільності та вдосконалення технології виробництва вантажного залізничного сервісу необхідно забезпечити справедливий розподіл доходів від перевізної діяльності та солідарну відповідальність за якість сервісу перед суспільством. В іншому випадку неминучий дисбаланс на ринку та неефективна робота галузі.

4. Для транспортного ринку та ринку вантажного залізничного сервісу, зокрема, на мою думку, необхідний розвиток і практичне застосування кластерних технологій, їх вбудовування в технологію транспортного виробництва. Це відкриє можливості для інтеграції, кращої логістичної взаємодії партнерів та забезпечить підвищення ефективності перевізного процесу.

5. Визначена ефективна модель результативного ринку вантажних залізничних перевезень, у якому залізнична галузь зможе показати максимальну ефективність. Для вирішення цих проблем запропоновано дещо скоригувати цілі та існуючу модель ринку вантажних залізничних перевезень. Структура галузевого ринку в запропонованій моделі дещо відрізняється від класичної, насамперед інакше вибудованими взаємозв'язками між його складовими, що утворює якийсь балансуєчий механізм (політика консенсусу), що функціонує разом із попитом та пропозицією. Політика консенсусу реалізується у разі як процес пошуку рішень (балансиєчий механізм), у якому буде досягнуто становище відсутності «заперечень», конфліктів між складовими моделі ринку вантажних залізничних перевезень. При недосягненні гармонії (рівноважного, стабільного становища) ринкова модель може бути реалізована.

Список літератури

1. Scherer F.M., Ross D. *Industrial market structure and economic performance*. Boston: Houghton-Mifflin, 1990. 713 p.
2. Shepherd W.C. *The economics of industrial organization: analysis, markets, policies*. New Jersey: Prentice-Hall International, Inc., 1997. 447 p.
3. Tirole J. *The theory of industrial organization*. Cambridge: MIT Press, 1988. 479 p.
4. Shapiro J.F. *Modeling the supply chain*. Pacific Grove: Duxbury, 2001. 586 p.
5. Bowersox D.J., Closs DJ. *Logistical management: the integrated supply chain process*. New York: McGraw-Hill Companies, 1996. 730 p.
6. Onyshchenko S.P., Koskina Y.A. Cargo delivery systems – structure and forming. *Modern Engineering and innovative technologies*. 2019. № 7, part 2. P. 97–101.
7. Винников В.В., Крушкин Е.Д., Быкова Е.Д. Системы технологий на морском транспорте (перевозка и перегрузка). Одесса: Феникс, 2010. 576 с.
8. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки. Киев: Вища школа, 1986. 447 с.
9. Бараш Ю.С. Аналіз реформування структур управління залізничним транспортом у розвинених країнах Європи. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2003. Вип. 1. С. 158–162.
10. Єфименко Т.І. Деякі аспекти реструктуризації підприємств залізничної галузі. *Залізничний транспорт України*. 2002. № 2. С. 13 – 15.
11. Єфименко Т.І. Деякі аспекти реструктуризації підприємств залізничної галузі. *Залізничний транспорт України*. 2008. № 2. С. 100 – 104.
12. Сич Є.М., Гудкова В.П. Пасажи́рський комплекс залізничного транспорту: розвиток і ефективність: монографія. К.: Видавництво «Аспект – Поліграф», 2004. 248 с.
13. Самсонкін В.М. Про підвищення ефективності пасажирських перевезень на залізничному транспорті. *Залізничний транспорт України*. 2004. № 1. С. 43-45.
14. Трансформація підприємств через організаційний реінжиніринг. *Економічний часопис*. 1999. № 6. С. 52-59.
15. Положення про Державну адміністрацію залізничного транспорту України, затверджене Постановою Кабінету Міністрів України від 29 лютого 1996 р., № 262.
16. Драгобецький В.Г., Кузев І.О., Молоштан Д.В. Морфологічний аналіз технологій ремонту кузовних і облицювальних деталей наземного вантажного транспорту. *Вісник Кременчуцького*

- національного університету імені Михайла Остроградського. 2022. Вип. 1(132). С. 157-164.
17. Ковцур К.Г., Кузев І.О., Птиця Н.В. Упровадження мотиваційної політики діяльності департаментів логістики на підприємствах. *Розвиток транспорту*. 2022. Вип. (2)(13). С. 53- 63.
 18. Kuziev I., Maloshtan D. Method for calculation and selection of optimal modes of the explosion cladding of flat compositions. *Norwegian Journal of development of the International Science*. No 57/2021. P.27-33.
 19. Nagornyy Y, Vdovychenko V. Formation of methodological levels of assessing city public passenger transport efficiency. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* . 2016. P.123-131.

References

1. Scherer, F.M. & Ross, D. (1990). *Industrial market structure and economic performance*. Boston: Houghton-Mifflin [in English].
2. Shepherd WC. (1997). *The economics of industrial organization: analysis, markets, policies*. New Jersey: Prentice-Hall International, Inc. [in English].
3. Tirole, J. (1988). *The theory of industrial organization*. Cambridge: MIT Press [in English].
4. Shapiro, J.F. (2001). *Modeling the supply chain*. Pacific Grove: Duxbury [in English].
5. Bowersox, D.J. & Closs D.J. (1996). *Logistical management: the integrated supply chain process*. New York: McGraw-Hill Companies [in English].
6. Onyshchenko, S.P. & Koskina, Y.A. (2019). Cargo delivery systems – structure and forming . *Modern Engineering and innovative technologies*. № 7, part 2. P. 97–101 [in English].
7. Vinnikov, V.V., Krushkin, Ye.D. & Bykova, Ye.D. (2010). *Sistemy tehnologiy na morskoy transporte (perevozka i peregruzka) [Technology systems in maritime transport (shipping and transshipment)]*. Odessa : Feniks [in Russian].
8. Vorkut, A.I. (1986). *Gruzovyye avtomobil'nyye perezozki [Freight road transport]*. Kiyev : Vishcha shkola [in Russian].
9. Barash, Yu.S. (2003). Analiz reformuvannya struktur upravlinnya zaliznychnym transportom u rozvynenykh krayinakh Yevropy [Analysis of the reform of railway transport management structures in the developed countries of Europe]. *Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana – Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*. D.: Vyd-vo Dnipropetr. nats. un-tu zalizn. trans. im. ak. V. Lazaryana, Issue. 1, 158–162 [in Ukrainian].
10. Yefymenko, T.I. (2002). Deyaki aspekty restrukturyzatsiyi pidpryyemstv zaliznychnoyi haluzi [Some aspects of restructuring of railway enterprises]. *Zaliznychnyy transport Ukrayiny – Railway transport of Ukraine*, 2, 13 – 15. [in Ukrainian].
11. Yefymenko, T.I. (2008). Deyaki aspekty restrukturyzatsiyi pidpryyemstv zaliznychnoyi haluzi [Some aspects of the restructuring of enterprises of the railway industry]. *Zaliznychnyy transport Ukrayiny – Railway transport of Ukraine*, 2, 100 – 104 [in Ukrainian].
12. Sych, Ye.M. & Hudkova, V.P. (2004). *Pasazhyr's'kyy kompleks zaliznychnoho transportu: rozvytok i efektyvnist' [Passenger complex of railway transport: development and efficiency]* . Kyiv: Vydavnytstvo «Aspekt – Polihraf» [in Ukrainian].
13. Samsonkin, V.M. (2004). Pro pidvyshchennya efektyvnosti pasazhyr's'kykh perevezen' na zaliznychnomu transporti [On increasing the efficiency of passenger transportation on railway transport]. *Zaliznychnyy transport Ukrayiny – Railway transport*, 1, 43-45. [in Ukrainian].
14. Transformatsiya pidpryyemstv cherez orhanizatsiynnyy reinzhynirnyh [Enterprise transformation through organizational reengineering]. *Ekonomichnyy chasopys – Economic journal*. (1999). 6, 52-59. [in Ukrainian].
15. Polozhennya pro Derzhavnu administratsiyu zaliznychnoho transportu Ukrayiny [Regulations on the State Administration of Railway Transport of Ukraine]. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 29 lyutoho 1996 r., № 262 [in Ukrainian].
16. Drahobets'kyy, V.H., Kuziev, I.O. & Moloshtan, D.V. (2022). Morfolohichnyy analiz tekhnolohiy remontu kuzovnykh i oblytsyval'nykh detaley nazemnoho vantazhnoho transport [Morphological analysis of technologies for the repair of bodywork and facing parts of ground freight transport]. *Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrograds'koho – Bulletin of Mykhailo Ostrogradsky National University of Kremenchug*, Vol. 1(132), 157-164. [in Ukrainian].
17. Kovtsur, K.H., Kuziev, I.O. & Ptytsya, N.V. (2022). Uprovazhennya motyvatsiynoyi polityky diyal'nosti departamentiv lohistyky na pidpryyemstvakh [Implementation of a motivational policy for the activities of logistics departments at enterprises]. *Rozvytok transport – Transport development*, 2(13), 53- 63. [in Ukrainian].
18. Kuziev, I. & Maloshtan, D. (2021). Method for calculation and selection of optimal modes of the explosion cladding of flat compositions . *Norwegian Journal of development of the International Science* , No 57, P.27-33 [in English].

19. Nagorny, Y. & Vdovychenko, V. (2016). Formation of methodological levels of assessing city public passenger transport efficiency. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. P.123-131 [in English].

Ihor Kuziev, Senior Lecturer

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine

Result Market Model and Railway Truck Transport Technology

The processes of liberalization, the attempt to transition the railway industry to a new market model of free competition without corresponding changes in the component model negatively affect the efficiency of the railway industry and the effectiveness of the freight railway service market. It is proposed to look at the problem not from the standpoint of changing the form of ownership in the industry and the formation of a free competition market, but from the standpoint of finding a balance between the work technology and the model of the freight rail transport market that is being used. The study is based on the well-known concept of Industrial organization. The author considers the market as a living mechanism that responds to changes in its components within its field, not only as a place for concluding deals. The effectiveness of the rail freight transport market largely depends on the technology of creating a rail freight service. It is proposed to form a market model based not so much on the appearance of competition, but on some harmony of the technology of freight railway service and the market, or rather the balance of the components of the service market.

The goal is to define a model of an effective rail freight market, in which the railway industry will be able to show maximum efficiency. Work methods – expert assessment of an attempt to change the model of the freight rail transportation market; analysis of the reasons for the imbalance of the economic mechanism of transport activity in the field of freight rail transport; an attempt to structure the goals of an efficient rail freight market.

Based on the results of the research, recommendations can be formulated regarding the formation of a balanced model of the market for freight rail transportation and the adjustment of goals and the existing market model.

market field, participant in the process, freight railway transportation, transportation process technology

Одержано (Received) 10.11.2022

Прорецензовано (Reviewed) 21.11.2022

Прийнято до друку (Approved) 29.12.2022

UDK 656

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.75-82](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.75-82)

Uliana Plekan, PhD econ. sci., **Oleg Lyashuk**, Prof, DSc.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

Viktor Aulin, Prof, DSc.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Oleg Tson, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Anatolii Matviishyn**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

e-mail: kaf_am@ukr.net

Logistics Strategy of the Motor Transport Enterprise. Organizational Aspects of Creation

Functioning of the logistics system mechanism of the motor transport enterprise was described in the article. The dependence of the logistics system of the enterprise on external and internal factors was emphasized. The goals of the components of the logistics strategy were determined and the main requirements for the logistics strategy were outlined. Based on the considered indicators of the operation of the logistics system the excessive cost overruns during logistics operations of the motor transport enterprise were identified. An algorithm for choosing a logistics strategy was developed in the article. It is aimed at forming an adequate logistics strategy that correlates with the modern requirements of the functioning of Ukrainian motor transport enterprises.

logistics system, management, transport company, logistics strategy, logistics costs

© У.М. Плекан, О.Л. Ляшук, В.В. Аулін, О.П. Цьонь, А.Й. Матвішин, 2022

Introduction. The complex and dynamic conditions of the market environment, where the logistics system is already established and developed, dictate more and more imperatives to business entities. In order to function successfully, modern logistics management offers a whole range of logistics strategies to demonstrate development and ensure profit. However, choosing one's own strategy for an individual organization is a complex task that involves taking into consideration the peculiarities of both external and internal business conditions, the goals and objectives of organization, and corporate culture.

The logistics strategy should organically take its place in the general strategy of the development of the motor transport enterprise, complementing and strengthening the latter. An important requirement for the logistics strategy is compliance with the modern conditions of the functioning of Ukrainian motor transport enterprises.

Many local and foreign scientists has analyzed both the essence of the logistics system and the importance of the implementation of logistics activities at the motor transport enterprise. The issue of organizational aspects of the formation of a logistics strategy and its coexistence with the main strategy of the development of the company remains insufficiently covered. The formation of a logistics strategy as an integral element of the development of a modern enterprise requires further research.

Analysis of recent researches and publications. Problems and prospects of the development of the logistics system of domestic enterprises are reflected in numerous works of scientists. The peculiarities of transport and logistics systems are covered in works of Braginskyi V. [2], Jonson D., Dykan V., Dorokhovskiy O., I. Zablodskaya I. [3], Krykavskiy E. [5], Lebid I., Pasichnyk A., Rikhter K, Sokolova O., Trydid O. [10] and others [11].

Scientific-methodical and practical aspects of the formation of logistics were studied by such scientists as Avramenko O. [1]. Ishchenko O. [4], Lohutova T. [6], Perebiynis V. [7], Polyakova O., Tkach O. [9], Shramko Ya., Yaroshenk L. and others.

However, the priority of the development of logistics activities of enterprises in Ukraine determines the need to study various aspects of the formation and functioning of the logistics strategy of enterprises.

The aim of the article. The aim of the article is to highlight the organizational aspects of the formation of the logistics strategy of the motor transport enterprise. The aim of the study generated the following tasks:

- to analyze the functioning of the logistics system of the motor transport enterprise;
- to reveal the objectives of the components of the logistics strategy and outline the main requirements for the logistics strategy;
- to substantiate the indicators of the operation of the logistics system;
- to develop an algorithm for choosing a logistics strategy.

Results. Changes in the current political and economic situation in Ukraine cause increased attention to the effective functioning of the transport industry of Ukraine. Stable operation of motor transport enterprises is an important guarantee of maintaining the national economy. This leads to the actualization of the solution of the issues of organization and management of the logistics activities of motor transport enterprises. Thus, the logistics system holds a leading place in the work of enterprises.

The functioning of the mechanism of the logistics system is possible by means of:

1. state legal acts of the regulation of logistics system activity;
2. a system of techniques, principles, approaches and methods of managing logistics processes;
3. internal acts regulating logistics activities;
4. the market mechanism of regulation of enterprise logistics [5, p. 65].

The logistics strategy of enterprise includes a system of related strategic goals, according to them evaluation indicators are developed. The goals of the logistics strategy components are shown in Figure 1.

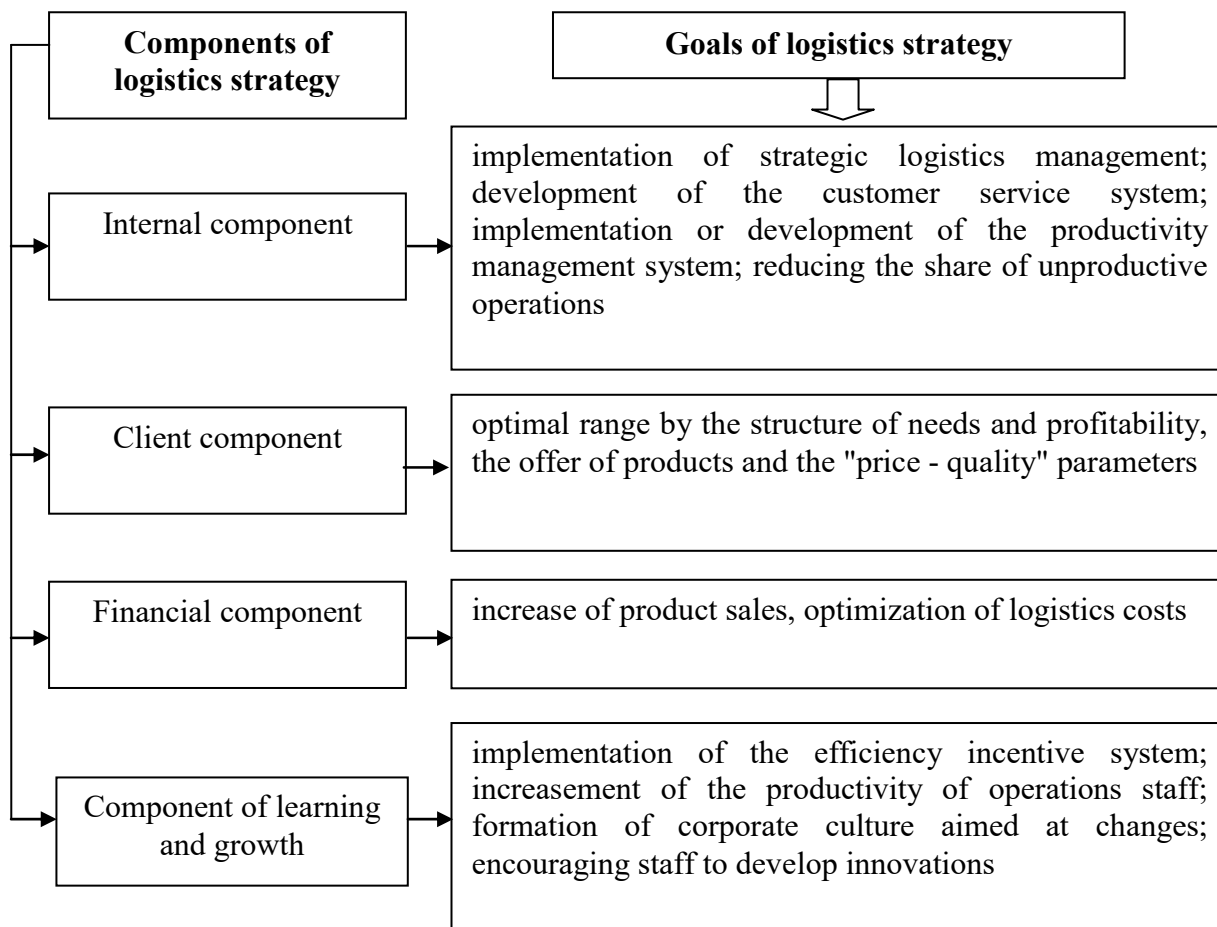


Figure 1 - Goals of logistics strategy components

Source: formed by authors

The implementation of the goals and objectives of the enterprise within the logistics strategy of the business entity involves the formation of an organizational and economic mechanism for its development, which in its essence is a group of interconnected and systemized methods, principles, functions, criteria and actions that influence the parameters of the logistics system of enterprise.

Regulation of logistics activity is realized by legal, organizational, informational and technical tools by the relevant service or an authorized official.

Logistics strategies are developed depending on external and internal factors, including:

- the objective necessity of changes;
- requirements of modern logistics;
- dependence on other companies in the competence chain;
- peculiarities of the field of activity in which the company operates.

Based on internal and external elements, the development of a strategic logistics model should take into consideration the strategic thinking of the company. Therefore, the logistics strategy depends on production, marketing, financial resources, business goals of the company, and basic requirements for customer service. Logistics strategy also indirectly

depends on operational strategy, inventory management strategy, information system development.

In most cases, the desire to achieve partial goals of a logistics system link frequently leads to an increase of total logistics costs. For instance, at the stage of material and technical support, all efforts are aimed at minimizing procurement costs; at the stage of preparation of the service provision process - to minimize the costs of providing services and ensure their quality; at the stage of service provision - to increase the degree of efficiency of the usage of the resource and the choice of the most economical service provision technology.

Attempts to harmonize these different goals in most cases lead to increase costs in the process of resource movement, which negatively affects the cost of goods. The latter is caused by the lack of methodological and methodical effective solutions in the field of logistics development strategy management.

Figure 2 shows the performance indicators of the logistics system of the motor transport company.

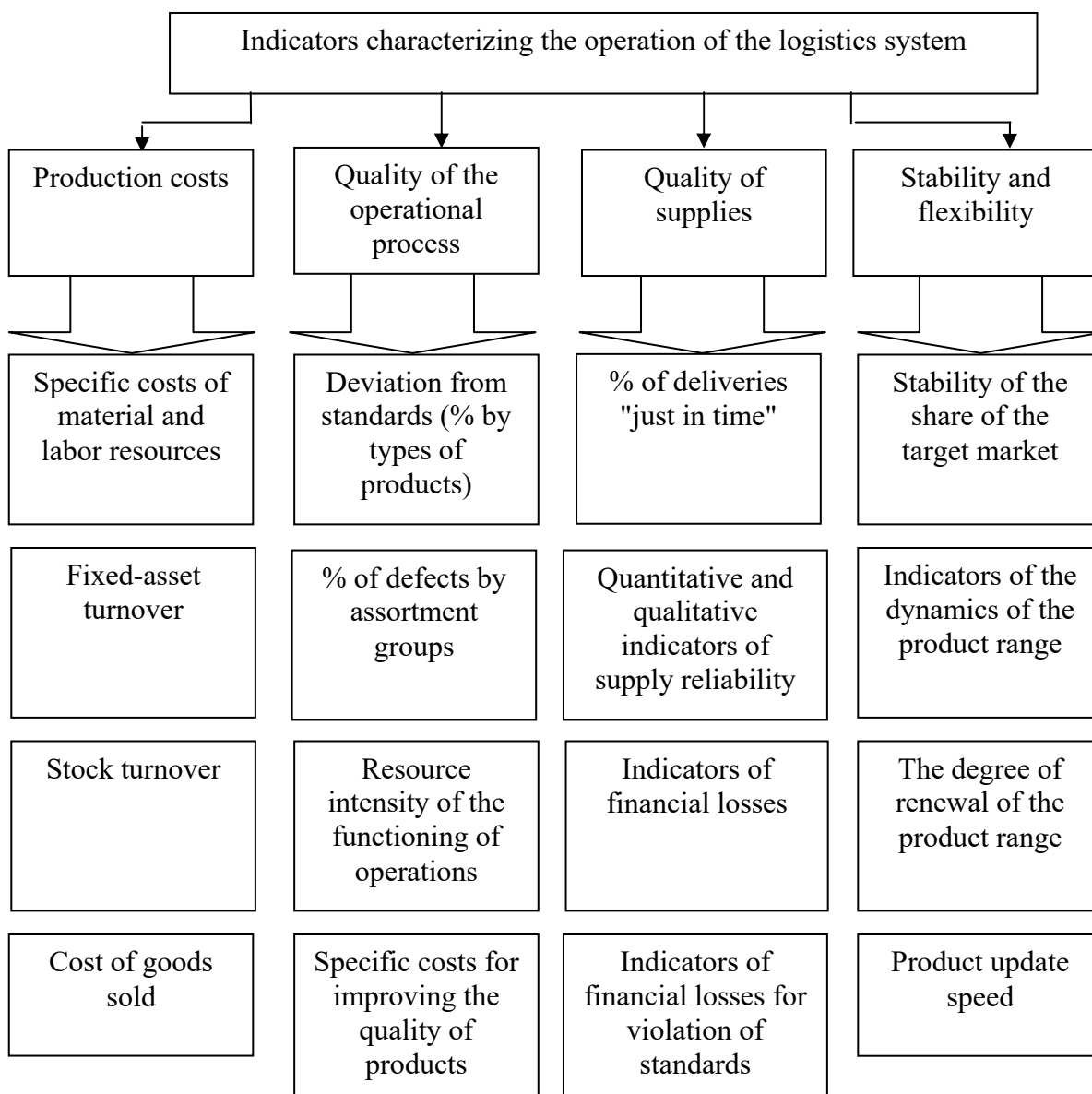


Figure 2 - Indicators of operation of the logistics system of the motor transport enterprise
 Source: formed by authors on basis of [5, 10]

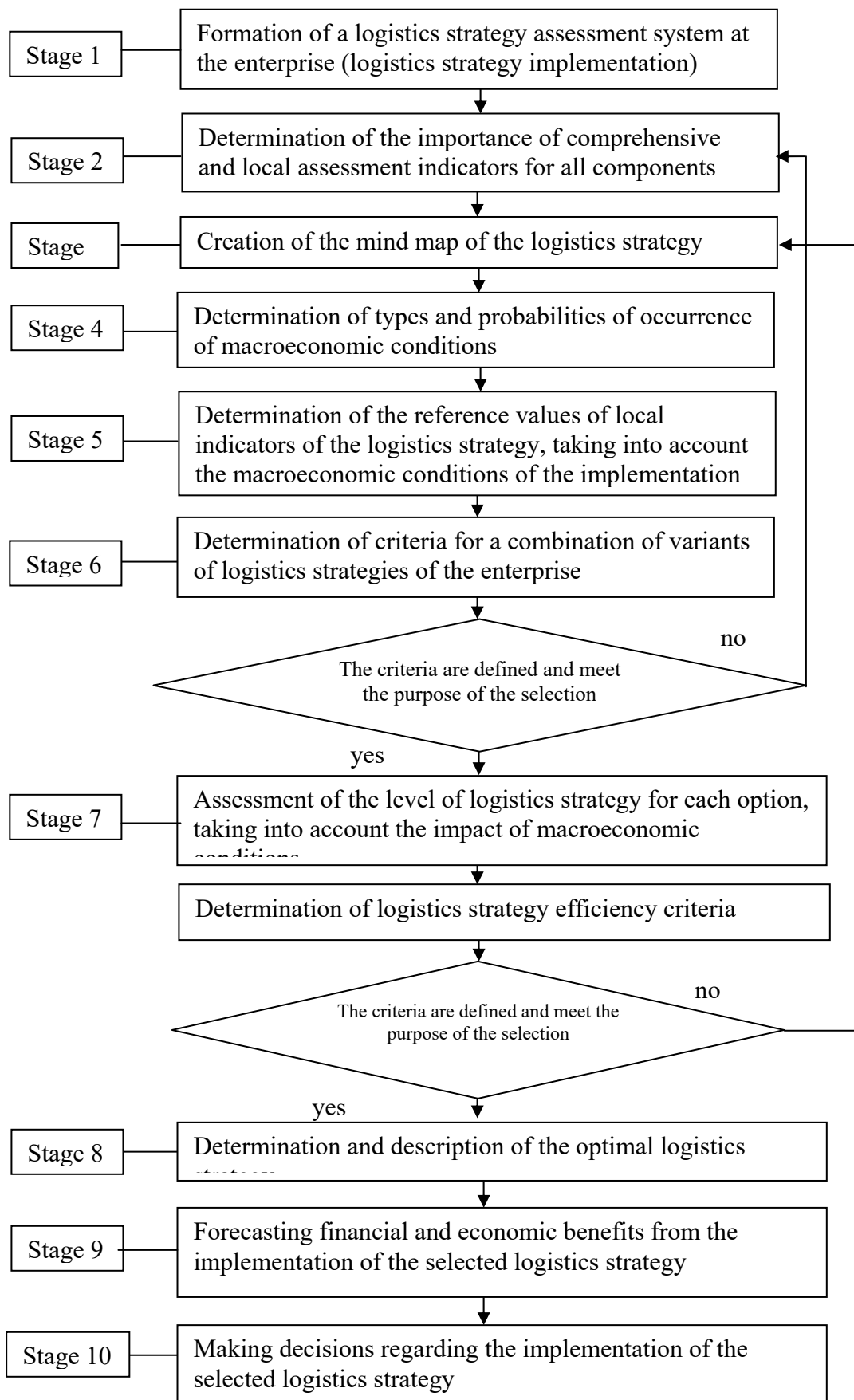


Figure 3 - The algorithm for choosing a logistics strategy of enterprise

Source: formed by authors

We consider it is necessary to create a logistics development strategy, which would cause the obtaining of a synergistic effect of the activities of company.

The distinct causative factors of creating a logistics strategy are:

- coordination and optimization of logistics costs;
- increase of the efficiency of the logistics system;
- search for logistics activity reserves;
- transition from partial goals of logistics process management to general goals of the logistics system;
- efficiency of interconnected elements of the logistics system;
- dynamism and efficiency of logistics cost management;
- logistic risk accounting.

We have developed an algorithm for choosing a logistics strategy (Fig. 3). The algorithm is aimed at choosing an adequate logistics strategy that correlates with the modern requirements of the functioning of Ukrainian enterprises (Fig.3).

The main tasks of the logistics strategy of motor transport enterprises are:

- management of logistics costs in each separate link of the logistics chain and in the logistics chain as a whole entity, taking into consideration changes in both the external and internal environment;
- optimization of logistics processes for maximum customer satisfaction in high-quality services;
- ensuring the maximum profitability of the activity and the efficiency of the ratio of individual logistics costs.

The decision-making system helps to form the logistics strategy of the enterprise. The system of target management of this logistics strategy in the process of making reasonable decisions about the directions of development is a strategic guide for the effective functioning of logistics in conditions of uncertainty of the effects of the external environment in order to obtain profit from the production or sale of goods, provision of services, increasing the profitability of production, which brings the enterprise into a state optimal for achieving the goals of functioning and development in the long term perspective.

Conclusions. Strategic logistics management of enterprises is a decision-making management system, represented by the unity of two logically connected management logistics systems of the decision-making system and targeted management of this logistics strategy.

The transport and logistics system of the enterprise requires continuous monitoring and control in order to respond in time to undesirable deviations in the work and the possibility of maintaining the system in the operating planned mode.

Список літератури

1. Авраменко О. В. Напрями розвитку логістичного менеджменту в Україні. *Бізнес Інформ*. 2017. № 9. С. 262–267.
2. Брагинський В. В. Розвиток транспортно-логістичної системи як форма реалізації транзитного потенціалу України. *Державне управління: теорія і практика*. 2011. № 2. URL: <http://academy.gov.ua/ej/ej14/txts/Braginskiy.pdf> (дата звернення: 16.05.2022).
3. Заблудська І. В., Ключ І. В. Транспортна логістика: економічний аспект. *Економіка розвитку*. 2012. № 1 (53). С. 50–53.
4. Іщенко О.А. Методичні підходи до оцінювання інфраструктурного забезпечення транспортно-логістичних систем. *Економічний аналіз*. 2018. Т. 28. № 4. С. 313–320.
5. Крикавський Є. В. Логістика. Основи теорії: підруч. Львів: Інтеллект-Захід, 2006. 206 с.
6. Логутова Т.Г. Логістична інфраструктура як складова частина об'єднання промислових підприємств. *Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності*. 2017. Вип. 15. С. 288–292.

7. Перебийніс В.І. Транспортно-логістичні системні підприємства: формування та функціонування : монографія. 2006. Полтава : РВЦ ПУСК. 207 с.
8. Плекан У. М. Процесний підхід до організації обліку логістичних витрат виробничих підприємств. *Галицький економічний вісник*. 2019. Т. : ТНТУ, Том 56. № 1. С. 130–139.
9. Ткач О.В. Транспортно-логістичні системи: теоретичні основи формування та напрямків розвитку. *Наука й економіка*. 2013. № 3(31). С. 223–226.
10. Тридід О. М., Таньков К. М. Логістичний менеджмент: навч. посіб. 2005. Харків: ВД «ІНЖЕК». 224 с.
11. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Інтелектуальні транспортні системи як результат впровадження інноваційних ефективних технологій. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 15-17 квітня 2020 р. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.207.

References

1. Avramenko, O.V. (2017). *Napriamy rozvytku lohistrychnoho menedzhmentu v Ukraini [Development directions of logistics management in Ukraine]*. *Biznes Inform – Business Inform*. 9, 262–267 [in Ukrainian].
2. Brahynskiy, V.V. (2011). Rozvytok transportno-lohistrychnoi systemy yak forma realizatsii tranzynohoho potentsialu Ukrainy. [Development of transport and logistics system as a form of realization of Ukraine's transit potential]. *Derzhavne upravlinnia: teoriia i praktyka – Public administration: theory and practice*, 2. Retrieved from <http://academy.gov.ua/ej/ej14/txts/Bragynskiy.pdf> [in Ukrainian].
3. Zablodska, I.V. & Klius, I.V. (2012). Transportna lohistryka: ekonomichnyi aspekt. [Transport logistics: the economic aspect]. *Ekonomika rozvytku – Development economics*, 1 (53), 50-53 [in Ukrainian].
4. Ishchenko, O.A. (2018). Metodychni pidkhody do otsiniuvannya infrastruktornoho zabezpechennia transportno-lohistrychnykh system [Methodical approaches to the evaluation of the infrastructure support of transport and logistics systems]. *Ekonomichnyi analiz – Economic analysis*, Vol. 28, 4, 313–320 [in Ukrainian].
5. Krykavskiy, Ye.V. (2006). *Lohistryka. Osnovy teorii. [Logistics. Basics of the theory]*. Lviv: Intelekt-Zakhid [in Ukrainian].
6. Lohutova, T.H. & Poltoratskiy M.M. (2017). Lohistrychna infrastruktura yak skladova chastyna obiednannia promyslovykh pidpriemstv. [Logistic infrastructure as a warehouse part of the industrial industry]. *Teoretychni i praktychni aspekty ekonomiky ta intelektual'noi vlasnosti – Theoretical and Practical Aspects of Economics and Intellectual Property*, Issue 15, 288–292 [in Ukrainian].
7. Perebyinis, V.I. (2006). *Transportno-lohistrychni systemnyi pidpriemstv: formuvannia ta funktsionuvannia [Transport-logistic system enterprises: formation and operation]*. Poltava: RVTs PUSK [in Ukrainian].
8. Plekan, U. (2019). Protsesnyi pidkhid do orhanizatsii obliku lohistrychnykh vytrat vyrobnychykh pidpriemstv [Process approach to the organization of logistics costs accounting of manufacturing enterprises]. *Halyts'kyj ekonomichnyj visnyk – Galician economic bulletin (T.)*, Vol. 56, 1, 130-139 [in Ukrainian].
9. Tkach, O.V. (2013). Transportno-lohistrychni systemy: teoretychni osnovy formuvannia ta napriamkiv rozvytku [Transport-logistic systems: theoretical bases of formation and directions of development]. *Nauka j ekonomika – Science and economy*, 3(31), 223–226 [in Ukrainian].
10. Trydid, O.M. & Tankov, K.M. (2005). *Lohistrychnyi menedzhment [Logistics management]*. Navchalnyi posibnyk. Kharkiv: VD «ІNZhEK» [in Ukrainian].
11. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V. & Holovaty, A.O. (2020). Інтелектуальні транспортні системи як результат впровадження інноваційних ефективних технологій. [Pidvyshchennia nadiinosti mashyn i obladnannia]. *Increase of Machine and Equipment Reliability: Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsia (15-17 kvitnia 2020 r.) – International Scientific and Practical Conference (207 p.)*. Kropyvnytskyi: TsNTU [in Ukrainian]

У.М. Плекан, канд. екон. наук, **О.І. Ляшук**, проф., д-р техн. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

О.П. Цьонь, доц. канд. техн. наук, **А.Й. Матвійшин**, доц. канд. техн. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

Логістична стратегія автотранспортного підприємства. Організаційні аспекти формування

Складні та динамічні умови ринкового середовища, в яких вже вкорінилася та розвинулася логістична система, диктують суб'єктам господарювання щораз більше імперативів. Для того, щоб функціонувати успішно, демонструвати розвиток та забезпечувати прибуток, сучасний логістичний менеджмент пропонує цілу низку логістичних стратегій.

У статті описана важливість підбору власної логістичної стратегії для окремої організації, що передбачає врахування особливостей як зовнішніх, так і внутрішніх умов господарювання, цілей та завдань організації, корпоративної культури. Висвітлено актуальність вирішення питань організації і управління логістичною діяльністю автотранспортних підприємств. Зазначено, що важливою вимогою до логістичної стратегії є відповідність сучасним умовам функціонування українських автотранспортних підприємств. Описано функціонування механізму логістичної системи автотранспортного підприємства. Визначено цілі компонентів логістичної стратегії в розрізі складових: внутрішньої складової, клієнтської, фінансової складової, складової навчання та росту. Окреслено основні вимоги до логістичної стратегії та визначена залежність логістичної стратегії від виробничих, маркетингових, фінансових ресурсів, бізнес-цілей компанії, основних вимог до обслуговування клієнтів. За допомогою розглянутих індикаторів роботи логістичної системи ідентифіковано зайві перевитрати при виконанні логістичних операцій автотранспортного підприємства.

Обґрунтовано необхідність створення такої логістичної стратегії розвитку, наслідком якої стало б отримання синергетичного ефекту діяльності підприємства. Розроблено алгоритм вибору логістичної стратегії, направлений на формування адекватної логістичної стратегії, що корелює з сучасними вимогами функціонування українських автотранспортних підприємств.

логістична система, управління, автотранспортне підприємство, логістична стратегія, логістична витрати

Одержано (Received) 11.11.2022

Прорецензовано (Reviewed) 02.12.2022

Прийнято до друку (Approved) 29.12.2022

УДК 311.21: 656.072

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.82-89](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.82-89)

В. Г. Загорянський, доц., д-р техн. наук

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
м. Кременчук, Україна*

e-mail: zagor_vlad@ukr.net

Застосування статистичних методів наукових досліджень при обстеженні пасажиропотоків міського автомобільного транспорту

В роботі розглянуті прикладні аспекти застосування теорії міських пасажирських перевезень щодо перевезень засобами пасажирського автомобільного транспорту міста (ПАТМ). Проаналізовані основні поняття теорії міських пасажирських перевезень та питання взаємодії міського пасажирського транспорту з містом, що обслуговується, на основі системних уявлень. Проведений аналіз основних чинників, які впливають на якість планування, контролю та регулювання руху пасажирського автомобільного транспорту в транспортних системах міст. Розглянуті також аспекти теорії міських транспортних систем та проектних розрахунків пасажирських перевезень автомобільного транспорту.

пасажир, перевезення, автомобіль, транспорт, місто, статистика, метод, пасажиропотік

Постановка проблеми. Внаслідок того, що пасажирський транспорт не справляє матеріальні цінності, але істотно впливає на ті сфери суспільства, які беруть участь у створенні таких цінностей, його прийнято відносити до сфери обслуговування [1–3].

© В.Г. Загорянський, 2022

Підвищення ефективності роботи системи пасажирського автомобільного транспорту міста (ПАТМ) є важливим комплексним завданням [4].

Ці проблеми не повністю вивчені та на сьогоднішній день не відповідають реальним потребам економіки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі вдосконалення обслуговування населення ПАТМ присвячено значну кількість досліджень. Дослідженню проблем функціонування маршрутних мереж міст, а також проблемам якості пасажирських перевезень присвячено, зокрема, роботи Бондарєва С. І. [1], Босняка М. Г. [2], Вдовиченка В. О. [3], Геронимуса Б. Л. [4], Громова Н. Н. [5], Доли В. К. [6], Єфремова І. С. [7], Ігнатенка О. С. [8, 9], Лопатіна А. П. [10], Прокудіна Г. С. [11], Спиріна І. В. [12], Штанова В. Ф. [13], Яновського П. О. [14], J. Cibulka [15], A. S. Goodman [16].

Аналіз результатів теоретико-прикладних досліджень, присвячених підвищенню ефективності роботи системи ПАТМ, показав, що вони не повною мірою відповідають сьгоднішнім викликам функціонування ринку пасажирських перевезень на сучасному етапі розвитку економіки, недостатньо опрацьовано питання оптимізації маршрутної мережі та обслуговування пільгових категорій громадян на міському пасажирському транспорті.

Також залишаються недостатньо опрацьованими питання формування маршрутної транспортної мережі в умовах конкуренції операторів перевезень.

Відсутність теоретико-методичних підходів оптимізації маршрутної мережі пасажирського транспорту з урахуванням раціонального розподілу пільгових маршрутів потребує постановки та вирішення наукового завдання.

Постановка завдання. Метою даною роботи є запропонувати науково-методичні підходи узагальнення методів обстеження пасажиропотоків, формування маршрутної транспортної мережі міста, розрахунку необхідного виду та кількості рухомого складу пасажирського автомобільного транспорту, формування переліку пільгових маршрутів.

Виклад основного матеріалу. До головних недоліків існуючої структури транспортного обслуговування населення на ПАТМ можна віднести нераціональне формування маршрутної транспортної мережі, неефективну роботу операторів перевезень і координацію їх роботи, її низьку якість, зниження рівня безпеки під час перевезення пасажирів;

Важливим фактором є якість процесу перевезень, одними з показників якого є, наприклад, комфортність та мінімальна транспортна стомлюваність.

Специфіка роботи приватних перевізників спрямована на отримання максимального прибутку, у зв'язку з цим вони прагнуть отримати найбільш рентабельні маршрути, використовують, переважно, рухомий склад малої категорії місткості, що характеризується відносно малим терміном окупності, високими показниками динамічності та маневреності, зазвичай без особливого ентузіазму надають право пільгового проїзду.

Збільшення кількості автобусів малої категорії місткості, з одного боку, вирішило проблему задоволення попиту на перевезення, значно скоротило час сполучення на маршрутах, дозволило зменшити інтервали руху, але, з іншого боку, створило чимало серйозних проблем. Головною з них є зниження безпеки перевізного процесу внаслідок гонитви за пасажирами, які супроводжуються перевищеннями швидкості, небезпечними маневрами та іншими порушеннями правил дорожнього руху. Висока інтенсивність руху маршрутних транспортних засобів призводить до того,

що багато пунктів зупинки просто не справляються з потоком маршрутних транспортних засобів, утворюються затори.

До основних критеріїв, які пред'являються до пасажирських перевезень в даний час, можна віднести раціональну побудову маршрутів і розміщення зупинок на них, мінімальну кількість пересадок та зручність їх здійснення, оптимальні інтервали руху на маршрутах, дотримання розкладу руху, добрий технічний стан рухомого складу, дотримання норм наповнюваності салону транспортного засобу, мінімальний час подорожі, невисока вартість поїздки, зручна система оплати проїзду. Комплексний підхід до розв'язання цієї задачі дозволить підвищити якість перевезень, а, як наслідок, привабливість міського пасажирського транспорту для населення.

Важливим аспектом є вибір оптимального методу обстеження пасажиропотоків пасажирським транспортом.

Для формування маршрутної транспортної мережі міста необхідно, як мінімум, знати напрями пасажирських потоків, їх розподіл між районами міста, їх кількісну структуру. Тобто, потужність пасажиропотоків, їх розподіл територією відповідного міста і їх напрями визначають формування автомобільної мережі міста. Це дозволяє обґрунтовано підібрати вид пасажирського транспорту, вибрати тип транспортних засобів, визначити потрібну кількість рухомого складу, а також вибрати траси маршрутів.

Виявити дані закономірності дозволяє регулярне здійснення обстежень пасажиропотоків.

Потужністю пасажирських потоків (пасажиропотоків) називається кількість пасажирів, які їдуть в одному напрямку через конкретний перетин маршруту (або по всій транспортній мережі населеного пункту) за певний період часу [14].

Стосовно автобусів на основі визначених пасажиропотоків встановлюють техніко-експлуатаційні показники їх роботи, такі як обсяг перевезень пасажирів, пасажирооборот, середня дальність поїздки пасажирів, можливе наповнення автобусів, кількість автобусів на кожному маршруті, тривалість рейсу, кількість змін роботи водіїв, швидкість руху, пробіг автобуса протягом наряду.

Математико-статистичний підхід в цьому відношенні не завжди дає задовільні результати через нестабільність параметрів [5]. Поїздка пасажира є якісно своєрідною, а за деякими категоріями пересування – ще й довільною операцією.

Найбільшого поширення у прогнозуванні пасажирських перевезень набув метод динамічних рядів, включаючи просту екстраполяцію трендів. Іноді за минулими періодами встановлюється коефіцієнт рухливості населення, що поширюється на майбутнє, виходячи з припущення існування жорсткого функціонального зв'язку, у припущенні, що є кореляційний зв'язок між рухливістю населення та національним доходом.

Найважча частина прогнозу – прогноз пасажирських перевезень. Прогнози в галузі магістрального (міжміського) транспорту ґрунтуються на ретроспективних залежностях. Як незалежну змінну зазвичай вибирався національний дохід.

Прогнози, що ґрунтуються на ретроспективних оцінках, коригуються за результатами аналізу тенденцій динамічних рядів. Проводяться роботи з пошуку нових, більш точних методів, що спираються на комбінації математично-статистичних залежностей та функцій, елементи планів та висновки-порівняння із зарубіжним досвідом.

Обсяг перевезень у пасажиро-кілометрах зазвичай отримують на основі даних про чисельність населення та його транспортну рухливість (тобто про обсяг пасажирських перевезень транспорту, що припадають на одного жителя міста, регіону

тощо). Коефіцієнт транспортної рухливості населення на перспективу визначається на основі ретроспективних оцінок у функції національного доходу, що припадає на одного мешканця, та часу.

Методи обстеження для визначення пасажиропотоків по транспортній мережі класифікуються за певними ознаками [2, 7, 14].

Використання економіко-математичних моделей при обґрунтуванні автобусних маршрутів при перевезенні пасажирів для міст дає значні позитивні результати [17]. Вихідними даними при вирішенні цієї задачі є транспортна система міста (позначення вулиць міста, по яких можливий рух автобусів); крупні пункти формування та погашення потоку пасажирів; обсяги пасажиропотоку між окремими вузлами транспортної системи; типи та загальна кількість автобусів, що обслуговують пасажирів. Завдання, в загальному вигляді, полягає в оптимізації схеми автобусних маршрутів в місті, яка б забезпечувала мінімальні сумарні витрати часу пасажирів на очікування автобуса та проїзд пасажирів до кінцевого пункту призначення.

Анкетний метод передбачає охоплення всієї транспортної мережі регіону і спрямовується на виявлення пасажиропотоків для всіх видів транспорту; він передбачає використання попередньо розроблених спеціальних анкет з простими і ясними питаннями [2].

При анкетному методі обстеження пасажиропотоків пасажирів відповідають питання спеціально складеної анкети. Опитування пасажирів може здійснюватися різними способами: обліковцями на зупинкових пунктах, у салоні транспортного засобу, за місцем роботи або навчання, у місцях продажу проїзних квитків, через телефонне опитування громадян, розсилкою анкет поштою, через інтернет-ресурси, передачею анкет адміністраціям підприємств та організацій.

Науковцями Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського під керівництвом д. т. н., проф. Мороза М. М., на замовлення виконкому міської ради міста Кременчука на протязі декількох років проводилося обстеження пасажиропотоків міських автобусних мереж. При цьому був отриманий цінний досвід і значний масив практичних результатів, який дозволив значно підвищити ефективність перевезень пасажирів у місті і мав економічний ефект [18–21]. Слід зазначити, що до обстеження пасажиропотоків залучалися студенти старших курсів, в основному магістранти кафедри, які отримували практичні знання і досвід.

Звітно-статистичний метод обстеження пасажиропотоків має основою результати квитково-облікових листів щодо кількості проданих квитків. Потрібно враховувати кількість пасажирів, провезених на підставі місячних проїзних квитків, службових посвідчень і тих, хто користується правом пільгового проїзду;

До методів натурних обстежень відносяться [14] талонні, табличні, опитувальний метод (обліковець в автобусі питає кожного пасажирів про пункт призначення, пересадки, мету поїздки і записує всю цю інформацію), візуальний метод (обліковець візуально визначає заповнення автобуса за умовною бальною системою і заносить бали в спеціальну таблицю).

Отримати необхідну інформацію без участі людей можливо автоматизованими методами, для яких належать контактні (такий спосіб має велику неточність – до 25%); неконтактні (фотоелементи; недолік метода полягає в нетривалому періоді роботи приборів, складність в обслуговуванні); побічний (спеціальний пристрій, який зважає одночасно всіх пасажирів з наступним діленням загальної маси пасажирів на середню масу одного пасажирів); комбінований (два типи датчиків – при вході пасажирів наступає на нижні, а потім верхні контактні сходи; сигнал від них надходить в блок управління,

де провадиться їх логістична обробка і передача у пристрій реєстрування; імпульси виходу пасажирів формуються зворотнім порядком).

При обстеженні пасажиропотоків необхідно отримати достовірні дані з метою їх використання в рішенні задач з поліпшення якості обслуговування пасажирів. Але при виборі метода обстеження необхідно враховувати трудомісткість метода і витрати на його реалізацію.

Відомий досвід застосування методики обстеження пасажиропотоків [2] табличним методом, при якому в кожен одиницю рухомого складу (автобус) були розміщені обліковці відповідно до кількості дверей. Кожен обліковець реєстрував пасажирів, які входили та виходили з автобуса на кожній зупинці, а також робив записи в картці часу посадки та висадки пасажирів. Обліковець на своєму місці при вході пасажирів в автобус проставляв в картці (у клітинці з номером зупинки) знак плюс, записував час входу пасажирів на відповідній зупинці і вручав її пасажиріві. При виході пасажирів віддавав картку іншому обліковцю, який, у свою чергу, проставляв знак і записував час виходу пасажирів в клітинці з номером відповідної зупинки.

Результати обстеження пасажиропотоків за даною методикою дозволяють після оброблення матеріалів обстеження (карток) одержати дані, необхідні для удосконалення організації перевезень: кількість перевезених пасажирів, транспортна робота автобусів на різних маршрутах, наповненість одиниці рухомого складу, коефіцієнт змінюваності пасажирів, зміни пасажиропотоку за годинами доби (епюри розподілу на маршрутах), дальність поїздки пасажирів в цілому на маршруті та згідно з напрямками, пасажирообмін зупинкових пунктів за весь період обстеження в прямому та зворотному напрямках, характеристика зміни величин наповненості автобусів між зупинками, епюри розподілу пасажиропотоку за довжиною маршруту.

Обстеження пасажиропотоків за допомогою цього методу дозволяє визначити пасажирообмін зупинок і побудувати їх епюри. Одержаний розподіл пасажиропотоків у просторі та часі, а також зміни зупинок дозволяють побудувати їх епюри, а потім за їх допомогою визначити такі форми руху автобусів, як звичайна, швидкісна, експресна, скорочена.

Побудувати епюри розподілу пасажиропотоків за годинами доби і довжиною маршрутів за результатами аналізу облікових карток допомагають спеціально підготовлені таблиці. Підвищити якість перевезень пасажирів та ефективніше використовувати пасажиромісткість автобусів у години «пік» можливо як шляхом маневрування лише рухомим складом, так і впливом на пасажиропотоки (розосередження початку часу роботи підприємств).

Другий метод заснований на зіставленні кривих, що виражають тенденції зростання пасажирообігу в пасажиро-кілометрах, з кривими змін факторів, що найбільше впливають на обсяг пасажирських перевезень. Варіації обсягу ПАТМ у короткострокових прогнозах визначаються або за найпростішими лінійними рівняннями, або на основі залежностей, що пов'язують пасажирообіг, чисельність населення та національний дохід.

Глобальні оцінки доповнюють аналізом динаміки розвитку перевезень за групами (категоріями) пасажирів, зіставляючи зі зміною кількості працюючих і транспортом для поїздки до місць роботи.

Пасажирообіг індивідуального автотранспорту визначається приблизно за кількістю транспортних засобів, обсягом їхньої транспортної роботи та середньою населеністю автомобіля. Індивідуальні автомобілі, як правило, використовуються переважно для інших поїздок, не пов'язаних з поїздками до місць роботи і по службових справах. Ці інші поїздки також пов'язані зі зростанням національного

доходу. За участю досвідчених експертів коригуються і результати всіх розрахунків, що виробляються охарактеризованими методами.

Прогнози обсягу пасажирських перевезень на міському транспорті здійснюються з урахуванням багатьох чинників, зокрема зростання чисельності населення міста та тенденцій у його плануванні та забудові, потреб у перевезенні, що припадають на одного мешканця; середньої дальності перевезень тощо.

Висновки.

1. Сучасний етап розвитку теорії міських пасажирських перевезень характеризується застосуванням у транспортних розрахунках комп'ютерної техніки, методів комбінаторики, теорії масового обслуговування, статистичного аналізу, лінійного та динамічного програмування, теорії графів та інших галузей математики. Рішення завдань транспортного обслуговування міст розпадається на два основні комплекси: проектування міських транспортних систем, і організацію руху міського транспорту.

2. Для формування оптимальної або раціональної маршрутної мережі, так само як для ефективного використання рухомого складу та забезпечення високого рівня обслуговування пасажирів, необхідно знати напрямки, розміри та ступінь нерівномірності пасажиропотоків, конкретні величини яких встановлюються під час проведення тих чи інших обстежень.

3. При обстеженні пасажиропотоків необхідно отримати достовірні дані з метою їх використання в рішенні задач з поліпшення якості обслуговування пасажирів. Але при виборі метода обстеження необхідно враховувати трудомісткість метода і витрати на його реалізацію.

Список літератури

1. Бондарев С. І., Бондарева Л. М. Пасажирські перевезення (на автомобільному транспорті). Київ: Компринт, 2017. 525 с.
2. Босняк М. Г. Пасажирські автомобільні перевезення. Київ: Видавничий Дім «Слово», 2009. 272 с.
3. Вдовиченко В. О., Потаман Н. В. Пасажирські автомобільні перевезення. Харків: ХНАДУ, 2017. 335 с.
4. Геронимус Б. Л. Экономико-математические методы в планировании на автомобильном транспорте. Москва: Транспорт, 1982. 192 с.
5. Громов Н. Н., Персианов В. А. Управление на транспорте. Москва: Транспорт, 1990. 336 с.
6. Доля В. К. Пасажирські перевезення. Харків: Форт, 2011. 504 с.
7. Ефремов И. С., Кобозев В. М., Юдин В. А. Теория городских пассажирских перевозок. Москва: Высшая школа, 1980. 535 с.
8. Ігнатенко О. С., Маруніч В. С. Пасажирські перевезення. Ч. 1. Київ : [б. в.], 2017. 283 с.
9. Ігнатенко О. С., Маруніч В. С. Пасажирські перевезення. Ч. 2. Київ : [б. в.], 2017. 265 с.
10. Лопатин А. П. Моделирование перевозочного процесса на городском транспорте. Москва: Транспорт, 1985. 112 с.
11. Данчук В. Д., Прокудін Г. С., Цуканов О. І., Цимбал Н. М. Комп'ютерні технології статистичного аналізу на транспорті. Київ: НТУ, 2013. 280 с.
12. Антоношвили М. Е., Либєрман С. Ю., Спирин И. В. Оптимизация городских автобусных перевозок. Москва: Транспорт, 1985. 102 с.
13. Штанов В. Ф., Ігнатенко О. С. Організація перевезень пасажирів автомобільним транспортом. Київ: Техніка, 1988. 127 с.
14. Яновський П. О. Пасажирські перевезення. Київ: НАУ, 2012. 435 с.
15. Цибулка Я. Качество пассажирских перевозок в городах: Пер с чеш. Москва: Транспорт, 1987. 239 с.
16. Goodman A. S., Hastak M. Infrastructure planning handbook: planning, engineering, and economics. New York: McGraw-Hill / ASCE Press, 2006. P. 560.
17. Зінь Е. А. Управління автомобільним транспортом. Рівне: НУВГП. 2011. 326 с.
18. Moroz, M. M., Vasytkovska, K. V., Vasytkovskyi, O. M., Sviren, M. O., Petrenko, D. I. (2019). Determining the parameters of the device for inertial removal of excess seed. *INMATEH – Agricultural Engineering*. Vol. 57 (1). P. 135-140.

19. Moroz, Mykola M., Korol, Serhii O., Boiko Yurii O. (2016). Social traffic monitoring in the city of Kremenchuk. *Actual Problems of Economics*. Vol. 175. Iss. 1. P. 385–398.
20. Moroz, M., Markevych A., Shramenko N. (2021). Development of technology of urban forwarding service of small consignment customers. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. Vol. 58-1. Global Science Center LP. P. 54–58.
21. Соціально-економічне забезпечення пасажирського транспорту загального користування / М. М. Мороз та ін. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2018. Вип. 1 (242). С.100–105.

References

1. Bondaryev, S.I. & Bondaryeva, L.M. (2017). *Pasazhyrs'ki perevezennya (na avtomobil'nomu transporti)* [Passenger transportation (by road)]. Kyiv: Komprint [in Ukrainian].
2. Bosnyak, M. H. (2009). *Pasazhyrs'ki avtomobil'ni perevezennya* [Passenger automobile transportation]. Kyiv: Vydavnychy Dim «Slovo» [in Ukrainian].
3. Vdovychenko, V.O. & Potaman, N. V. (2017). *Pasazhyrs'ki avtomobil'ni perevezennya* [Passenger automobile transportation]. Kharkiv: KHNADU [in Ukrainian].
4. Heronimus B.L. (1982). *Ekonomiko-matematicheskie metody v planirovanii na avtomobil'nom transportt* [Economic and mathematical methods in road transport planning]. Moskva: Transport. 192 s. [in Russian].
5. Hromov, N.N. & Persianov, V.A. (1990). *Upravlenie na transporte* [Transport management]. Moskva: Transport [in Russian].
6. Dolya, V.K. (2011). *Pasazhyrs'ki perevezennya* [Passenger transportation]. Kharkiv: Fort [in Ukrainian].
7. Yefremov, I. S., Kobozyev, V. M. & Yudin, V. A. (1980). *Teoriya gorodskikh passazhyrskkh perezovozok* [Theory of urban passenger transportation]. Moskva: Vyscha shkola. 535 s. [In Russian].
8. Ihnatenko, O. S. & Marunych, V. S. (2017). *Pasazhyrs'ki perevezennya* [Passenger transportation]. Ch. 1. Kyiv: [b. st.] [in Ukrainian].
9. Ihnatenko, O. S. & Marunych, V. S. (2017). *Pasazhyrs'ki perevezennya* [Passenger transportation]. Ch. 2. Kyiv: [b. st.] [in Ukrainian].
10. Lopatin, A. P. (1985). *Modelirovanie perezovozhnoho protsessa na gorodskom transporte* [Modeling of the transportation process on city transport]. Moskva: Transport [In Russian].
11. Danchuk, V.D., Prokudin H.S., Tsukanov O.I. & Tsybal N.M. (2013). *Komp'yuterni tekhnolohiyi statystychnoho analizu na transporti* [Computer technologies of statistical analysis in transport]. Kyiv: NTU [in Ukrainian].
12. Antonoshvili, M. Ye., Liberman, S. Yu., Spirin, I. V. (1985). *Optyimizatsiya gorodskikh avtobusnykh perezovozok* [Optimization of city bus transportation]. Moskva: Transport. 102 s. [In Russian].
13. Shtanov, V. F., Ihnatenko, O. S. (1988). *Orhanizatsiya perevezen' pasazhyriv avtomobil'nym transportom* [Organization of transportation of passengers by road transport]. Kyiv: Tekhnika [in Ukrainian].
14. Yanovs'kyu, P. O. (2012). *Pasazhyrs'ki perevezennya* [Passenger transportation]. Kyiv: NAU [in Ukrainian].
15. Tsybulka, Ya (1987). *Kachestvo passazhyrskkh perezovozok v gorodach: Per. z chesh*. Moskva: Transport, 1987. 239 s. [In Russian].
16. Goodman A. S., Hastak M. *Infrastructure planning handbook: planning, engineering, and economics*. New York: McGraw-Hill/ASCE Press, 2006. P. 560 [in English].
17. Zin' Ye. A. (2011). *Upravlinnya avtomobil'nym transportom* [Road transport management]. Rivne: NUVHP [in Ukrainian].
18. Moroz, M. M., Vasytkovska, K. V., Vasytkovskyi, O. M., Sviren, M. O., Petrenko, D. I. (2019). Determining the parameters of the device for inertial removal of excess seed. *INMATEH – Agricultural Engineering*. Vol. 57 (1). P. 135-140 [in English].
19. Moroz, Mykola M., Korol, Serhii O., Boiko Yurii O. (2016). Social traffic monitoring in the city of Kremenchuk. *Actual Problems of Economics*. Vol. 175. Iss. 1. P. 385–398 [in English].
20. Moroz, M., Markevych A., Shramenko N. (2021). Development of technology of urban forwarding service of small consignment customers. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. Vol. 58-1. Global Science Center LP. P. 54–58 [in English].
21. Moroz, M. M. and oth. (2018). *Sotsial'no-ekonomichne zabezpechennya pasazhyrs'koho transportu zahal'noho korystuvannya* [Social and economic provision of public passenger transport]. *Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya*. Vol. 1 (242). P.100-105 [in Ukrainian].

Volodymyr Zahorianskyi, Assoc. Prof., DSc.

Kremenchuk Mykhailo Otrohradskiy National University, Kremenchuk, Ukraine

Application of Statistical Methods of Scientific Researches in the Surveying of Passengers Flows of Urban Road Transport

The purpose of the paper is to propose scientific and methodological approaches to the generalization of passenger flow survey methods, the formation of the route transport network of the city, the calculation of the required type and number of rolling stock of passenger road transport, the formation of a list of preferential routes.

The paper examines applied aspects of the application of the theory of urban passenger transportation in relation to transportation by means of passenger road transport of the city (PRTC). The main concepts of the theory of urban passenger transport and the issue of interaction between urban passenger transport and the city being served are analyzed on the basis of system concepts. An analysis of the main factors that affect the quality of planning, control and regulation of passenger road transport in the transport systems of cities has been carried out. Aspects of the theory of urban transport systems and design calculations of passenger transport by road are also considered. The research was carried out by the formation of new scientific and methodological approaches and scientific argumentation proposed on the basis of numerous works of domestic and foreign scientists in the field of passenger transportation organization. Research method are mathematical statistics and modeling.

The solution to the tasks of urban transport service is divided into two main complexes: the design of urban transport systems, and the organization of urban transport traffic. To form an optimal or rational route network, as well as to effectively use rolling stock and ensure a high level of passenger service, it is necessary to know the directions, sizes and degree of unevenness of passenger flows, the specific values of which are established during certain surveys. When surveying passenger flows, it is necessary to obtain reliable data in order to use them in solving problems of improving the quality of passenger service. But when choosing a survey method, it is necessary to take into account the complexity of the method and the costs of its implementation.

passengers, transportation, car, transportation, city, statistics, method, passenger traffic

Одержано (Received) 28.11.2022

Прорецензовано (Reviewed) 12.12.2022

Прийнято до друку (Approved) 29.12.2022

UDC 656.2:338.47

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.89-98](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.89-98)

Viktor Aulin, Prof., DSc., **Dmitro Holub**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Andrey Hrinkiv**, Senior Researcher, PhD tech. sci., **Serhii Lysenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Nazar Riabtsev**, student

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

e-mail: aulinvv@gmail.com

Justification of the level of competition on urban passenger routes

The components of the market competition of carriers on passenger transport routes of the city transport system are considered. It is shown that the demand for transportation can be presented in the form of matrices of passenger correspondence. Due to its fluctuations within some limits, the main issue is its distribution among the routes that form the urban route network. The essence of the level of competition between carriers, which has a growing tendency, has been revealed. It is proposed to use the Likert method and the results of a sociological survey to build a model of the attractiveness of routes as its assessment. The utility function of the route, the optimization function of Lagrange and the model of the choice of the passenger movement path were constructed. It is taken into account that transport enterprises operate in break-even conditions, and profit is a limitation when solving the task of improving the quality of public service.

level of competition, attractiveness of the route, rolling stock, passenger transportation, mathematical modeling

© В.В. Аулін, Д.В. Голуб, А.В. Гриньків, С.В. Лисенко, Н.О. Рябцев, 2022

Formulation of the problem. Sustainable functioning of urban passenger transport is one of the indicators of the quality of life of the population. Road transport plays an important role in meeting the demand for passenger transportation in Ukraine [1]. In recent years, the market economy has significantly changed the operating conditions of passenger road transport and the nature of the city's population's demand for transport services. Population demand has become more diverse in its spatial and temporal characteristics, which are quite difficult to take into account when organizing and managing passenger transportation in cities [2,3]. At the same time, it is appropriate to obtain objective information about passenger flows, the structural composition of passengers and the peculiarities of their consumption of city passenger transport services, their quality, as well as the determination and forecasting of passenger demand for different types of rolling stock.

Analysis of recent research and publications. The construction of models and approaches for assessing the quality of transport services for the urban population was carried out by domestic and foreign scientists: G.A. Varelopulo, V.O. Vdovichenko, A.V. Velmozhyh, P.F. Gorbachev, V.A. Gudkov, A.G. Goldin, N.U. Gulev, V.K. Dolya, M.G. Martynov, E.V. Nagorny, V.V. Aulin, U.E. Deming, P.P. Dumitrashku, F.B. Crosby, M.S. Filsheson, F.U. Taylor, J.H. Harrington, Y. Tsybulka, and others. It was revealed that the formation of criteria for the effectiveness of the urban passenger transport functioning is usually carried out depending on the specific goal and the tasks to be solved [4-6]. The selected indicators for assessing the quality of the transport service, as a rule, characterize the efficiency of the state and development of individual links of the urban passenger transport system and do not reflect the requirements of passengers for the required level of transport service [7-9].

From the quality indicator of the evaluation of the service for the transportation of passengers by urban route transport, separate transport characteristics are used: the total time spent on movement, the number of transfers, safety of the trip, the filling of the ruddy warehouse, the carrying capacity of the transport, the waiting time of the vehicle at the stops [10-12]. Along with the absolute indicators of the results of passenger transportation services, relative quality indicators are offered, which consist in evaluating the deviation of certain characteristics of the transport process relative to their "ideal" values [13-16]. It was found that most of the existing methods of assessing the quality of transport services reflect the partial consequences of the transport process and do not take into account the degree of importance and significance of individual indicators for users of city routes. In this regard, it is necessary to develop a methodology for assessing the level of the quality of public transport services, taking into account the level of competition of carriers, which should take into account the attitude of users of urban routes to the transport services provided to them [17-19].

Setting objectives. The purpose of this work is the theoretical justification of taking into account the level of competition between carriers on urban passenger routes while ensuring high-quality transport service of vehicles and profitability of serving transport enterprises.

Presentation of the main material. The main task of urban passenger transport in market conditions is the provision of passenger transportation services, the quality of which must meet consumer requirements, provided that the urban passenger transport system is break-even and taking into account the level of competition between transport companies.

Market conditions within the framework of solving the issue of improving the quality of public transport services are taken into account by formalizing the relationship between demand and supply in the city passenger transportation market. Based on this, the market price is formed, but the pricing of city passenger transportation is the prerogative of local

authorities, namely the city executive committee, which plays a key role in the relationship between carriers and passengers. Its regulatory actions regarding the operation of routes and the carriers that serve them impose certain restrictions on the interaction between demand and supply, prevent the formation of a situation of full competition between carriers on the market. As the main levers of control on the part of local authorities regarding the volume of transportation on the routes, there are recommendations on the number of rolling stock that should be operated on each of the city routes.

The fare c_m^w affects the income of transport companies serving certain routes. An increase in the tariff leads to an increase in their profit, but the tariff policy in the field of transport services for the population of the cities of Ukraine, despite the market conditions, is the prerogative of the city self-government bodies.

The second component of market competition is demand, which represents the needs of the population in the framework of urban passenger transportation. They are presented in the form of a matrix of passenger correspondence for the studied period of time. The demand may fluctuate within certain limits, but for solving the problems of current planning, an assumption is made about its constancy. The main issue is the distribution of this demand between the routes that form the urban route network. In general, the demand for passenger transport services can be considered constant, i.e.:

$$H^k = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N h_{ij} = \text{const}, \quad (1)$$

where H^k – the matrix of passenger correspondence for the studied period, pas.;

h_{ij} – the amount of passenger correspondence between the i -th and j -th transport districts of the city for the calculation period, pas.;

N – the number of transport districts in the city, unit.

It is possible to formalize the offer on the passenger transport market through the transport capabilities of the routes. The data depend both on the parameters of the routes and on the technical and operational performance of the rolling stock on them. However, the main factors that influence the transportation capabilities of the routes are: the number of rolling stock operated on them and their capacity. The carrying capacity of city passenger transport per day can be estimated by the formula:

$$U = \sum_{m=1}^s V_{Em} \cdot T_{pm} \cdot \sum_{p=1}^g q_{pm} \cdot A_{pm}, \quad (2)$$

where V_{Em} – the average operating speed on the m -th route, km/h;

T_{pm} – operating time of the m -th route, hours;

q_p – the capacity of the p -th type of rolling stock operated on the m -th route, pass;

A_p – the number of units of the p -th type of rolling stock operated on the m -th route, units;

g – the number of types of rolling stock on the route, units;

s – the number of routes in the route network, unit.

As for the level of competition between passenger carriers, it (can be determined) based on the ratio of supply and demand:

$$R_k = \frac{\sum_{m=1}^s V_{Em} \cdot T_{pm} \cdot \sum_{p=1}^g q_{pm} \cdot A_{pm}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N h_{ij} \cdot l_{ij}}, \quad (3)$$

where l_{ij} – the distance between i -th and j -th transport districts of the city, km.

The analysis of this expression shows that under the condition $R_K > 1$ competition will be present among carriers, and as the value of the indicator increases, R_K its level will increase. Since the process of providing passenger transportation services takes place in the field of market conditions, competition among carriers will always be present, that is, the condition should always be used $R_K > 1$.

The level of competition affects the quality of public service on city passenger routes. Its growth, according to the classic laws of economics and marketing, should lead to an increase in the quality of the service. However, it must be taken into account that the increase in the quality of transport services implies an increase in the cost of transportation, which, with fixed tariffs, can lead to unprofitability of passenger road transportation. Therefore, it is necessary to determine such a level of competition R_K that will satisfy both consumers of services and enterprises that provide them.

As part of the work of rolling stock on city routes, one of the indicators of the quality of transport service is the level of comfort during the trip, which is formalized as a dynamic indicator of the use of the capacity of the vehicle. It is defined as the ratio of the actually performed volume of transport work to its possible volume:

$$\gamma_D = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N h_{ij} \cdot l_{ij}}{\sum_{m=1}^s V_{Em} \cdot T_{pm} \cdot \sum_{p=1}^g q_{pm} \cdot A_{pm}}. \quad (4)$$

Comparing the right-hand sides of expressions (3) and (4), we come to the conclusion that the relationship holds:

$$\gamma_D = \frac{1}{R_K}. \quad (5)$$

It can be seen that the level of competition between carriers is inversely proportional to the level of quality of public transport services. Thus, with effective passenger transportation, it is necessary to determine the balance point between the level of competition and the level of quality that satisfies both participants in the transport process of passengers and carriers.

Along with the indicator of the dynamic use of the capacity of the rolling stock γ_D , which characterizes the comfort of the trip, based on the analytical review of literary sources, it is proposed to use the travel time of t_{ij}^W passengers and the fixed cost of their travel to evaluate the quality of transport service c_m^W .

In total, the proposed three evaluation characteristics γ_D , t_{ij}^W , c_m^W of the transport process make it possible to determine the level of quality of transport service in the conditions of competition both between the same and between different types of urban passenger transport. Each of these indicators needs to be evaluated by passengers, since it is impossible to formalize the level of influence on the quality of transport services without taking into account the opinion of users of urban routes. This is due to the fact that the quality of urban passenger transport is evaluated precisely by the users of the transport service during the realization of the needs for movement, and only on the basis of their opinions and assessments it is necessary to form a quality improvement evaluation system.

In this study, as a method of assessing the impact of selected characteristics of the transport process on the quality of passenger transportation, it is proposed to apply the Likert method (sum method).

The essence of this method is as follows: the respondent must estimate the degree of

importance of factors in assessing the quality of service for his transportation needs in points from 4 to 1. According to the selected method, the significance of the factor characteristic, that is, the presence of its influence on the phenomenon under investigation, is determined on the basis of the pairwise correlation coefficient between the sum of the scores on the questionnaire and the difference of scores on the factor to be evaluated. Under the condition $r_{SB} > 0,5$ – a decision is made about the influence of the factor on the resulting feature. This is due to the respondent's indifferent attitude to this factor characteristic and his high score. Studies have shown that within the framework of the solved question, the results of the sociological research differ from the classical formulation of the task of determining the degree of influence of factor characteristics using the Likert method.

This can be explained by the fact that, when evaluating the choice of a travel option among a certain list of alternative routes, in the case of their identical characteristics according to a certain transport parameter, the passenger is satisfied with all travel options. If, on the contrary, one of the alternative routes is characterized by a high level of filling the interior of the vehicle (low level of quality), then this will lead to a high score for this factor.

The results of the sociological survey can be used as a basis for building a model of the attractiveness of routes:

$$\Pi_{ij}^k = 4 - \left(a_0 + a_1 \cdot \frac{x_{ijv}}{x_{v\max}} \right), \quad (6)$$

where Π_{ij}^k – the attractiveness function of the k -th routing path;

a_0, a_1 – regression coefficients;

x_{ijv} – the v -th factor characteristic that determines the choice of the k -th routing path;

$x_{v\max}$ – the maximum value of the v -th factor characteristic.

Analysis of formula (6) shows that its constant component is equal to four. This corresponds to the maximum score, according to the proposed methodology for determining the degree of influence of selected characteristics of factors of the transport process on the quality of the passenger transportation service.

It should be noted that the attractiveness function (6) is constructed for each factor characteristic x_{ijv} . The regression coefficients are a_1 determined on the basis of paired correlation coefficients r_{SB} , due to which the relationship between the level of influence of the i -th characteristic of the transport process on the quality of transport service and the attractiveness of the k -th option of the travel route is maintained.

Using the attractiveness function of the route, it is possible to construct its utility function:

$$W^l(c, t, \gamma) = \sum_{v=1}^f \left(4 - \left(a_{0v} + a_{1v} \cdot \frac{x_{ijv}}{x_{v\max}} \right) \right) = 12 - \sum_{v=1}^f \Pi_v \rightarrow \max, \quad l = \overline{1, p}, \quad (7)$$

where W^l – the utility function;

l – typological group of passengers;

Π_v – variable component of the attractiveness function;

f – the number of factors that determine the attractiveness of the route, $f = 3$ units.

Substituting expression (6) into expression (7), we get:

$$W^l(c, t, \gamma) = 12 - \left(a_{0c} + a_{1c} \cdot \frac{c_m^w}{c_{m\max}^w} + a_{0t} + a_{1t} \cdot \frac{t_{ij}^w}{t_{\max}^w} + a_{0\gamma} + a_{1\gamma} \cdot \frac{\gamma_{Dm}^w}{\gamma_{Dm\max}^w} \right). \quad (8)$$

To find the conditional extremum of the utility function (8), it is advisable to use the method of Lagrange multipliers, according to which the task of finding the extremum $W(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_v)$ on a set of admissible values is realized:

$$D[f_k(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_v)] = \begin{cases} f_1(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_v) = 0, \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_v) = 0, \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots (k = \overline{1, m}), \\ f_k(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_v) = 0, \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ f_m(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_v) = 0, \end{cases} \quad (9)$$

The task of finding an extremum can be reduced to the task of unconditional optimization of the Lagrange function:

$$L(x, \eta) = W(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_v) + \sum_{k=1}^m \eta_k f_k(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_v), \quad (10)$$

where $\eta(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_k, \dots, \eta_m)$ – a vector of additional variables, the components of which are Lagrange multipliers.

If the vector of factorial features $(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_v)$ is known, then we get:

$$L(x_i, \eta_1, \eta_2, \eta_3) = W(x_v) + \eta_1 \left(c_{\max} - \sum_{i=1}^a x_i c_i \right) + \eta_2 \left(t_{\max} - \sum_{i=1}^a x_i t_i \right) + \eta_3 \left(\gamma_{D\max} - \sum_{i=1}^a x_i \gamma_{Di} \right), \quad (11)$$

where c_{\max} – the marginal value of the fare, hryvnias;

t_{\max} – limit value of movement time, min.;

$\gamma_{D\max}$ – the limit value of the dynamic coefficient of filling the interior of the vehicle.

Taking into account the attractiveness function of the travel path (6), the possibility of building a model for estimating the probability of choosing a travel path has been revealed. At the same time, the principle of building a calibration model was used:

$$p_{ij}^k = \frac{12 - \sum_{v=1}^f \Pi_v}{\sum_{y=1}^q \left(12 - \sum_{v=1}^f \Pi_{vy} \right)}, \quad (12)$$

where p_{ij}^k – the probability of choosing the k -th routing path between i -th and j -th transport districts of the city;

q – the number of routes, among which the probability of choosing a route is evaluated, unit

One of the levers of regulating the quality of public transport services by local authorities is recommendations on the required number of rolling stock. Which should be operated on each of the city routes. This makes it possible to maintain the specified rate of filling of rolling stock with known characteristics of passenger flows. Along with this, in the conditions of market relations, each transport company must function in conditions of break-even. Thus, their profit acts as an additional limitation within the framework of solving the task of improving the quality of public transport services. Revenues of transport enterprises from passenger transportation can be determined by the formula:

$$D_i = \sum_{d=1}^G c_{md}^w \cdot (1 - K_{II}) \cdot A_d \cdot p_{ijd}^k \cdot \sum_{i=1}^z \sum_{j=1}^e h_{ij}^k, \quad (13)$$

where G – the number of routes served by a certain transport company, units;
 K_{II} – the income reduction coefficient, which takes into account the specific weight of the preferential quota in the total volume of transportation;

c_{md}^w – tariff on the m -th route of the w -th type of city passenger transport on the d -th route, hryvnias;

A_d – the number of vehicles serving d -th route, units;

N_p – the number of flights performed per day by one route vehicle, units;

h_{ij}^k – the number of passenger correspondences that can be served by one route vehicle per flight, pas.

In the city of Kropyvnytskyi, an assessment of the quality of transport service of the routes of the transport system was carried out according to the following characteristics: transportation tariff, travel time and the degree of filling of the interior of the route vehicle. According to the developed methodology, a high correlation relationship between the sum of the scores on the questionnaire and the difference in the scores on the factor sign indicates a low level of quality based on the evaluation factor, since this characteristic of alternative routes encourages the passenger to evaluate the travel option. According to the results of the sociological survey, the correlation coefficients for each factor were calculated, which were the following values: transportation tariff – $r_{SBc} = 0,679$, travel time – $r_{SBt} = 0,685$, the degree of filling of the vehicle interior – $r_{SB\gamma} = 0,933$. Based on the results of the calculations, it can be concluded that the most significant factor affecting the quality of transport service is the dynamic coefficient of filling the interior of the vehicle.

The results of the survey of passenger flows on the route network of the city of Kropyvnytskyi served as the basis for building a model of demand for urban passenger transport services – a matrix of passenger correspondence, which was modeled using the gravity method. To build demand models for transport services, the territory of the city of Kropyvnytskyi is divided into 55 transport districts. The capacities of the transport areas for departure and arrival were determined based on the results of surveys of passenger flows at control sections of the city's route network. Based on the fact that the survey of passenger flows was carried out throughout the day, the construction of four matrices of passenger correspondence was performed, which characterize the demand for movement in the morning peak, evening peak, between the peak period and the evening decline (after the evening peak).

Conclusions.

1. A number of approaches to evaluating and improving the quality of transport services have been identified, however, most of them do not take into account the relationship of transport service users to various characteristics of the transportation process and the degree of competition of carriers on city routes, which does not allow to approach the solution of this problem taking into account the issue of consumer needs. Therefore, a method of improving the quality of passenger service for the urban population is proposed, taking into account the economic indicators of the functioning of transport enterprises to ensure their profitability, the level of competition and the attractiveness of the route for passengers.

2. The method of assessing the quality of transport services for the city population is theoretically substantiated, taking into account the level of competition between carriers and the levers of its regulation by local self-government bodies. One of the main tools for forming a rational level of competition and ensuring an appropriate level of quality is the recommendations for determining the rational number of vehicles that should be operated on each route, taking into account the appropriateness of their capacity and capacity of passenger flows.

3. A method of determining the attractiveness of a route for a passenger has been developed, which is based on the results of a survey of passenger flows on urban routes and the probability of choosing a route taking into account the actual attitude of users of urban routes to the characteristics of alternative options for movement. This makes it possible to carry out the actual distribution of demand for transport services between different types of urban passenger transport in conditions of competition between carriers.

Список літератури

1. Горбачов. П.Ф. Сучасні наукові підходи до організації роботи маршрутного пасажирського транспорту в містах : монографія. Харків: ХНАДУ, 2009. 196 с.
2. Горбачов. П.Ф., Любий Є.В. Моделювання попиту на перевезення населення малих міст маршрутним пасажирським транспортом : монографія. Харків : ХНАДУ, 2014. 134 с.
3. Аулін В. В., Голуб Д. В., Гриньків А. В., Лисенко С. В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. 370 с.
4. Любий Є.В., Пономарьова Н.В., Чернишова О.С. Транспортне планування міст: сучасні інструменти транспортного моделювання автотранспортних систем. *Комунальне господарство міст: науково-технічний збірник*. 2016. Вип. 128. С. 76-82.
5. Никончук В.М. Дослідження системи транспортного обслуговування пасажирів за показниками якості. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36), ч.ІІ. С. 246-253.
6. Тарандушка Л.А., Шльончак І.А., Тарандушка І.П. Оцінка якості обслуговування пасажирів міським транспортом загального користування в м. Черкаси. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36), ч.ІІ. С. 253-261.
7. Филімонова І.Ю., Василенко Т.Є., Фесенко Д.В. Теоретичні аспекти оцінки якості роботи автобусів. *Вісті Автомобільно-дорожнього інституту*. 2011. Вип. 2(13). С. 15-20.
8. Боровик Н.А., Сив'юк Т.С. Оцінка якості та ефективності пасажирських перевезень у сучасних ринкових умовах . *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія*. 2012. Вип. 9. С. 268-270.
9. Кучерук Г.Ю. Якість транспортних послуг: управління, розвиток та ефективність: монографія. Київ: РВЦ ДЕДУТ, 2011. 208 с
10. Вдовиченко В.О. Методологічні основи формування системної ефективності громадського пасажирського транспорту в умовах сталого розвитку: монографія. Харків: ХНАДУ, 2017. 212 с.
11. Аулін В.В., Голуб Д.В., Плохов І.О. Підвищення ефективності використання рухомого складу при перевезенні пасажирів. Тези доповідей викладачів, аспірантів та співробітників на XLVI науковій конференції 16 квітня 2015 року. Кіровоград: КНТУ, 2015. С. 4-5.
12. Аулін В.В., Голуб Д.В. Математичне моделювання міських пасажирських перевезень. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2008. Вип. 42. С. 106-110.
13. Аулін В.В., Голуб Д.В. Якість перевезень пасажирів як невід'ємна частина транспортного процесу. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. Михайла Остроградського*. 2008. № 5 (52), ч.2. С. 80-84.
14. Аулін В.В., Голуб Д.В. Удосконалення роботи міського пасажирського транспорту впровадження центральної диспетчерської системи. *Вісник СевНТУ, серія: Машиноприладобудування та транспорт*. 2011. Вип. 122. С. 95-98.
15. Горбачёв, П.Ф., Россолов А.В., Гончаренко С.Ю. Модифицированный метод табличного обследования пассажирских корреспонденций в средних городах. *Автомобильный транспорт: сб. науч. тр.* 2014. Вып. 34. С. 101-104.
16. Россолов О.В. Моделювання попиту на послуги міського пасажирського транспорту при проведенні масових заходів у містах. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2013. № 3(63). С. 22-25.
17. Россолов, А.В., Любий Е.В. Определение уровня вариативности матрицы пассажирских корреспонденций. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. Т. 1, N 4(61). С. 43-47.
18. Горбачов П.Ф., Макарічев О.В., Россолов О.В., Любий Є.В., Чижик В.М. Аналітична оцінка мінімальних та максимальних витрат часу пасажирів на зупинці міського маршруту. *Автомобильный транспорт: сб. науч. тр.* 2013. Вип. 32. С. 67-71
19. Россолов А.В. Закономерности формирования спроса на услуги городского пассажирского

транспорту. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. № 4-3(64). С. 8-10.

References

1. Horbachov, P.F. (2009). *Suchasni naukovi pidkhody do orhanizatsii roboty marshrutnoho pasazhyrskoho transportu v mistakh [Modern scientific approaches to the organization of scheduled passenger transport in cities]*. Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].
2. Horbachov, P.F. & Liubiyi, Ye.V. (2014). *Modeliuvannya popytu na perevezennia naseleennia malykh mist marshrutnym pasazhyrskym transportom : monohrafiia [Modeling of the demand for transportation of the population of small cities by scheduled passenger transport: monograph]*. Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].
3. Aulin, V.V. Holub, D.V. Hrynkiv, A.V. & Lysenko, S.V. (2017). *Methodological and theoretical bases of maintenance and increase of reliability of functioning of automobile transport systems*. V.V. Aulin (Ed.). Kropyvnytskyi: Publishing House LLC "CODE" [in Ukrainian].
4. Liubiyi, Ye.V., Ponomarova, N.V. & Chernyshova, O.S. (2016). Transportne planuvannya mist: suchasni instrumenty transportnoho modeliuvannya avtotransportnykh system [Transport planning of cities: modern tools of transport modeling of motor transport systems]. *Komunalne hospodarstvo mist: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk - Communal management of cities: Scientific and technical collection, Issue 128*, 76-82 [in Ukrainian].
5. Aulin, V.V. Holub, D.V. & Hrynkiv, A.V. (2016). Doslidzhennia systemy transportnoho obsluhovuvannya pasazhyriv za pokaznykamy iakosti [The degree of reliability and quality of passenger and freight road transport in Ukraine by national and international standards]. *Tsentral'noukrains'kyi naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Bulletin of Eng. Academy of Ukraine*, 3, 156-162 [in Ukrainian].
6. Tarandushka, L.A., Shlonchak, I.A. & Tarandushka, I.P. (2022). Otsinka yakosti obsluhovuvannya pasazhyriv miskym transportom zahalnoho korystuvannya v m. Cherkasy [Assessment of the quality of passenger service by public public transport in Cherkasy]. *Tsentralnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky - Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences. Issue. 5(36), part.II*, 253-261 [in Ukrainian].
7. Fylymonova, I.Yu., Vasylenko, T.Ye. & Fesenko, D.V. (2011). Teoretychni aspekty otsinky iakosti roboty avtobusiv [Theoretical aspects of bus quality assessment]. *Visti Avtomobil'no-dorozhnoho instytutu – News of the Automobile and Road Institute, Vol. 2 (13)*, 15–20 [in Ukrainian].
8. Borovyk N.A. & Syv'uk T.S. (2012). Otsinka iakosti ta efektyvnosti pasazhyrskyykh perevezen' u suchasnykh rynkovykh umovakh . Estimation of quality and efficiency of passenger transportation in modern market conditions . *Upravlinnia proektamy, systemnyi analiz i lohistyka. Tekhnichna serii. – Project Management, Systems Analysis and Logistics. Technical series. Vol. 9*, 268–270 [in Ukrainian].
9. Kucheruk H.Yu. (2011). *Yakist' transportnykh posluh: upravlinnia, rozvytok ta efektyvnist' [Quality of transport services: management, development and efficiency]*. Kyiv: RVC DETUT [in Ukrainian].
10. Vdovychenko V.O. (2017). *Metodolohichni osnovy formuvannya systemnoi efektyvnosti hromads'koho pasazhyr'skoho transportu v umovakh staloho rozvytku: monohrafiia [Methodological bases of formation of system efficiency of public passenger transport in the conditions of sustainable development]*. Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].
11. Aulin, V.V., Holub, D.V. & Plokhov, I.O. (2015). Improving the efficiency of the use of rolling stock in the carriage of passengers. *Abstracts of reports of teachers, graduate students and staff at the XLVI Scientific Conference on April 16, 2015. Kirovograd: KNTU*, 4-5 [in Ukrainian].
12. Aulin, V.V. & Holub, D.V. (2008). Mathematical modeling of urban passenger traffic. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Road University*, 42, 106-110 [in Ukrainian].
13. Aulin, V.V. & Holub, D.V. (2008). Yakist' perevezen' pasazhyriv iak nevid'iemna chastyna transportnoho protsesu [The quality of passenger traffic as an integral part of the transport process]. *Visnyk Kremenchuts'koho derzhavnoho politekhnichnoho universytetu im. Mykhajla Ostrograds'koho – Bulletin of Kremenchug State Polytechnic University. Mykhailo Ostrogradsky*, 5 (52), 2, 80-84 [in Ukrainian].
14. Aulin, V.V., & Holub, D.V. (2011). Udoskonalennia roboty mis'koho pasazhyr'skoho transportu vprovadzhennia tsentral'noi dyspetchers'koi systemy [Improving the work of urban passenger transport, introduction of a central dispatching system]. *Visnyk SevNTU, serii: Mashynopryladobuduvannya ta transport – Bulletin of SevNTU, series: Mechanical engineering and transport, Issue 122*, 95-98 [in Ukrainian].
15. Gorbachyov, P.F., Rossolov, A.V. & Goncharenko, S.Yu. (2014). Modifitsirovannyiy metod tablichnogo obsledovaniya passazhirskih korrespondentsiy v srednih gorodah [Modified method of tabular survey of passenger correspondence in medium-sized cities]. *Avtomobilnyi transport: sb. nauch. tr. – Road transport: Sat. scientific tr., Issue 34*, 101-104 [in Russian].

16. Rossolov, O.V. (2013). Modeliuvannya popytu na posluhy miskoho pasazhyrskoho transportu pry provedenni masovykh zakhodiv u mistakh [Modeling of demand for urban passenger transport services during mass events in cities]. *Skhidno-yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnolohii - Eastern European Journal of Advanced Technologies*, 3(63), 22-25 [in Ukrainian].
17. Rossolov, A.V. & Lyubiy E.V. (2013). Opredelenie urovnya variativnosti matritsyi passazhirskih korrespondentsiy [Determining the level of variability of the passenger correspondence matrix]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnolohiy - East European Journal of Advanced Technologies*, Vol.1, 4(61), 43-47 [in Russian].
18. Horbachov, P.F., Makarichev, O.V., Rossolov, O.V., Liubyi, Ye.V. & Chyzyk V.M. (2013). Analitichna otsinka minimalnykh ta maksimalnykh vytrat chasu pasazhyriv na zupyntsi miskoho marshrutu [Analytical assessment of the minimum and maximum time spent by passengers at a stop on the city route]. *Avtomobylnyi transport: sb. nauch. tr. - Automobile transport: Sat. science tr., Issue 32*, 67-71 [in Ukrainian].
19. Rossolov, A.V. (2013). Zakonomernosti formirovaniya sprosa na uslugi gorodskogo passazhirskogo transporta [Patterns of formation of demand for urban passenger transport services]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnolohiy - East European Journal of Advanced Technologies*, 4-3(64), 8-10 [in Russian].

В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, **Д.В. Голуб**, доц., канд. техн. наук, **А.В. Гриньків**, ст. досл., канд. техн. наук, **С.В. Лисенко**, доц., канд. техн. наук, **Н.О. Рябцев**

Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна

Обґрунтування рівня конкуренції на міських пасажирських маршрутах

В даній роботі теоретично обґрунтовано врахування рівня конкуренції між перевізниками на міських пасажирських маршрутах при забезпеченні якісного транспортного обслуговування транспортних засобів та рентабельності обслуговування транспортних підприємств.

На прикладі м. Кропивницького розглянуто складові ринкової конкуренції перевізників на маршрутах пасажирських перевезень міської транспортної системи. Показано, що попит на перевезення можливо представити у вигляді матриць пасажирських кореспонденцій. Через його коливання у деяких межах, основним питанням є його розподіл між маршрутами, які формують міську маршрутну мережу. Показано, що в ринкових умовах в межах вирішення питання підвищення якості транспортного обслуговування населення враховується шляхом формалізації співвідношення між попитом і пропозицією. Виявлено, що на взаємодію попиту і пропозиції певні обмеження накладає тарифікація на міські пасажирські перевезення. Отримано вираз для критерію рівня конкуренції, виходячи із співвідношення попиту і пропозицією на міські пасажирські перевезення. Виявлено сутність рівня конкуренції між перевізниками, який має тенденцію до зростання. Запропоновано в якості його оцінки застосовувати метод Лайкерта і результати соціологічного обстеження для побудови моделі привабливості маршрутів. Показано, що рівень конкурентної боротьби між перевізниками впливає на якість обслуговування населення на міських пасажирських маршрутах. Запропоновано вираз для оцінки цього показника. Визначено, що рівень конкуренції між перевізниками знаходиться в зворотньо-пропорційній залежності з рівня якості транспортного обслуговування населення. Побудовано функцію корисності маршруту, оптимізаційну функцію Лагранджа та модель вибору шляху пересування пасажирів. Враховано, що транспортні підприємства функціонують в умовах беззбитковості, а прибуток виступає обмеженням при вирішенні завдання підвищення якості обслуговування населення. При обстеженні пасажирської транспортної мережі м. Кропивницького була проведена оцінка якості транспортного обслуговування за такими характеристиками: тарифу на перевезення, часу поїздки, ступеню наповнення салону транспортних засобів.

По результатах соціологічного обстеження розраховано коефіцієнт кореляції для кожного із зазначених факторів, які відповідно рівні: 0,679; 0,685; 0,933. Виявлено, що найбільш значущим фактором є динамічний коефіцієнт заповнення салону транспортного засобу.

рівень конкуренції, привабливість маршруту, рухомий склад, пасажирські перевезення, математичне моделювання

Одержано (Received) 26.11.2022

Прорецензовано (Reviewed) 01.12.2022

Прийнято до друку (Approved) 29.12.2022

УДК 629.3.017

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.99-107](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.99-107)

М.Є. Тараненко, проф., д-р техн. наук, **Г.В. Мигаль**, проф., д-р техн. наук,
Н.В. Кобрина, доц., канд. техн. наук, **І.М. Тараненко**, проф., канд. техн. наук
*Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "Харківський
авіаційний інститут" м.Харків, Україна*

Д. В. Молоштан, канд. техн. наук

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
м.Кременчук, Україна, e-mail: moloshtandima@gmail.com*

Кваліметрична модель управління якістю технічної підготовки виробництва транспортної техніки

Ця стаття є продовженням досліджень щодо використання методів кваліметрії до управління якістю технічної підготовки до проходження основних етапів життєвого циклу продукції. Використання методів кваліметрії дозволяє більш обґрунтовано обирати варіанти багаточисельних технічних задач при реалізації проектів, які відносяться до транспортної техніки. У статті наведена систематизація властивостей транспортної техніки та показано приклади формоутворення пріоритетних дерев властивостей для різної цільової оптимізації підготовки виробництва. Синтезована математична модель управління якістю технічної підготовки виробництва, що дозволяють за допомогою цільової оптимізації максимізувати комплексний показник якості процесу. Приведено алгоритм використання розробленої моделі.

підготовка виробництва, транспортна техніка, кваліметрія, матмодель процесу, оптимізація, комплексний показник якості

Постановка проблеми. Якість продукції продовжує залишатися основним фактором у конкурентній боротьбі на світових ринках. Чим вище якість конкретної продукції, тим вище вірогідність її просування на сегменті ринку. Якість продукції визначається не тільки якістю виготовлення (виробництва), але і іншими етапами життєвого циклу продукції, включаючи етапи вибору параметрів технічного завдання на її проектування, виготовлення та далі, включаючи етап утилізації.

Вибір параметрів продукції для технічного завдання на її проектування і виготовлення повинен бути строго обґрунтований та враховувати найкращі параметри та характеристики існуючої на ринку продукції відповідного призначення.

Результати технічної підготовки виробництва, що виконуються у відповідності до технічного завдання, повинні відповідати цілям виробництва.

Цілі виробництва сучасної транспортної техніки можуть бути різноманітними:

- мінімальні строки підготовки прототипного (одиночного) виробництва;
- мінімізація енерго-, трудових, матеріальних і фінансових витрат;
- максимізація окремих властивостей техніки – призначення, надійності, ергономічних і економічних властивостей;
- керування експлуатаційними характеристиками й роботами й інших властивостей.

У загальноприйнятій у теперішні час послідовності виконання підготовці виробництва (ПВ) конструкторська та технологічна підготовка проводяться сумісно та продуктом такого суміщення є конструкторсько-технологічні рішення (КТР). На етапі підготовки їх може бути декілька і вони можуть відрізнятися своїми властивостями. Цільова оптимізація властивостей КТР повинна проводитися достатньо об'єктивно з використанням сучасної обчислювальної техніки. Для цього необхідно синтезувати математичні моделі процесів ПВ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі використовується системний аналіз виробництва та функціонування транспортної техніки та методи кваліметричного аналізу властивостей. Залучено базові відомості про багатовимірні простори.

У роботі [1] показано, що якість сучасних транспортних засобів характеризується більшою кількістю складних і простих властивостей, які в комплексі аналізувати досить складно. Тому в ряді робіт з управління якістю продукції, зокрема [2], пропонується послідовно розглядати групи властивостей і підвластивостей, а їхні кількісні характеристики оцінювати певним показником якості (ПЯ).

Сукупність властивостей і їх підвластивостей являють собою дерево властивостей. Для кількісної оцінки комплексної властивості розроблені певні процедури [2].

Кожна властивість оцінюється її кількісними показниками. До таких показників висуваються вимоги адекватності, тобто якась зміна проявлення властивості тягне за собою зміну показника цієї властивості.

Властивості можуть бути простими та складними. Складні визначаються групою простих властивостей та мають назву групових. У складних за структурою “деревах властивостей” розрізняють властивості першого, другого та наступних рівнів.

Огляд та аналіз світової літератури [3-10] показали, що більшість досліджень присвячена розгляду загальних питань управління якістю конкретних видів продукції або товарів, але не процесів. У значній частині статей з питань якості основна увага приділяється питанням методів створення комплексного показника якості. Яскравим прикладом цього напрямку досліджень є праця [2]. У деяких працях показано перспективи врахування у комплексному показнику якості знову формованих властивостей управління, наприклад, інтелектуальних телепатичних технологій [11].

Постановка завдання. Метою роботи є підвищення обґрунтованості рішень, що приймаються при технічній підготовці виробництва та експлуатації транспортної техніки на основі синтезованої комплексної кількісної (кваліметричної) математичної моделі керування процесами.

У роботі розглянута одна з найбільш складних галузей другої “природи”, що оточує людину – транспортна техніка. Вона включає широкий спектр машин – від найпростіших автомобілів до інопланетних пристроїв, що переміщуються по твердій поверхні, від літаків та ракет до підводних човнів. Вони можуть керуватися як людиною (оператором), так і автоматично з використанням штучного інтелекту. Їх характеризує велика кількість властивостей, що визначають їх якість. Комплексна оцінка основних властивостей транспортної техніки дозволяє досягнути цільової оптимізації процесів керування на усіх етапах життєвого циклу продукції.

Виклад основного матеріалу З огляду на велику кількість різноманітних властивостей транспортної техніки пропонується ранжувати ці властивості за пріоритетами призначення техніки. Наприклад:

– перша низка пріоритетних властивостей може включати наступні групи властивостей: призначення, надійності, безпеки, екологічності та ступінь інтелектуальності керування;

– друга низка варіантів може об’єднувати такі групи властивостей: ергономічні, екологічні, органолептичні, патентно-правові та естетичні;

– третю низку варіантів складають наступні групи властивостей: уніфікації вузлів, деталей, процедур та інші при виробництві та експлуатації, ступінь складності підготовки до експлуатації або використання, ступінь складності при утилізації.

Крім названих варіантів можна припускати інші групування вказаних та нових

властивостей. Об'єднання властивостей у ряди повинно мати переважний або пріоритетний характер для визначеного виду техніки.

Графічне представлення дерев властивостей розглянутих варіантів рядів показано на рис. 1-3.



Рисунок 1 – Приклад формування першого варіанту пріоритетних властивостей
Джерело: розроблено автором

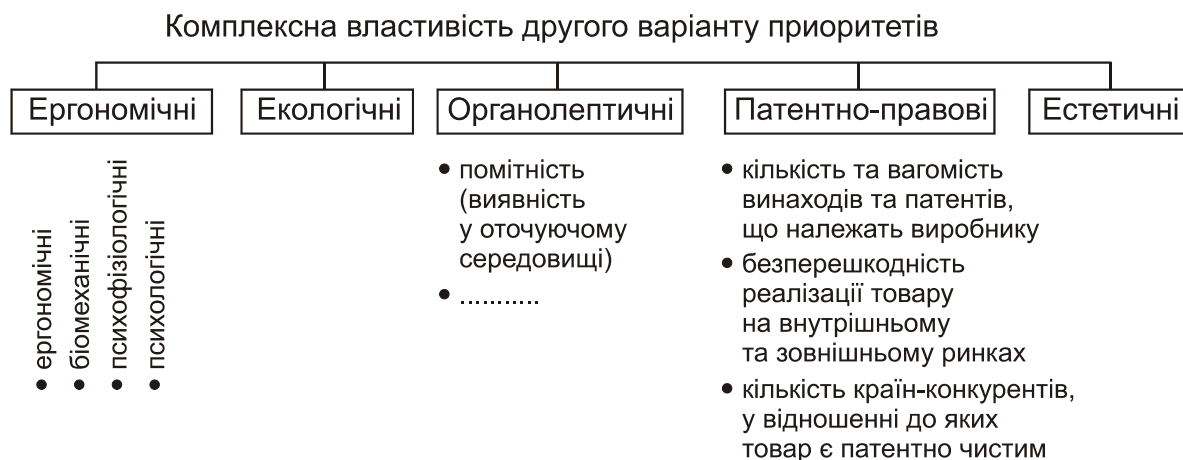


Рисунок 2 – Приклад формування другого варіанту пріоритетних властивостей
Джерело: розроблено автором

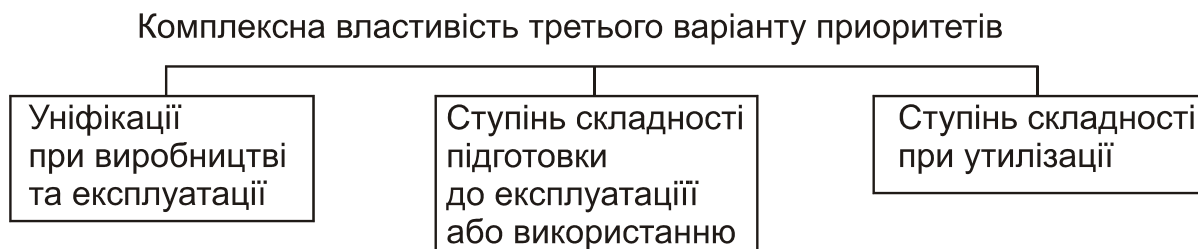


Рисунок 3 – Приклад формування третього варіанту пріоритетних властивостей
Джерело: розроблено автором

Сукупність властивостей призначення включає паспортні та експлуатаційні характеристики, а також питомі витратні показники (енергії, запасних частин та інші) [12].

Група властивостей надійності об'єднує властивості безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та зберігання.

Оцінювати показники властивостей безпечності зручно при окремому розгляданні груп властивостей безпеки при експлуатації та груп властивостей інформаційної безпеки.

Група властивостей економічності включає властивості, що визначаються собівартістю виготовлення та експлуатації, а також тривалістю технічної підготовки етапів життєвого циклу продукції.

У сучасних умовах слід розглядати групу властивостей, що умовно мають назву ступінь інтелектуалізації керування транспортним засобом. У теперішній час розглядаються (випробовуються) багато варіантів інтелектуального керування різних видів транспортних засобів. Їх поглиблений розгляд являє собою окрему задачу.

У другому варіанті (ряді) пріоритетних властивостей (рис. 2) зосереджені властивості, що менш пріоритетні для окремих видів транспортної техніки. Ергономічні властивості [1], що включають антропометричні, біомеханічні, психофізіологічні властивості, можуть бути менш пріоритетними для безпілотних транспортних засобів, які керуються за жорсткою (не адаптивною) програмою.

Екологічні властивості, що визначаються ступенем дії на оточуюче середовище, повинні оцінюватися хімічною, фізичною або механічною (пошкодження рослинного покриву у тундрі), а також акустичною взаємодіями [14-21].

Органолептичні властивості транспортного засобу визначаються як чуттєво сприйняту особливість виробу. Причому це відносить до усіх органів відчуття людини. Взагалі, до їх числа відносяться естетичні властивості. Але у застосуванні до транспортної техніки і, особливо, легковим автомобілям естетичні властивості можна виділити до окремої групи. У застосуванні до автомобілів та будь-якої транспортної техніки військового призначення достатньо важливою є властивість помітності/непомітності (виявності/невиявності) у оточуючому середовищі в усіх діапазонах, що передають інформацію. Причому проявлення цієї властивості для вказаних видів транспортних засобів повинно бути прямо протилежним.

За характером сприйняття особливостей транспортної техніки до групи органолептичних властивостей достатньо близька група естетичних властивостей – ці обидві групи властивостей сприймаються органами почуття людини. Але естетичні властивості багато в чому оцінюються з використанням свідомості людини з його індивідуальними уявленнями про прекрасне. Більш глибоке дослідження показників естетичних властивостей автори залишають за межами цієї роботи.

З точки зору реалізації транспортної техніки на ринках дуже важливі патентно-правові властивості. Показниками цих властивостей пропонується вважати:

- кількість та вагомість винаходів та патентів, що належать виробнику техніки;
- безперешкодність реалізації техніки на внутрішніх та зовнішніх ринках;
- кількість країн-конкурентів, у відношенні до яких товар є патентно чистим.

Таким чином, у цьому варіанті пріоритетів властивостей вони сконцентровані таким чином, щоб характеризувати взаємодію транспортної техніки з оточуючим середовищем, яке розглядається у самому узагальненому плані.

У третьому варіанті пріоритетів можливо розглядати властивості, які більш характерні для етапів виробництва та експлуатації (рис. 3). Це властивості уніфікації вузлів, деталей, технологічних процесів та процедур, що дозволяють скоротити строки

та трудомісткість підготовки та проведення процесів виготовлення, використання техніки та її утилізації.

При формуванні груп властивостей урахувалася вимога теоретичної кваліметрії про небажаність перевищення кількості аналізованих груп більше 5...7 штук.

Таким чином, всю безліч розглянутих властивостей з їх кількісними показниками можна об'єднати до пріоритетних груп, а окремі показники – до комплексного показника.

Відповідно до викладеного в [2] методикою кваліметричного аналізу комплексний показник групи властивостей визначається залежністю

$$K_{\text{компл}} = \varphi(K_i g_i K_{\text{еф}}), \quad (1)$$

де φ – функція згортки, виражена різними номіналами, середніми й іншими видами математичних залежностей;

K_i – одиничний показник якості властивості;

$K_{\text{еф}}$ – коефіцієнт збереження ефективності, що відображає особливості прояву властивостей, часу їхнього прояву й ін.

Одиничний відносний показник якості властивості можна записати у вигляді функції

$$K_i = \frac{Q_i - Q_i^{\text{бр}}}{Q_i^{\text{ет}} - Q_i^{\text{бр}}}, \quad (2)$$

где Q – абсолютний показник якості властивості, що має відповідну розмірність; індекси i , бр та ет відповідають фактичному показнику якості i -ї властивості;

бр – бракувальному значенню показника i -ї властивості;

ет – еталонному (кращому з відомих).

У випадку відсутності значення $Q_i^{\text{бр}}$ можна приймати

$$K_i = Q_i / Q_i^{\text{ет}}. \quad (3)$$

Фізичний зміст цієї формули полягає в тому, що проявляється ступінь досконалості (якості) розглянутої властивості. Це відношення конкретних значень кількісних параметрів, що визначають розглянуті властивості (фактичні й еталонні).

Пропонується трансформувати залежність (1) у наступний вигляд

$$K_{\text{компл}} = \varphi(g_1 K_1 t_1^{-1} + g_2 K_2 t_2^{-1} + \dots + g_n K_n t_n^{-1}), \quad (4)$$

де g – коефіцієнт вагомості властивості, $\sum g_i = 0 \dots 1, 0$;

K – показник якості відповідної властивості;

t – час досягнення заданого значення K для кожної з властивостей при підготовці виробництва.

Обов'язковою умовою при підготовці нового виробництва повинне бути виконання нерівності

$$K_{\text{компл}}^{\text{нов}} > K_{\text{компл}}^{\text{пред}}. \quad (5)$$

Тобто нове виробництво повинне мати комплексну якість, що перевищує якість попереднього виробництва.

Включення параметра часу в залежність (5) можна пояснити в такий спосіб. Досить представити тривимірний простір властивостей певної техніки (рис. 4). Багатомірний простір властивостей для 1-го ряду пріоритетів буде 5-мірним.

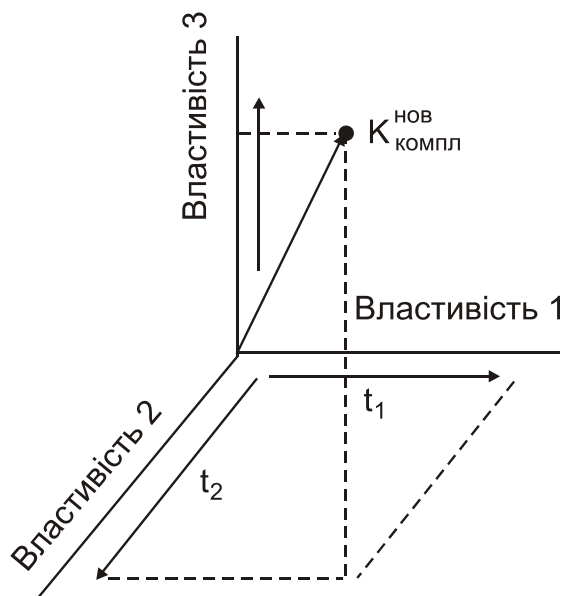


Рисунок 4 – Схематичне подання в тривимірному просторі комплексного показника
Джерело: розроблено автором

Метою нового виробництва є досягнення нового, підвищеного значення $K_{\text{КОМПЛ}}^{\text{НОВ}}$ (на рис. 4 позначено жирною точкою).

Для цього потрібно поліпшувати властивості 1, 2, 3. Але це поліпшення досягається нерівномірно по властивостях, а за різні проміжки часу t_1, t_2, t_3 . Але час є абсолютним й тільки по витіканню максимального (відповідної властивості) значення показника властивості можна досягти значення, що визначає ПЯ. Виходячи з геометричних міркувань про те, що максимальна довжина діагоналі в куба, можна вносити (використати) раціональні технічні рішення для досягнення якості.

Алгоритм керуванням якістю технічною підготовкою виробництва з використанням залежності (4) полягає в наступному.

Виходячи із загальних основних технічних вимог, що висуваються до запланованої продукції й цілей її виробництва вибирається ряд пріоритетних властивостей. Це можуть бути 1, 2 або наступні ряди. Вибір здійснюється на основі експертних висновків. При цьому варто оцінити значення комплексного ПЯ відомих моделей подібного призначення й, бажано, рівень підвищення комплексного показника якості нової продукції. Шляхом послідовного перебору варіантів значень параметрів g_i та t_i , які попередньо призначаються з досвіду, розраховують набір значень K_i . За залежністю (3) розраховується кількісне значення розмірного показника $Q_i^{\text{НОВ}}$. Далі в результаті конструктивно-технологічного пророблення виявляється ряд КТР, що забезпечують одержання розрахункового значення показника $Q_i^{\text{НОВ}}$.

На наступному етапі за залежністю (4) порівнюються ПЯ відібраних КТР та з цих варіантів обирається найкращий.

У випадку одержання незадовільних варіантів КТР розрахунок повторюється з новим набором значень g_i та t_i до одержання задовільного результату.

Як правило, практична реалізація відібраного КТР можлива декількома технологічними процесами. Наприклад, деталі з композитних матеріалів можна одержувати викладенням, намотуванням, напилюванням і т.д. Металеві деталі обробляються різанням, фрезеруванням або методами електроерозійної обробки й т.п.

У цьому випадку вибір раціональних технологічних процесів проводиться з використанням залежності (4), але на рівні технологічних параметрів, набір яких визначається цільовою оптимізацією.

Такий складний алгоритм для своєї реалізації вимагає використання відповідної обчислювальної техніки й баз даних.

Повторимо, реалізація запропонованої моделі керування й високий ступінь її адекватності залежать от вибору кількісних відзначених ПЯ відповідних властивостей, які мають фізичний, геометричний або інший матеріальний зміст.

Наприклад, ступінь інтелектуалізації керування можна оцінювати відносною кількістю автоматизованих функцій керування й глибиною інтелектуалізації, які у свою чергу оцінюються характеристиками блоку керування бортового комп'ютера (обсяг пам'яті, швидкість операцій та інше).

У якості другого прикладу можна привести оцінку властивості помітності (виявності) об'єкта у оточуючому середовищі. Цю властивість можна оцінювати рівнем параметра сигналу, що виділяється у оточуюче середовище. У цьому випадку базовим параметром є “порог чутності” сигналу відповідної частоти та природи.

Показниками безпеки є відомі характеристики вірогідності порушення безпеки відповідної природи.

Висновки.

1. Розроблено математичну модель управління якістю технічної підготовки виробництва та експлуатації транспортної техніки.

2. Вхідним параметрами моделі є показники відповідних властивостей. Керованими параметрами моделі є відповідні коефіцієнти вагомості властивостей процесів.

3. Вихідним параметром є комплексний показник якості комплексної властивості, який повинен наближуватися до максимального значення.

4. Алгоритм функціонування моделі передбачає можливість її використання при виборі пріоритетних для цільової оптимізації властивостей, конструктивно-технологічних рішень та виробничих технологічних процесів на усіх етапах.

5. Приведено загальну систематизацію властивостей транспортної техніки, найбільш пріоритетних для різних її видів, включаючи наземну, повітряну та водну.

Список літератури

1. Тараненко М. Є., Мигаль Г. В., Кобріна Н. В., Маковецький А. В. Проблема комплексного забезпечення якості та безпеки функціонування транспортних засобів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 2022. Вип. 21. С. 6-21, DOI: 10.30977/VEIT.2021.21.0.
2. Азгольдов, Г. Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии) . Г. Г. Азгольдов. М. : Экономика, 1982. 256 с.
3. Siva, Vanajah; Gremyr, Ida; Bergquist, Bjarne; Garvare, Rickard; Zobel, Thomas; Isaksson, Raine (2016-12-01). The support of Quality Management to sustainable development: a literature review. *Journal of Cleaner Production*. 138: 148–157. doi:10.1016/j.jclepro.2016.01.020.
4. Craig M. Becker, Mary A. Glascoff. (2014). Process measures: a leadership tool for management. *The TQM Journal*. Vol. 26, Issue: 1. Pp. 50-62, <https://doi.org/10.1108/TQM-02-2013-0018>.
5. Warzecha, B. The Problem with Quality Management: Process orientation, controllability and zero-defect processes as modern myths (Philosophy in Practice), 2017, ISBN 9783981863833; e-book ISBN 9783981863826.
6. Smeds, M. (2022). Deming's tampering revisited: definition and future research agenda. *International Journal of Quality and Service Sciences*. Vol. 14 No. 5. Pp. 37-51. <https://doi.org/10.1108/IJQSS-03-2021-0041>.
7. Carnerud, D. (2018). 25 Years of quality management research-outlines and trend. *International Journal of Quality and Reliability Management*. Vol. 35. No. 1. Pp. 208-231.
8. Ojasalo, J. (2019). Short-term and long-term quality of service. *International Journal of Quality and*

- Service Sciences*, Vol. 11 No. 4, pp. 620-638.
9. Siva, V., Gremyr, I., Bergquist, B., Garvare, R., Zobel, T. and Isaksson, R. (2016). The support of quality management to sustainable development: a literature review. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 138. Pp.148-157.
 10. Wawak, S., Rogala, P. and Dahlgaard-Park, S.M. (2020). Research trends in quality management in years 2000-2019. *International Journal of Quality and Service Sciences*. Vol. 12. No. 4. Pp. 417-433.
 11. Panchenko, S., Lavrukhin, O. (2017). Creating a qualimetric criterion for the generalized level of vehicle. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 1 (3 (85)). 39–45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.92203>.
 12. Симоненко, Р. В. Підвищення ефективності експлуатації комплексних транспортних засобів на основі інтелектуальних телепатичних технологій: автореф. дис. ... док. техн. наук: 05.22.20 . НТУ. Київ, 2021. 44 с.
 13. Бурдаков, В. Д. Квалиметрия транспортных средств. Методика оценки эффективности использования . М. : Изд-во стандартов, 1990. 166 с.
 14. Транспортна екологія: навчальний посібник / О. І. Запорожець та ін.; за заг. ред. С. В. Бойченка. К.: НАУ, 2017. 507 с.
 15. Кабанов О.М. Екологія автомобільного транспорту: конспект лекцій. Хар-ків: Видавництво ХНАДУ, 2011. 142 с.
 16. Chapman, L. (2007). Transport and climate change: a review. *Journal of Transport Geography*. 15(5). Pp. 354-367.
 17. Le Vine, S. and M. Lee-Gosselin, (2017). Transportation and Environmental Impacts and Policy. in S. Hanson and G. Giuliano (Eds). *The Geography of Urban Transportation, 4th Edition*. New York: The Guilford Press. Pp. 273-301.
 18. OECD. (2014). *The Cost of Air Pollution: Health Impacts of Road Transport*, Paris: OECD Publishing.
 19. Ryley, T.J. and Chapman L. (2013). Transport, Climate Change and the Environment. in J-P Rodrigue, T. Notteboom and J. Shaw (Eds). *The Sage Handbook of Transport Studies*, London: Sage.
 20. Transport and Environment. May 2014. DOI: 10.13140/2.1.4793.9528
 21. Conference: Conferinței internaționale . Challenges of doing business in the global economy” Ediția a II-a - CBGE, București, ROMÂNIA. URL: http://www.orizonturi.ucdc.ro/arhiva/2014_khe_6_pdf3/000.In%20fata.pdf (дата звернення: 04.12.2022)

References

1. Taranenko M. E., Myhal G. V., Kobrina N. V., Makovetskyi A. V. The problem of comprehensive quality assurance and safety of the functioning of vehicles. Car and electronics. Modern technology. 2022. Issue 21. P. 6-21, DOI: 10.30977/VEIT.2021.21.0. [in Ukrainian].
2. Azgoldov, H. G. Theory and practice of quality assessment of goods (fundamentals of quality measurement). H. G. Azgoldov. M.: Ekonomika, 1982. 256 p. [in Ukrainian].
3. Siva, Vanajah; Gremyr, Ida; Bergquist, Bjarne; Garvare, Rickard; Zobel, Thomas; Isaksson, Raine (2016). The support of Quality Management to sustainable development: a literature review. *Journal of Cleaner Production*. 138. 148–157. doi:10.1016/j.jclepro.2016.01.020. [in English].
4. Craig M. Becker & Mary A. Glascoff. (2014). Process measures: a leadership tool for management. *The TQM Journal*. Vol. 26, Issue: 1. Pp. 50-62, <https://doi.org/10.1108/TQM-02-2013-0018> [in English].
5. Warzecha, B. (2017). The Problem with Quality Management: Process orientation, controllability and zero-defect processes as modern myths (Philosophy in Practice), ISBN 9783981863833; e-book ISBN 9783981863826 [in English].
6. Smeds, M. (2022). Deming's tampering revisited: definition and future research agenda. *International Journal of Quality and Service Sciences*. Vol. 14 No. 5. pp. 37-51. <https://doi.org/10.1108/IJQSS-03-2021-0041> [in English].
7. Carnerud, D. (2018). 25 Years of quality management research - outlines and trends. *International Journal of Quality and Reliability Management*. Vol. 35. No. 1. pp. 208-231 [in English].
8. Ojasalo, J. (2019). Short-term and long-term quality of service. *International Journal of Quality and Service Sciences*, Vol. 11 No. 4, pp. 620-638 [in English].
9. Siva, V., Gremyr, I., Bergquist, B., Garvare, R., Zobel, T. & Isaksson, R. (2016). The support of quality management to sustainable development: a literature review. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 138. Pp. 148-157 [in English].
10. Wawak, S., Rogala, P. & Dahlgaard-Park, S.M. (2020). Research trends in quality management in years 2000-2019. *International Journal of Quality and Service Sciences*. Vol. 12. No. 4. pp. 417-433 [in English].

11. Panchenko, S. & Lavrukhin, O. (2017). Creating a qualitative criterion for the generalized level of vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 1 (3 (85)). 39–45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.92203> [in English].
12. Symonenko, R. V. (2021). Pidvyschennia efektyvnosti ekspluatatsii kompleksnykh transportnykh zasobiv na osnovi intelektual'nykh telepatychnykh tekhnolohij [Increasing the efficiency of operation of complex vehicles on the basis of intelligent telepathic technologies]. *Extended abstract of doctor's thesis*, NTU. Kyiv [in Ukrainian]
13. Burdakov, V.D. (1990). *Kvalimetrija transportnyh sredstv. Metodika ocenki jeffektivnosti ispol'zovanija* [Quality of vehicles. Methodology for evaluating the efficiency of use]. Moscow: Standard Publishing House [in Russian].
14. Zaporozhets, O.I. (2017). Transportna ekolohiia: navchal'nyj posibnyk [Transport ecology: a study guide]. S.V. Boychenko (Ed.). Kyiv: NAU [in Ukrainian]
15. Kabanov O.M. Ecology of road transport: a summary of lectures. Kharkiv: Khnadu Publishing House, 2011. 142 p. [in Ukrainian]
16. Chapman, L. (2007). Transport and climate change: a review. *Journal of Transport Geography*. 15(5). pp. 354-367 [in English].
17. Le Vine, S. & M. Lee-Gosselin, (2017). Transportation and Environmental Impacts and Policy. in S. Hanson and G. Giuliano (Eds). *The Geography of Urban Transportation*, 4th Edition. New York: The Guilford Press. pp. 273-301.
18. OECD. (2014). *The Cost of Air Pollution: Health Impacts of Road Transport*, Paris: OECD Publishing [in English].
19. Ryley, T.J. & Chapman L. (2013). Transport, Climate Change and the Environment. in J-P Rodrigue, T. Notteboom and J. Shaw (Eds). *The Sage Handbook of Transport Studies*, London: Sage [in English].
20. Transport and Environment. May 2014. DOI: 10.13140/2.1.4793.9528 [in English].
21. Conference: Conferinței internaționale. Challenges of doing business in the global economy” Ediția a II-a - CBGE, București, ROMÂNIA. At: http://www.orizonturi.ucdc.ro/arhiva/2014_khe_6_pdf3/000.In%20fata.pdf [in Romanian].

Mykhailo Taranenko, Prof., DSc., **Galyna Mygal**, Prof., DSc., **Natalia Kobrina**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Igor Taranenko**, Prof., PhD tech. sci.

National Aerospace University named after M.E. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute" Kharkiv, Ukraine

Dmytro Moloshtan, PhD tech. sci.

Kremenchuk National University named after Mykhailo Ostrogradskyi, Kremenchuk, Ukraine

Qualimetric Model Management of the Quality of Technical Training of the Manufacturing of Transport Equipment

This article is a continuation of research on the use of qualimetric methods to manage the quality of technical preparation for passing the main stages of the product life cycle.

Product quality continues to be the main factor in competition on world markets. The higher the quality of a specific product, the higher the probability of its advancement in the market segment. The quality of products is determined not only by the quality of manufacturing (production), but also by other stages of the life cycle of products, including the stages of selecting parameters of the technical task for its design, manufacturing and further, including the stage of disposal. The choice of product parameters for the technical task for its design and manufacture must be strictly justified and take into account the best parameters and characteristics of products of the appropriate purpose existing on the market. The use of qualitative methods makes it possible to more reasonably choose options for numerous technical problems during the implementation of projects related to transport equipment. The results of the technical preparation of the production, performed in accordance with the technical task, must correspond to the goals of the production. The article provides a systematization of the properties of transport equipment and shows examples of the formation of priority trees of properties for various target optimization of production preparation.

A synthesized mathematical model of quality management of technical preparation of production, which allows to maximize the complex indicator of process quality with the help of target optimization. The algorithm for using the developed model is presented, it provides the possibility of its use when choosing properties prioritized for target optimization, structural and technological solutions and production technological processes at all stages.

production preparation, transport equipment, quality metrics, process math model, optimization, comprehensive quality indicator

Одержано (Received) 08.12.2022

Прорецензовано (Reviewed) 20.12.2022

Прийнято до друку (Approved) 29.12.2022

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 621.181.7

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.108-120](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.108-120)**І.О. Скриннік**, доц., канд. техн. наук, **М.О. Федотова**, канд. техн. наук,**В.В. Дарієнко**, доц., канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна**e-mail: Skrynnik_2002@ukr.net*

Теоретичні дослідження процесу руху сипучих будівельних матеріалів при сушінні в киплячому шарі каскадної сушарки в будівництві

В роботі розглянуто систему рівнянь руху потоку матеріалу, яка дозволяє визначити швидкість, траєкторію переміщення частинок, а також час перебування частинок у вільному робочому просторі апарата. Суттєвий вплив на визначення необхідного часу перебування частинок в апараті, чинить не тільки гідродинаміка потоків, а і кінетика процесу сушіння в апаратах киплячого шару. Дана робота присвячена розгляду саме цих нюансів.

каскадна сушарка, киплячий шар, тверда фаза, сушіння матеріалу, волого'зем, час сушіння, псевдорозрідження, час контакту

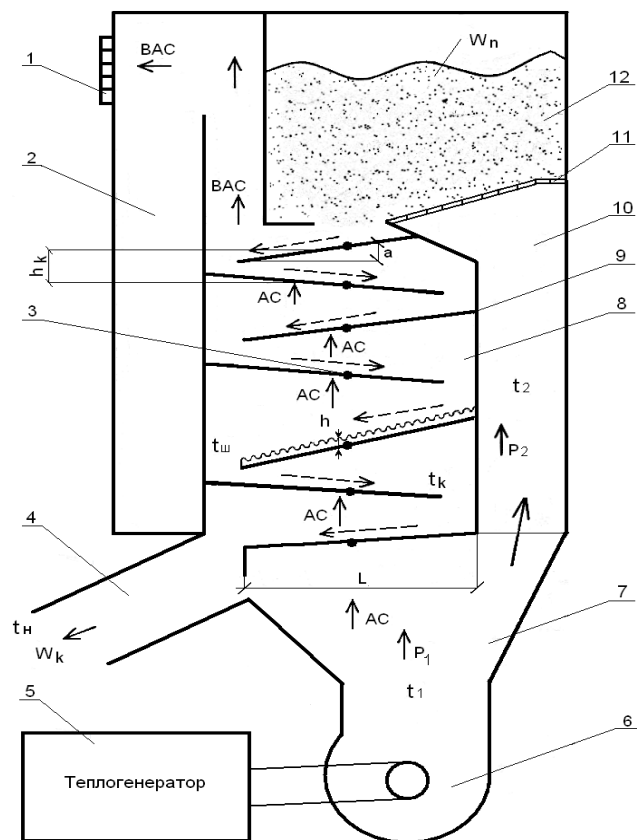
Постановка проблеми. Розвиток сучасного промислового виробництва ставить нові підвищені вимоги до техніки сушіння і технологічних, екологічних та економічних характеристик апаратного обладнання сучасних виробництв, спеціалізованих будівельних галузях.

Більшість матеріалів, що піддаються сушінню, являють собою дисперсні фази різного походження, як природнього так і штучного. Для реалізації цього процесу розроблені та впроваджені у виробництво апарати різноманітних конструкцій залежно від способу сушіння сировини [1].

На сучасному етапі розвитку промисловості актуальним питанням, що потребує вирішення, є пошук енергоефективних способів сушіння. Одним з ефективних методів здійснення процесів тепломасообміну є використання киплячого шару в апаратах з активним гідродинамічним режимом, що значно інтенсифікує технологічний процес та забезпечує високу якість готового продукту з необхідною кінцевою вологістю [2,3]. Використання киплячого шару характеризується рядом переваг, які відмічені у працях зарубіжних і вітчизняних науковців [4–9]. Разом із перевагами запропонованого способу проведення тепломасообмінних процесів слід зазначити, що здійснення сушіння в такому режимі потребує значної кількості енергії й витрат газового потоку [9,11]. Перспективним напрямом зменшення матеріальних та енергетичних витрат під час проведення тепломасообмінних процесів у киплячому шарі є використання багатоступеневого протитечійного контакту зріджувального агента та дисперсної фази. Такі процеси реалізуються в апаратах каскадного типу [10]. Використання наведеної організації руху потоків у застосуванні до процесів сушіння на цей час широко не висвітлено в сучасній науковій літературі, тому потрібні більш глибокий аналіз гідродинамічних умов та кінетики проведення цього процесу, розроблення надійних методів розрахунку каскадних сушарок.

Ефективності роботи сушильних апаратів для сушіння матеріалів у киплячому шарі, в значній мірі залежить від поля течії газового потоку, [6, 15], розподіл якого за робочим простором апарата впливає на профіль температур і концентрацій дисперсної (твердої) фази в газовому потоці [4]. Розгляд характеру руху газового потоку є важливим для встановлення закономірностей взаємодії його з твердою фазою [13, 16]. Визначення гідродинамічних умов руху потоку дає можливість математичного опису швидкості та часу перебування твердих частинок в апараті [16].

Здійснення процесу сушіння та показники його ефективності в киплячому шарі в значній мірі залежить від конструкції апарата. Важливим є вибір конструкції сушильного апарата, який в найкращій мірі відповідає фізико-хімічним властивостям матеріалу та необхідній продуктивності [1-10] рис 1. Визначення полів швидкостей газового потоку в робочому просторі апарата киплячого шару в комплексі з розрахунками швидкості переходу щільного шару матеріалу в киплячий стан, умов розширення шару матеріалу, робочих параметрів псевдозрідження та умов винесення матеріалу з апарата дозволяє провести оптимальний підбір конструктивних характеристик апарата такого типу [4-7].



1 – сітка відводу відпрацьованого агента; 2 – осадова камера; 3 – шарніри; 4 – патрубок для вивантаження просушеного матеріалу; 5 – теплогенератор; 6 – вентилятор; 7 – дифузор; 8 – сушильна камера; 9 – регулюючі каскади; 10 – труба для попереднього прогріву матеріалу; 11 – завантажувачий бункер з вологим матеріалом; 12 – сітка для потрапляння теплоносія в камеру попереднього нагріву; L – довжина каскаду, м; t_1 – температура агента сушіння в сушильній камері, $^{\circ}\text{C}$; t_2 – температура агента сушіння у трубі попереднього прогріву, $^{\circ}\text{C}$; P_1 – тиск агента сушіння в сушильній камері, Па; P_2 – тиск агента сушіння у трубі попереднього прогріву, Па; h – товщина часток матеріалу на каскаді, м; t_w – температура шару матеріалу на каскаді, $^{\circ}\text{C}$; t_k – температура каскаду, $^{\circ}\text{C}$; t_n – температура матеріалу після сушіння, $^{\circ}\text{C}$; W_n – початкова вологість матеріалу до сушіння, %; W_k – кінцева вологість матеріалу після сушіння, %; h_k – висота між каскадами, м [12].

Рисунок 1 – Принципова схема сушарки каскадного типу для сушіння сипучих матеріалів в киплячому шарі

Джерело розроблено авторами

Для подальших теоретичних досліджень руху частинки під час сушіння обґрунтовуємо модель сипкого тіла (шару матеріалу, що піддається кипінню на поверхні каскаду сушарки). В основу моделі покладена узагальнена і розвинена модель сипкого тіла Л.В. Гячева [3, 14], яка дозволяє розглядати процес руху сипких матеріалів у повітряних каналах.

При моделюванні прийняті такі припущення.

1. Сили внутрішнього тертя між частинками і сили тертя частинок об стінку киплячого каналу пропорційні відповідним нормальним зусиллям (за законом Кулона).
2. Частинки, з яких складається сипке тіло, – це однакові абсолютно тверді кулі з деяким постійним кутом укладання в об'ємі каналу.
3. У процесі руху кулі (частинки) не обертаються.
4. Рух частинок у потоці відбувається по пересічних траєкторіях, що становлять собою лінії ковзання сипкого тіла.
5. Через малий розмір частинок сипке тіло можна замінити еквівалентним за механічним змістом суцільним середовищем.
6. Кут природного укусу дорівнює приведену куту внутрішнього тертя.
7. Величина кута нахилу каскаду до горизонту α для кожного каскаду змінюється за залежністю: $\alpha_i = \alpha_{i-1} + \Delta\alpha$, де α_{i-1} – значення кута попереднього (нижнього каскаду); $\Delta\alpha$ – приріст кута.

Розглянемо рух частинки на поверхні каскаду під час процесу сушіння (рис. 2.). Спочатку частинки знаходяться у щільній укладці в об'ємі бункера, а потім надходять на каскад. Далі кожна частинка рухається по каскаду в киплячому шарі. Наступним етапом її руху є сходження з каскаду (вільне падіння). Потім етапи руху повторюються, тобто частинка надходить на наступний нижній каскад, рухається по ньому, сходиться і поступає на ще нижчий каскад. Виходячи з етапів руху частинки, можна математично описати її переміщення. В наявному варіанті маємо:

$$\begin{array}{l} \text{по осі } 0X \\ \mathbf{x}(t) = \begin{cases} x_0 = f(t); \\ x_1 = f(t); \\ \dots \\ x_i = f(t); \\ \dots \\ x_{e_m} = f(t); \end{cases} \\ \text{по осі } 0Z \\ \mathbf{z}(t) = \begin{cases} z_0 = f(t); \\ z_1 = f(t); \\ \dots \\ z_i = f(t); \\ \dots \\ z_{e_m} = f(t); \end{cases} \end{array}, \quad (1)$$

де e_m – число етапів: $e_m = i + 1$; i – кількість каскадів;

x_1, x_i, z_1, z_i , – координати частинки на відповідних етапах руху.

Розглянемо рух частинки на початковому етапі. На частинку 1 (рис. 3) під час руху з бункера до каскаду діють такі сили:

1) гравітаційна:

$$G_n = m_n \left(\frac{\rho_n}{\rho_{ac}} - 1 \right) g, \quad (2)$$

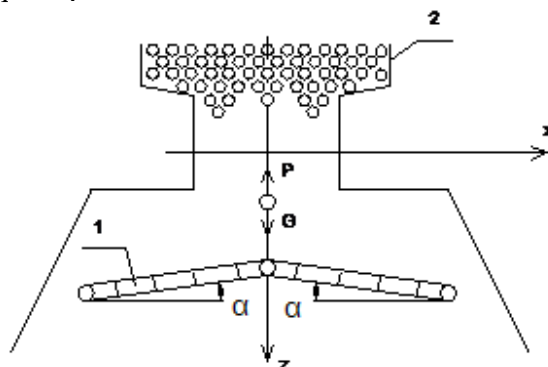
де m_n – маса насипаного матеріалу, кг;

ρ_n – густина насипаного матеріалу, кг/м^3 ;

2) лобовий тиск повітряного потоку P :

$$P = k \cdot S_m \cdot \rho_{pac} \cdot U_{\phi}^2, \quad (3)$$

де k – коефіцієнт лобового опору середовища;
 S_m – площа міделевого перерізу насипаного матеріалу, m^2 ;
 ρ_{ac} – густина агента сушіння, kg/m^3 ;
 U_ϕ – швидкість фільтрації, m/s .



1 – каскад; 2 – бункер

Рисунок 2 – Схема руху частинки на початковому етапі

Джерело розроблено авторами

Знайдемо рівняння руху по осях OX і OZ :

$$\Sigma X = 0;$$

$$\Sigma Z \geq P - G.$$

Тоді для граничного значення рівноваги можна записати:

$$m_n \frac{d^2 z_0}{d\tau^2} = k S_m \rho_{ac} c^2 - m_n g, \quad (4)$$

або

$$\frac{d^2 z}{d\tau^2} = \frac{k S_m \rho_{ac} c^2 - m_n g}{m_n} \quad (5)$$

Звідси після інтегрувань та з урахуваннями початкових умов, у підсумку можна записати:

$$z_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{k \cdot S_m \cdot \rho_{ac} \cdot c^2 - m_n g}{m_n} \right) \cdot \tau_0^2 + c_1 \cdot \tau + c_2. \quad (6)$$

Із рівняння 6, враховуючи початкові умови (рис. 3), визначаємо:

– прискорення

$$\frac{dU_{z1}}{d\tau} = \frac{k \cdot S_m \cdot \rho_{ac} \cdot C^2}{m_n} - g, \quad (7)$$

– швидкість

$$\int dU_{z1} = \int \left(\frac{k \cdot S_m \cdot \rho_{ac} \cdot C^2}{m_n} - g \right) d\tau$$

$$U_{z1} = \int_0^{\tau_1} \left(\frac{k \cdot S_m \cdot \rho_{ac} \cdot C^2}{m_n} - g \right) d\tau,$$

$$U_{z1} = \left(\frac{k \cdot S_m \cdot \rho_{ac} \cdot C^2}{m_n} - g \right) \tau \Big|_0^{\tau_1} + C_1,$$

де $C_1 = U_{0z}$ – початкова швидкість під час відриву частинки:

$$U_{z1} = \left(\frac{k \cdot S_m \cdot \rho_{ac} \cdot C^2}{m_n} - g \right) \tau + U_{0z}, \quad (8)$$

– переміщення

$$\int_0^z dz_1 = \int_0^{\tau_1} \left[\left(\frac{k \cdot S_m \cdot \rho_{ac} \cdot C^2}{m_n} - g \right) \tau + U_{0z} \right],$$

$$z_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{k \cdot S_m \cdot \rho_{ac} \cdot C^2}{m_n} - g \right) \tau^2 \Big|_0^{\tau_1} + U_{0z} \tau \Big|_0^{\tau_1} + C_2, \quad (9)$$

$$z_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{k \cdot S_m \cdot \rho_{ac} \cdot C^2}{m_n} - g \right) \tau^2 + U_{0z} \tau + C_2.$$

Згідно з представленими координатами (рис. 2) при $\tau = 0$ і $z = 0$, тобто $C_2 = 0$.

Другим етапом руху частинки є її рух в киплячому шарі на похилому каскаді.

Частинку 1 (рис. 3) умовно приймаємо за "ведучу", а частинки 2, 3, 4 та 5 відносно до неї створюють проміжний шар. Під час переміщення киплячого сипучого матеріалу по поверхні каскаду, який пронизує агент сушіння, частинки проміжного шару "вклинюються" між "ведучим" та "веденим" шарами і розсовують їх [14].

У момент вклинювання частинки 1 між частинками 2, 3, 4, 5 сили реакцій R_{13} , R_{23} , R_{43} , R_{53} відхиляються від нормалі на кут внутрішнього тертя ψ у бік збільшення кута укладки β , в результаті чого сили реакцій складають з нормаллю кут $\gamma = \alpha + \beta + \psi$.

На частинку 1 (рис. 3) діють такі сили:

- 1) гравітаційна G_n ;
- 2) лобовий тиск повітряного потоку P ;
- 3) нормальний тиск:

$$N_n = m_n \left(\frac{\rho_n}{\rho_{ac}} - 1 \right) g \cos \alpha; \quad (10)$$

- 4) тангенційна сила:

$$F = m_i \left(\frac{\rho_n}{\rho_{ac}} - 1 \right) g \sin \alpha; \quad (11)$$

- 5) сила взаємодії між частинками (сили реакції):

$$R_{13} = \frac{N_1}{\cos \gamma}, R_{23} = -\frac{N_2}{\cos \gamma}, R_{43} = \frac{P - N_4}{\cos \gamma}, R_{53} = \frac{P - N_5}{\cos \gamma}. \quad (12)$$

Складемо систему рівняння руху частинки 1 під дією прикладених до неї сил відносно осей координат XOZ:

$$m_n \frac{d^2 x}{d\tau^2} = F + \cos \gamma (R_{43} - R_{23} - R_{13} + R_{53});$$

$$m_n \frac{d^2 z}{d\tau^2} = P - N_3 + \sin \gamma (R_{43} - R_{23} - R_{13} + R_{53}). \quad (13)$$

Підставивши значення сил, що діють на частинку, та зробивши потрібні математичні перетворення, отримуємо:

$$\frac{m_n d^2 x}{d\tau^2} = F \pm (P - N_4 + N_2 - N_1 + P - N_5); \quad (14)$$

$$\frac{m_n d^2 z}{d\tau^2} = P - N_3 \pm (P - N_4 + N_2 - N_1 - P + N_5) \operatorname{tg} \gamma.$$

Після підстановок і перетворень отримаємо:

$$m_n \frac{d^2 x_2}{d\tau} = \frac{(P - N_3) \operatorname{ctg} \gamma + F}{\left(\frac{\rho_n}{\rho_{ac}} - 1 \right)},$$

$$m_n \frac{d^2 z_2}{d\tau} = \frac{(P - N_3) - F \operatorname{ctg} \gamma}{\left(\frac{\rho_n}{\rho_{ac}} - 1 \right)}.$$

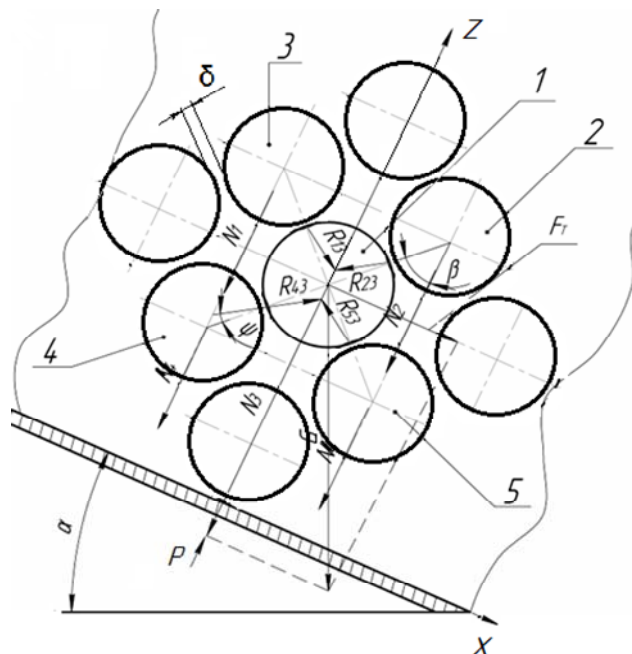


Рисунок 3 – Схема сил, які діють на частинку 1, що знаходиться в киплячому шарі наспного матеріалу на каскаді сушарки

Джерело розроблено авторами

Швидкість по координатних осях дорівнює:

$$dU_{x_2} = \frac{(P - N_3) \operatorname{ctg} \gamma}{\left(\frac{\rho_n}{\rho_{ac}} - 1 \right) m_n} d\tau, \quad (15)$$

$$dU_z = \frac{(P - N_3) - F \cdot \operatorname{ctg} \gamma}{\left(\frac{\rho_n}{\rho_{ac}} - 1 \right) m_n} d\tau. \quad (16)$$

Уводимо позначення $A = \frac{(P - N_3) \operatorname{ctg} \gamma}{\left(\frac{\rho_u}{\rho_{ac}} - 1\right) m_u}$ і знаходимо швидкість по OX :

$$dU_{x_2} = A \cdot d\varphi,$$

$$U_{x_2} = A \int_0^{\varphi} d\varphi,$$

$$U_{x_2} = A\varphi \Big|_0^{\varphi},$$

$$U_{x_2} = A\varphi + C_3.$$

Аналогічно для швидкості по OY позначимо $B = \frac{(P - N_3) - F \cdot \operatorname{ctg} \gamma}{\left(\frac{\rho_u}{\rho_{ac}} - 1\right) m_u}$,

$$dU = B \cdot d\varphi,$$

$$U_{z_2} = B\varphi + C_4,$$

$$C_4 = U_{z_1}.$$

Визначаємо траєкторії руху по координатних осях:

$$U_{x_2} = \frac{dx_2}{d\varphi} = (A\varphi + C_3),$$

але згідно з початковими умовами при $\varphi = 0$, $U_x = 0$ та $U_{x_1} = 0$ $C_3 = 0$, тоді:

$$dx_2 = A\varphi \cdot d\varphi.$$

Після вирішення рівняння отримаємо:

$$x_2 = \frac{1}{2} A\varphi^2 + C_5. \quad (17)$$

Аналогічно для

$$U_z = \frac{dz_2}{d\varphi} = B\varphi + C_4,$$

$$dz_2 = (B\varphi + C_4)d\varphi,$$

$$z_2 = \frac{1}{2} B\varphi^2 + C_4\varphi + C_5. \quad (18)$$

Підставляємо значення коефіцієнтів A та B і визначаємо в рівняння руху (17) та (18) отримуємо:

$$Z_2 = \frac{1}{2} \left[\frac{(P - N_3) - F \cdot \operatorname{ctg} \gamma}{\left(\frac{\rho_n}{\rho_{ac}} - 1 \right) m_n} \right] \cdot \varphi^2 + U_{z1} \cdot \varphi; \quad (19)$$

$$X_2 = \frac{1}{2} \left[\frac{(P - N_3) \cdot \operatorname{ctg} \gamma + F}{\left(\frac{\rho_n}{\rho_{ac}} - 1 \right) m_n} \right] \cdot \varphi^2 + X_1. \quad (20)$$

З рівнянь (19) та (20) знаходимо швидкості по координатних осях:

$$U_{z2} = \left[\frac{(P - N_3) - F \cdot \operatorname{ctg} \gamma}{\left(\frac{\rho_n}{\rho_{ac}} - 1 \right) m_n} \right] \cdot \varphi + U_{z1}; \quad (21)$$

$$U_{x2} = \frac{(P - N_3) \cdot \operatorname{ctg} \gamma + F}{\left(\frac{\rho_n}{\rho_{ac}} - 1 \right) m_n} + U_{x1}. \quad (22)$$

З урахуванням того, що етапи руху частинок по каскадах і між ними повторюються, насамкінець отримаємо:

– по осі OZ

швидкість
$$U_{zia} = \left(\frac{k \cdot S_m \cdot \rho_{ac} \cdot c^2}{m_n} - g \right) \varphi + U_{z(i-1)}; \quad (23)$$

фаза "а":

переміщення
$$Z_{ia} = \frac{1}{2} \left(\frac{k \cdot S_m \cdot \rho_{ac} \cdot c^2}{m_n} - g \right) \varphi^2 + U_{z(i-1)} \cdot \varphi; \quad (24)$$

швидкість
$$U_{ziб} = \left[\frac{(P - N_3) - F \cdot \operatorname{ctg} \gamma}{\left(\frac{\rho_n}{\rho_{ac}} - 1 \right) m_n} \right] \cdot \varphi + U_{zia}; \quad (25)$$

фаза "б":

переміщенн
$$Z_{iб} = \frac{1}{2} \left[\frac{(P - N_3) - F \cdot \operatorname{ctg} \gamma}{\left(\frac{\rho_n}{\rho_{ac}} - 1 \right) m_n} \right] \cdot \varphi^2 + U_{zia} \cdot \varphi; \quad (26)$$

по осі OX

швидкість
$$U_{zia} = 0; \quad (27)$$

фаза "а":

переміщення $X_{ia} = 0;$ (28)

швидкість $U_{xiб} = \left[\frac{(P - N_3) \cdot ctg\gamma + F}{\left(\frac{\rho_n}{\rho_{ac}} - 1 \right) m_n} \right] \cdot t + U_{xa(i-1)} ;$ (29)

фаза "б":

переміщення $X_{iб} = \frac{1}{2} \left[\frac{(P - N_3) \cdot ctg\gamma + F}{\left(\frac{\rho_n}{\rho_{ac}} - 1 \right) m_n} \right] \cdot t^2 + X_{a(i-1)} .$ (30)

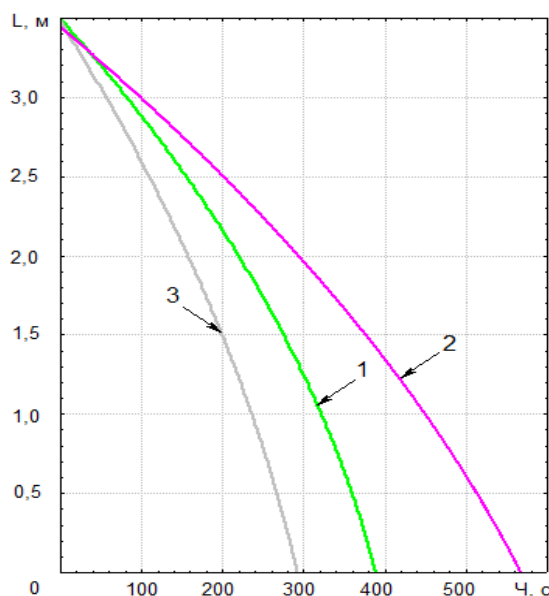


Рисунок 4 – Залежність переміщення частинки по осі OZ від часу (t) знаходження в сушильній камері

Джерело розроблено авторами

Графічні залежності переміщення частинок різних культур за час знаходження в сушильній камері (рис.4) побудовані на основі рівняння (29,30) при числових розрахунках, виконаних за допомогою пакету прикладних програм.

Висновки.

1. Для насипного матеріалу переміщення має нелінійний характер, прискорюючись зі збільшенням часу знаходження частинок в сушильній камері. Пояснити це можна домінуючою дією сили тяжіння над іншими силами, що діють на частинку у процесі сушіння.

2. Математично описано рух частинок по каскадах сушарки. Отримана модель переміщення матеріалу враховує вплив параметрів сушарки на рух частинок по кожному з каскадів під час процесу сушіння. Математична модель дозволяє аналітично встановити час знаходження частинок матеріалу в робочій камері сушіння, а отже теоретично визначити продуктивність агрегату.

3. Наявність похилих перфорованих каскадів у робочому просторі каскадної сушарки призводить до зменшення його площі вільного поперечного перерізу. Це

конструктивне рішення стає причиною місцевого збільшення швидкості і ступеню турбулізації потоку сушильного агента, а також зміни характеру розподілення швидкостей навколо полиці .

4. Для режиму киплячого шару характерно мінімально необхідний час контакту частинок з сушильним агентом, що обумовлюється достатньо значною швидкістю руху частинок. Тому процес сушіння в даному режимі на поверхні каскаду лімітується не гідродинамічними умовами, а довжиною каскаду, по поверхні якої частинки рухаються достатньо швидко з мінімальним часом перебування. Останній дещо збільшиться в зоні накопичення частинок у вигляді шару на стінці апарата, у результаті чого маємо більш ефективний контакт фаз і, відповідно, більш інтенсивне вологовідведення від частинок сушильним агентом саме у цій зоні.

5. Зростання швидкості сушильного агента спричиняє посилення його аеродинамічної дії на шар матеріалу, створюються умови для режиму киплячого шару на поверхні перфорованого каскаду і біля стінки апарата у зоні розвантажувального зазору. Також збільшенню вологовіддачі від частинок матеріалу в режимі киплячого шару сприяє збільшення часу перебування частинок за рахунок їх масової циркуляції в зоні над розвантажувальним простором.

Список літератури

1. Гідродинаміка при сушінні нерівномірного нерухомого шару дисперсного матеріалу / Я. М. Ханик, Г. О. Мазяр, І. О. Гузьова, Я. Д. Ярош . *Науковий вісник НЛТУ України*. 2008. Вип. 18.3. С. 104–107.
2. Шандиба Н., Юхименко М. Методика рекурентного розрахунку поличної гравітаційної сушарки сипких матеріалів . *Тринадцята наукова конференція «Львівські хімічні читання – 2011»*. Львів, 2011. С. У39.
3. Федяев А.А. Федяева В.Н., Видин Ю.В. Математическое моделирование динамики процессов тепловлажностной обработки капиллярно-пористых коллоидных дискретных материалов . *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2008. Ч. 1. С. 68–75.
4. Шрайбер А.А., Милютин В.Н., Яценко В.П. Гидромеханика двухкомпонентных потоков с твёрдым поли- дисперсным веществом . К.: Наукова думка, 1980. 252 с.
5. Шандиба О.Б., Артюхова Н.О. Оптимізація технологічних характеристик багатоступеневої гравітаційної сушарки . *VIII Міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення»*. Алушта, 2012. Т. 2. С. 282–285.
6. Осадчий С.І., Скриннік М.О., Скриннік І.О. Зерносушильна установка з киплячим шаром для сушіння зернових як об'єкт автоматизації . *Техніка в сільськогосподарському машинобудуванні, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. праць Кіровоградського нац. техн. ун-ту.*, 2006. Вип. 17. С. 61 – 66.
7. Осадчий С.І., Калита М.О., Скриннік І.О. Визначення структури і параметрів математичної моделі зерносушильної установки з киплячим шаром у реальних експлуатаційних умовах . *Вісник Харківського національного технічного університету: наук. журнал*. 2008. Вип. 73, т. 2. С. 43 – 45.
8. Осадчий С.І., Скриннік М.О., Скриннік І.О. Ідентифікація сигналів зерносушильної установки з киплячим шаром в реальних експлуатаційних умовах . *Вісник Хмельницького національного технічного університету: наук. журнал*. 2007. Вип. 3, т. 1. С. 38 – 41.
9. Панасюк С.Г., Дідух В.Ф., Голячук С.Є. Енергозберігаюча технологія сушіння кукурудзи в качанах . *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2002. Вип. 4, т.1. С. 165 – 168.
10. Зерносушильна установка касетного типу: пат. UA 10346 U Україна: №U 200503610; заяв. 18.04.2005; опубл. 15.11.2005, Бюл. № 11. 4 с.
11. Петренко М.М., Скриннік І.О. Зерносушильна установка касетного типу для сушіння зернових культур . *Техніка в сільськогосподарському машинобудуванні, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. праць Кіровоградського нац. техн. ун-ту*. 2004. Вип. 15. С. 318 – 323.
12. Експериментальні дослідження впливу параметрів зерносушарки каскадного типу на показники її роботи / М.М. Петренко та ін. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2006. Вип. 36. С. 29 – 34.

13. Детермінована математична модель руху насіння по каскадах зерносушарки каскадного типу / М.М. Петренко та ін. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. загальнодерж.міжвід.наук.-техн. зб.* 2007. Вип. 37. С. 299 – 304.
14. Результати експериментальних досліджень впливу основних параметрів на процес сушіння зернових культур у зерносушарці каскадного типу / М.М. Петренко та ін. *Вісник Тернопільського державного технічного університету.* 2007. Вип. 3, том 12. С. 53 – 59.
15. Петренко М.М., Скриннік І.О., Богатирьов Д.В. Визначення швидкості фільтрації та гідравлічного опору на каскадах сіток зерносушарки касетного типу. *Праці. Таврійська державна агротехнічна академія.* 2005. Вип. 34. С. 160 – 165.
16. Модель переносу тепла в зерносушарці каскадного типу від каскаду до шару насіння / М.М. Петренко та ін. *Техніка в сільськогосподарському машинобудуванні, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. праць Кіровоградського нац. техн. ун-ту.* 2008. Вип. 20. С. 293 – 298.
17. Модель зміни шпаруватості псевдо розрідження шару насіння на каскадах зерносушарки / М.М. Петренко та ін. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. загальнодерж.міжвід.наук.-техн. зб.* 2008. Вип. 38. С. 258 – 264.
18. Перспективи комерціалізації наукових розробок у сільському господарстві. Тези доповідей НПС Волинської облдержадміністрації. Луцьк, 2002. 43 с.

References

1. Khanyk, Ya.M., Maziar, H.O., Huzova, I.O. & Yarosh, Ya.D. (2008). Hidrodynamika pry sushinni nerivnomimoho nerukhomoho sharu dycpersnoho materialu [Hydrodynamics during drying of a non-uniform stationary layer of dispersed material]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific bulletin of NLTU of Ukraine., Issue 18.3*, 104–107 [in Ukrainian].
2. Shandyba, N. & Yukhymenko, M. (2011). Metodyka rekurentnoho rozrakhunku polychnoi hravitatsiinoi susharky sypykhn materialiv [The method of recurrent calculation of the shelf gravity dryer of loose materials]. *Lviv chemical readings: Trynadtsiata naukova konferentsiia (2011 r.) – Thirteenth scientific conference (p.39)*, Lviv [in Ukrainian].
3. Fediaev Aleksandr A., Valentyna N. Fediaeva, Yuryi V. Vydyn (2008). Matematycheskoe modelirovanye dynamyky protsessov teplovlazhnostnoi obrabotky kapyliarno-porystykh kolloidnykh dyskretnykh materyalov [Mathematical modeling of the dynamics of the processes of heat and moisture treatment of capillary-porous colloidal discrete materials] . *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, Part. 1*, 68–75.
4. Shraiber, A.A., Myliutyn, V.N. & Yatsenko, V.P. (1980). *Hydromekhanika dvukhkompnentnykh potokov s tvrdym poly- dyspersnym veshchestvom [Hydromechanics of two-component flows with a solid polydisperse substance]* . Kiev: Naukova dumka [in Russian].
5. Shandyba O.B. & Artiukhova N. O. (2012). Optymizatsiia tekhnolohichnykh kharakterystyk bahatostupenevoi hravitatsiinoi susharky [Optimization of the technological characteristics of a multi-stage gravity dryer]. *Environmental safety: problems and solutions: VIII Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiia (Alushta) – VIII International Scientific and Practical Conference (Vol. 2. pp. 282–285)* [in Ukrainian].
6. Osadchyi, S.I., Skrynnik, M.O. & Skrynnik, I.O. 2006. Zernosushylna ustanovka z kypliachym sharom dlia sushinnia zernovykh yak ob'ekt avtomatyzatsii [A fluidized bed grain drying unit for grain drying as an object of automation]. *Tekhnika v silskohospodarskomu mashynobuduvanni, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia ; zb. nauk. prats Kirovohradskoho nats. tekhn. un-tu – Techniques in agricultural engineering, industrial engineering, automation: coll. of science works of the KNTU, Issue 17*, 61 – 66. [in Ukrainian].
7. Osadchyi, S.I., Kalyta, M.O. & Skrynnik, I.O. (2008). Vyznachennia struktury i parametriv [Determination of the structure and parameters of the mathematical model of the grain drying unit with a fluidized bed in real operating conditions] . *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu: Naukovyi zhurnal – Bulletin of the Kharkiv National Technical University: Science. magazine, Issu 73, Vol. 2*, 43 – 45 [in Ukrainian].
8. Osadchyi, S.I., Skrynnik, M.O. & Skrynnik, I.O. (2007). Identyfikatsiia syhnaliv zernosushylnoi ustanovky z kypliachym sharom v realnykh ekspluatatsiinykh umovakh [Identification of fluidized bed grain dryer signals in real operating conditions]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu: Naukovyi zhurnal – Bulletin of the Khmelnytskyi National Technical University: Sci. magazine, Issue 3, Vol. 1*, 38 – 41 [in Ukrainian].
9. Panasiuk, S.H., Didukh, V.F. & Holiachuk, S.Ie. (2002). Enerhozberihaiucha tekhnolohiia sushinnia kukurudzy v kachanakh [Energy-saving technology of drying corn in cobs]. *Visnyk ahrarnoi nauky*

- Prychornomoria – Herald of Agrarian Science of the Black Sea Region, Issue 4, Vol.1, 165 – 168 [in Ukrainian].*
10. Pat. UA 10346 U Ukraina. Zernosushylna ustanovka kasetnoho typu [Cassette-type grain dryer] . No. u200503610; stated. April 18, 2005; has been published November 15, 2005, Bul. No. 11. 4 s.
 11. Petrenko, M.M. & Skrynnik, I.O. (2004). Zernosushylna ustanovka kasetnoho typu dlia sushinnia zernovykh kultur [Cassette-type grain dryer for drying grain crops] . *Tekhnika v silskohospodarskomu mashynobuduvanni, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia ; zb. nauk. prats Kirovohradskoho nats. tekhn. un-tu – Techniques in agricultural engineering, industrial engineering, automation: coll. of science works of the KNTU, Issue 15, 318 – 323 [in Ukrainian].*
 12. Petrenko, M.M., Skrynnik, I.O., Bohatyrov, D.V. et al. (2006). Eksperymentalni doslidzhennia vplyvu parametrov zernosusharky kaskadnoho typu na pokaznyky yii roboty [Experimental studies of the influence of the parameters of the cascade type grain dryer on its performance] . *Konstruivannja, vyrobnytvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 36, 29 – 34 [in Ukrainian].*
 13. Petrenko, M.M., Skrynnik, I.O., Bohatyrov, D.V. et al. (2007). Determinovana matematychna model rukhu nasinnia po kaskadakh zernosusharky kaskadnoho typu [A deterministic mathematical model of seed movement along the cascades of a cascade-type grain dryer] . *Konstruivannja, vyrobnytvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 37, 299 – 304 [in Ukrainian].*
 14. Petrenko M.M., Skrynnik I.O., Bohatyrov D.V. et al. (2007). Rezultaty eksperymentalnykh doslidzen vplyvu osnovnykh parametrov na protses sushinnia zernovykh kultur u zernosushartsi kaskadnoho typu [The results of experimental studies of the influence of the main parameters on the drying process of grain crops in a cascade type grain dryer]. *Visnyk Ternopilskoho derzhavnogo tekhnichnoho universytetu – Bulletin of the Ternopil State Technical University, Issue. 3, Vol. 12, 53 – 59 [in Ukrainian].*
 15. Petrenko, M.M., Skrynnik, I.O. & Bohatyrov, D.V. (2005). Vyznachennia shvydkosti filtratsii ta hidravlichnoho oporu na kaskadakh sitok zernosusharky kasetnoho typu [Determination of filtration speed and hydraulic resistance on cascades of grain dryer nets of the cassette type]. *Pratsi. Tavriiska derzhavna ahrotekhnichna akademiia – Works Tavri State Agricultural Technical Academy, Issue 34, 160 – 165 [in Ukrainian].*
 16. Petrenko, M.M., Sabirzianov, T.H., Skrynnik, I.O. et al. (2008). Model perenosu tepla v zernosushartsi kaskadnoho typu vid kaskadu do sharu nasinnia [A model of heat transfer in a cascade-type grain dryer from the cascade to the seed layer]. *Tekhnika v silskohospodarskomu mashynobuduvanni, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia ; zb. nauk. prats Kirovohradskoho nats. tekhn. un-tu – Techniques in agricultural engineering, industrial engineering, automation: coll. of science works of the KNTU, Issue 20, 293 – 298 [in Ukrainian].*
 17. Petrenko M.M., Skrynnik I.O., Skrynnik M.O. et al. (2008). Model zminy shparuvatosti psevido rozridzhennia sharu nasinnia na kaskadakh zernosusharky [A model of the change in the porosity of the pseudo rarefaction of the seed layer on the cascades of the grain dryer] . *Konstruivannja, vyrobnytvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 38, 258 – 264 [in Ukrainian].*
 18. *Perspektyvy komertsializatsii naukovykh rozrobok u silskomu hospodarstvi [Prospects of commercialization of scientific developments in agriculture].* (2002). Tezy dopovidei NPS Volynskoi obldzhadministratsii. Lutsk [in Ukrainian].

Ivan Skrynnik, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Marianna Fedotova**, PhD tech. sci., **Viktor Darienko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Theoretical Studies of the Process of Movement of Bulk Building Materials During Drying in the Fluidized Bed of a Cascade Dryer in Construction

The paper considers the system of equations of movement of the material flow, which allows to determine the speed, trajectory of movement of particles, as well as the time of stay of particles in the free working space of the apparatus.

Not only the hydrodynamics of flows, but also the kinetics of the drying process in fluidized bed devices (the particle changes its mass during drying, which is reflected in the mode of its movement) has a significant influence on the determination of the required residence time of the particles in the apparatus, which has contact actions with the cascade. A promising way to reduce material and energy costs during heat and mass exchange processes in a fluidized bed is the use of multi-stage countercurrent contact of the liquefying agent and the dispersed phase. Such processes are implemented in cascade-type devices. It should be noted that the analytical dependences presented do not yet allow a reliable description of the hydrodynamics of the movement

of solid particles in a device with contact devices. This is due to the fact that the proposed analytical regularities do not take into account the influence of the main design parameters of the cascade contacts on the time the particles stay in the working space of the device. The efficiency of drying devices for drying materials in a fluidized bed largely depends on the flow field of the gas flow, the distribution of which in the working space of the device affects the profile of temperatures and concentrations of the dispersed (solid) phase in the gas flow.

Determination of gas flow velocity fields in the working space of the fluidized bed apparatus in combination with calculations of the rate of transition of a dense layer of material into a fluidized state, conditions of expansion of the material layer, operating parameters of fluidization, and conditions of removal of material from the apparatus allows for optimal selection of the design characteristics of this type of apparatus. Consideration of the nature of the movement of the gas flow is important for establishing the regularities of its interaction with the solid phase. Determining the hydrodynamic conditions of flow movement makes it possible to mathematically describe the speed and residence time of solid particles in the apparatus.

cascade dryer, fluidized bed, solid phase, material drying, moisture reservoir, drying time, fluidization, contact time

Одержано (Received) 22.11.2022

Прорецензовано (Reviewed) 02.12.2022

Прийнято до друку (Approved) 29.12.2022

УДК 691.615.1

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.120-126](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.120-126)

Г.Д. Портнов, доц., канд. техн. наук, **В.В. Дарієнко**, доц., канд. техн. наук,

В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: budkom999@gmail.com

Модель стенда для дослідження конструкцій з ЛИСТОВОГО СКЛА

В даній роботі представлена розроблена в середовищі SOLIDWORKS модель стенда для дослідження конструкцій з листового скла під дією рівномірно розподіленого тиску. Дослідження моделі в модулі SOLIDWORKS Simulation за запропонованими налаштуваннями дозволяє дослідити напружений стан листового скла в залежності від параметрів гумової прокладки і обґрунтувати конструкцію супорта. Модель дозволяє оцінити напружено – деформований стан елементів конструкції на основі критерія руйнування Мора – Кулона (для скляної пластини), напружень (за Мизесом та інших) для елементів супорта. Приведені налаштування програми забезпечують її безконфліктну роботу з невеликими витратами машинного ресурсу. Є можливість варіацій конструкції супорта, включаючи врахування умов закріплення (тертя) елементів. Локалізація критичних напружень в скляній пластині співпадає з даними натурних експериментів, що говорить об адекватності моделі. Розроблена модель стенду дозволяє дослідити напружений стан листового скла в умовах рівномірного навантаження в залежності від параметрів гумової прокладки і обґрунтувати конструкцію супорта.

листоє скло, супорт, 3D моделювання, критерії руйнування, напруження Мора – Кулона

Постановка проблеми. Сучасні архітектурні рішення передбачають застосування листового скла як конструктивного матеріалу, здатного сприймати значні навантаження. При розрахунках на міцність існуючі нормативні документи, такі як ГОСТ Р 56926-2016 та EN 12150-2, передбачають, переважно, вітрові навантаження на поверхню скляної пластини.

© Г.Д. Портнов, В.В. Дарієнко, В.В. Пукалов, 2022

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Введення норм розрахунку конструкцій зі скла ускладнюється варіативністю його характеристик міцності [1]. На відміну від традиційних конструктивних матеріалів граничний стан листа скла залежить не тільки від внутрішніх дефектів, але і від технологічних факторів, залишкових напружень, стану поверхні та кромки [2]. Це робить результати випробувань виробника статично неоднорідними. До того ж на надійність конструкції впливають конструктивні фактори закріплення листа (фальцева зона, трьох- та чотирих-точковий згин, кільце-на-кільце) [3, 4], умови експлуатації (циклічне та тривале статичне, динамічне навантаження) [5, 6].

На практиці питання конструктивного забезпечення надійності вирішуються на місцях проведення натурних випробувань значної кількості варіантів будівельних конструкцій [7, 8].

Застосування листового скла як конструктивного матеріалу, здатного сприймати значні навантаження ускладнюється відсутністю системи нормативних документів з розрахунків напружено – деформованого стану конструктивних елементів.

Класична теорія руйнування для крихких матеріалів з різними властивостями розтягування та стиснення передбачає обрання критерієм руйнування напруження Мора – Кулона [9]. Обчислення цього показника в умовах натурального експерименту є проблематичним.

У Німеччині в TRLV (Технічні умови для застосування лінійно встановленого скління) розрахунок конструктивних елементів зі скла здійснюється шляхом порівняння діючого напруження при розтягуванні з допустимим напруженням.

В ГОСТ Р 56926—2016 як основний критерій розрахунку зовнішнього балконного скління приймають розрахункове значення гранично допустимого прогину скла.

Аналітичні розрахунки з використанням узагальнених коефіцієнтів надійності на практиці призводять до економічно невиправданих рішень при розробці несучих конструкцій.

Постановка завдання. Метою статті є застосування можливостей сучасних програмних комплексів 3D моделювання з інтегрованими модулями розрахунку напружено-деформованого стану моделі дозволяє істотно знизити собівартість цих випробувань при використанні віртуального стенда.

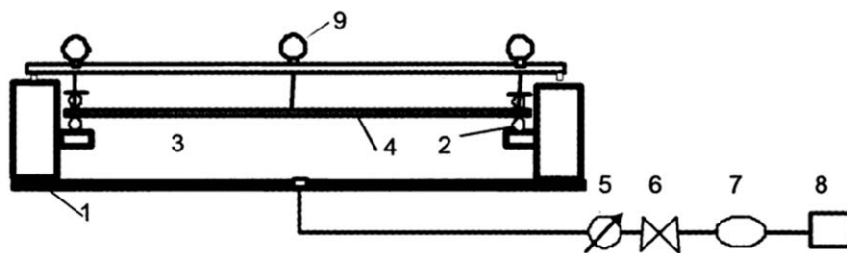
Виклад основного матеріалу. Особливості віртуального стенда для дослідження конструкцій з листового скла пов'язані з нелінійним характером деформацій при навантаженні, невизначеністю критеріїв руйнування, а також з обранням умов контакту деталей стенда.

З прагненнями спростити застосування напівемпіричних формул пов'язані введення в розрахунки в якості критеріїв руйнування головних напружень та комбінацій напружень розтягу, стискання, а також дотичних напружень, які можуть бути обчислені за допомогою датчиків.

Щодо взаємодії між деталями, то спроби врахувати занадто велику кількість факторів призводить до невиправдано великих витрат машинного ресурсу [10, 11,].

Запропонована модель стенда дозволяє оцінити напружено – деформований стан встановленого в раму прямокутного листа скла при дії на його поверхню рівномірно розподіленого тиску.

Прототипом моделі є стенд для натурних досліджень листового скла на згин [8], показаний на рис.1.

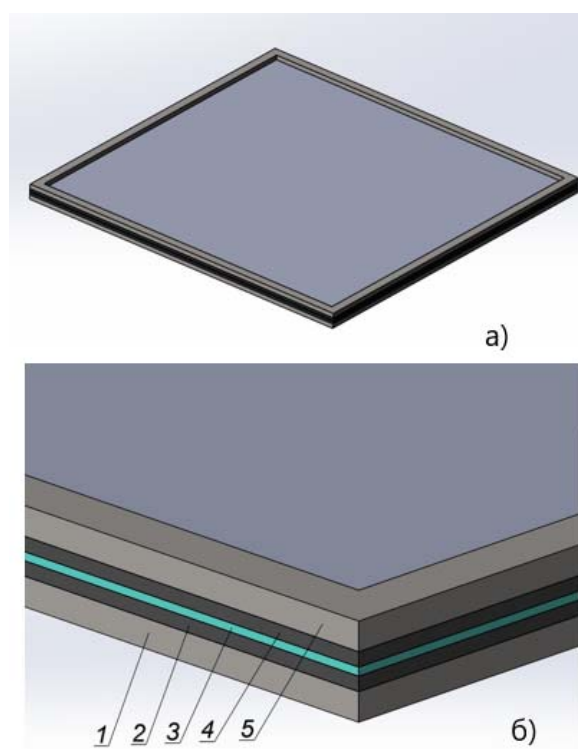


1 – герметична камера; 2 – гумові прокладки по периметру; 3 – вакуумна камера; 4 – зразок листового скла; 5 – манометр; 6 – запірний кран; 7 – ресивер; 8 – вакуумний насос; 9 – індикатори.

Рисунок 1 – Конструкція стенда для випробування листового скла рівномірно розподіленим навантаженням

Джерело [8]

Розроблена в середовищі SOLIDWORKS модель показана на рис.2



а) – загальний вигляд; б) – деталізація

1 – нижня рама; 2, 4 – гумова прокладка; 3 – лист скла; 5 – верхня рама.

Рисунок 2 – Модель стенда для випробування листового скла рівномірно розподіленим навантаженням
Джерело: розроблено авторами

Модель включає нижню та верхню прямокутні рами, дві гумові прокладки, в плані подібні до рами і прямокутний скляний лист за зовнішніми габаритами в плані подібний до рами.

Товщина і матеріал рами обирається довільно, бо при розрахунку моделі рама призначається абсолютно твердим тілом.

Розміри скла, гумової прокладки і їх фізико-технічні властивості призначаються в залежності від умов експерименту.

Дослідження моделі виконуються в модулі SOLIDWORKS Simulation за наступними налаштуваннями:

1. Тип дослідження: нелінійне статичне.
Часовий інкремент: «автоматично».
Параметри нелінійності: «використовувати склад для великого зсунення»; «параметр великої деформації» включений.
Обрання програми, що вирішує: «автоматично».
2. Деталі: рама – жорстке тіло; скляна пластина і гумова прокладка – такі, що деформуються.
3. Взаємодія компонентів: «нижня рама (нижня, верхня) - гумова прокладка (нижня, верхня)» - «пов'язані з незалежною сіткою»; «скляна пластина – гумова прокладка (нижня, верхня)» - локальна взаємодія « контакт з тертям».
4. Кріплення: «зафіксована геометрія» рам (рис.3)

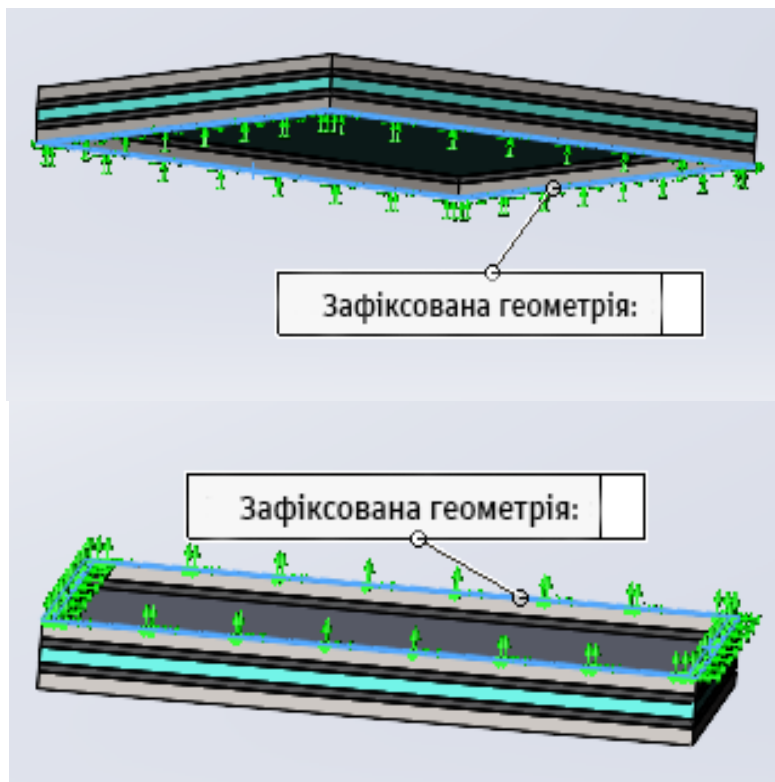


Рисунок 3 – Кріплення рам

Джерело: розроблено авторами

5. Зовнішнє навантаження: тиск на верхню поверхню скла за межами гумової прокладки (рис.4).

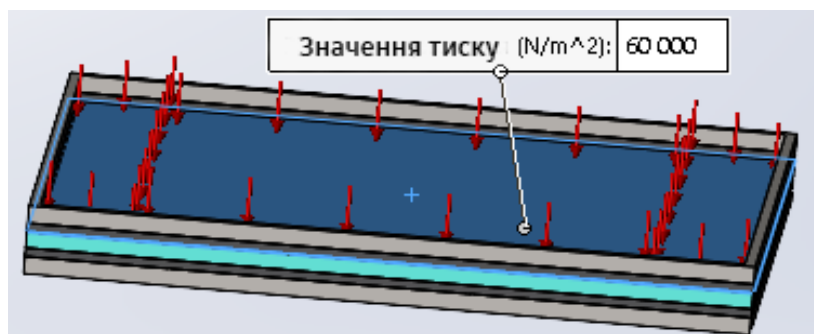


Рисунок 4 – Зовнішнє навантаження на скляну пластину

Джерело: розроблено авторами

6. Сітка: на основі змішаної кривизни.

Дослідження моделі дозволяє:

- безпосередньо визначити значення і локалізацію головних напружень скляної пластини (рис.5);

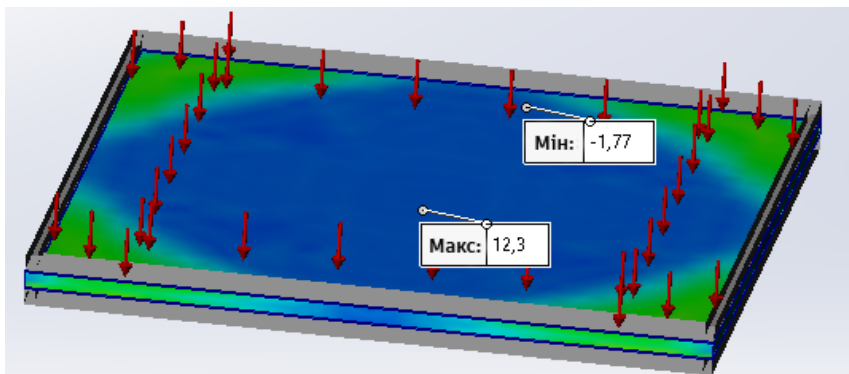


Рисунок 5 – До визначення головних напружень

Джерело: розроблено авторами

- безпосередньо визначити значення і локалізацію мінімального коефіцієнту запасу міцності за критерієм руйнування Мора – Кулона (рис.6) з наступним перерахунком напруження Мора – Кулона в залежності від закладеного в матеріал скла значення межі міцності;

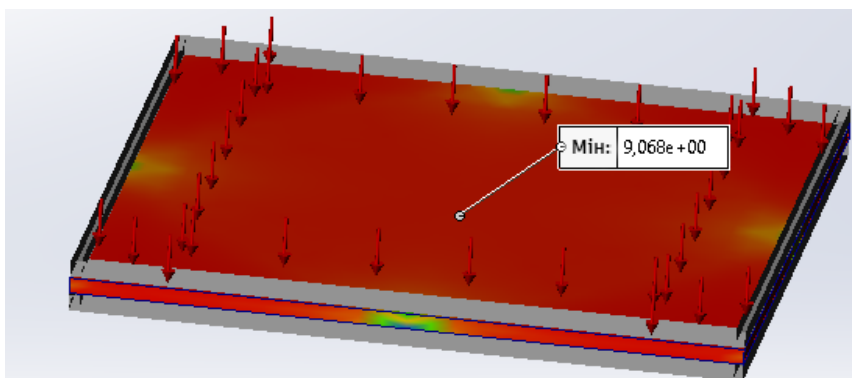


Рисунок 6 – До визначення коефіцієнту запасу міцності за критерієм руйнування Мора – Кулона

Джерело: розроблено авторами

- безпосередньо визначити значення і локалізацію максимального зміщення точки моделі (рис.7) з можливістю вирахування переміщення вузла пластини;
- визначити деформації.

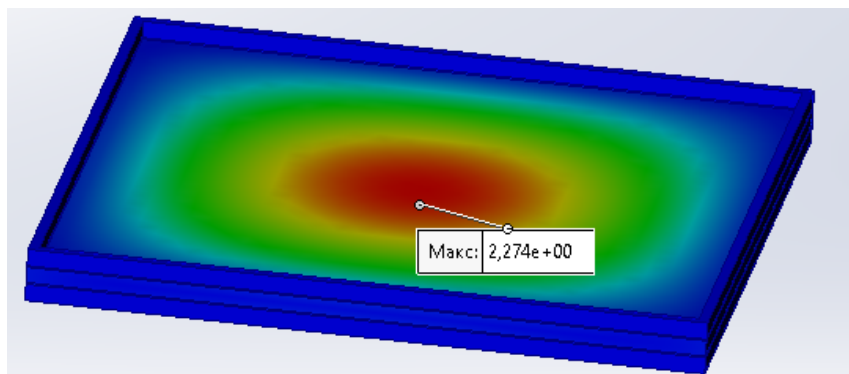


Рисунок 7 – До визначення переміщення

Джерело: розроблено авторами

Висновки:

1. Приведені налаштування забезпечують безконфліктну роботу програми.
2. Локалізація критичних напружень в скляній пластині співпадає з даними натурних експериментів, що говорить про адекватність моделі.
3. Розроблена модель стенду дозволяє дослідити напружений стан листового скла в умовах рівномірного навантаження залежно від параметрів гумової прокладки і обґрунтувати конструкцію супорта.

Список літератури

1. Демчина Б., Сумрай М., Ткач Р., Гула В. Визначення фізико-механічних властивостей скла на згин за допомогою двопараметричного розподілу Вейбулла. *Будівельні конструкції. Теорія і практика: збірник наукових праць МОН України*. Київський національний університет будівництва і архітектури. 2020. Вип. 6. С. 94–113.
2. Родічев Ю. М., Веєр Ф. А., Сорока О. Б., Шабетя О. А. Конструкційна міцність термічно зміцненого скла. *Проблеми прочності*. 2018. № 4. С. 85–100.
3. Mognato E., Brocca S., and Comiati F. Which is the right reference surface compression value for heat treated glass. *Challenging Glass 6*. C. Louter, F. Bos, J. Belis, et al. (Eds.). 2018. P. 703–712. <https://doi.org/10.7480/cgc.6>.
4. Veer F. A. and Rodichev Y. M. The relation between pre-stress and failure stress in tempered glass. *Challenging Glass 4 and COST Action TU0905 Final Conference*. C. Louter, F. Bos, J. Belis, J.-P. Lebet (Eds.). Leiden: CRC Press. 2014. P. 731–738.
5. Kalamar R., Eliášová M. Load Bearing Innovative Construction from Glass. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 96*. 2015. P. 12–66. <https://doi.org/10.1088/1757-99X/96/1/012066> (Lest accessed: 04.11.2022)
6. Mould R. E. The Strength of Inorganic Glasses. L.J. Bonis, J. J. Duga, J.J. Gilman (Eds), *Phenomena in the Materials Sciences, V. 4: Fracture of Metals Polymers and Glasses*, Plenum Press. 1967. P. 119-149. http://www.americanglassresearch.com/sites/default/files/r009the_strength_of_inorganic_glass.pdf. (Lest accessed: 07.11.2022)
7. Costa S., Miranda M., Varum H., Teixeira-Dias, On the Evaluation of the Mechanical Behaviour of Structural Glass Elements. *Materials Science Forum 514-516*. 2006. P. 799-803. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.514-516.799>.
8. Nielsen J. H. Experimental investigation of residual stresses in toughened glass. *Challenging Glass 1*. F. Bos, C. Louter, and F. Veer (Eds.). Amsterdam: Delft University Press. 2008. P. 387–398.
9. Родичев Ю. М. Дефекты поверхности и прочность листового стекла при циклическом и длительном статическом нагружении. *Проблеми прочності*. 2015. № 2. С. 101–115.
10. Zubkov V., Kondratieva N. Flat glass strength in facade systems coverings and floorings of buildings and structures. *Glass. Facade. Energy. Dusseldorf (Germany)*. 2010. P. 63–70.
11. Veer F. A. and Rodichev Y. M. Improving the engineering strength of heat strengthened glass. *Heron*. 2016. 61, No. 2. P. 121–138.

References

1. Demchyna, B., Sumrai, M., Tkach, R. & Gula, V. (2020). Determining the physical and mechanical properties of glass for bending using the two-parameter Weibull distribution. *Building structures. Theory and practice: a collection of scientific works of the Ministry of Education and Science of Ukraine*. Kyiv National University of Construction and Architecture. Issue 6. P. 94–113 [in Ukrainian].
2. Rodichev, Yu.M., Veyer, F.A., Soroka, O.B. & Shabetya, O.A. (2018). Structural strength of thermally strengthened glass. *Strength problems*. No. 4. P. 85–100 [in Ukrainian].
3. Mognato, E., Brocca, S., & Comiati, F. (2018). Which is the right reference surface compression value for heat treated glass. *Challenging Glass 6*. C. Louter, F. Bos, J. Belis, et al. (Eds.). P. 703–712 [in English]. <https://doi.org/10.7480/cgc.6>.
4. Veer, F.A. & Rodichev, Y.M. (2014). The relation between pre-stress and failure stress in tempered glass. *Challenging Glass 4 and COST Action TU0905 Final Conference*. C. Louter, F. Bos, J. Belis, J.-P. Lebet (Eds.). Leiden: CRC Press. P. 731–738 [in English].
5. Kalamar, R. & Eliášová, M. (2015). Load Bearing Innovative Construction from Glass. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 96*. P. 12–66. <https://doi.org/10.1088/1757-99X/96/1/012066> [in English].

6. Mould, R.E. (1967). The Strength of Inorganic Glasses. L.J. Bonis, J. J. Duga, J.J. Gilman (Eds), Phenomena in the Materials Sciences, V. 4: *Fracture of Metals Polymers and Glasses*, Plenum Press. P. 119-149. http://www.americanglassresearch.com/sites/default/files/r009the_strength_of_inorganic_glass.pdf. [in English].
7. Costa S., Miranda M., Varum H. & Teixeira-Dias. (2006). On the Evaluation of the Mechanical Behaviour of Structural Glass Elements. *Materials Science Forum* 514-516. P. 799-803. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.514-516.799>. [in English].
8. Nielsen, J.H. (2008). Experimental investigation of residual stresses in toughened glass. *Challenging Glass I. F. Bos, C. Louter, and F. Veer (Eds.)*. Amsterdam: Delft University Press. 2008. P. 387–398 [in English].
9. Rodichev, Yu.M. (2015). Defekty poverhnosti i prochnost' listovogo stekla pri ciklicheskom i dlitel'nom staticheskom nagruzhennii. [Surface defects and strength of sheet glass under cyclic and long-term static loading]. *Problemy prochnosti – Strength problems*, 2, 101–115 [in Russian].
10. Zubkov, V. & Kondratieva, N. (2010). Flat glass strength in facade systems coverings and floorings of buildings and structures. *Glass. Facade. Energy. Dusseldorf (Germany)*. P. 63–70 [in English].
11. Veer, F.A. & Rodichev, Y.M. (2016). Improving the engineering strength of heat strengthened glass. *Heron*. 61, No. 2. P. 121–138 [in English].

Hennadii Portnov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Viktor Dariienko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Viktor Pukalov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Stand Model for the Study of Sheet Glass Structures

The use of sheet glass as a structural material capable of bearing significant loads is complicated by the lack of regulatory documents for calculating the stress-strain state. This is primarily due to the variability of the strength characteristics of sheet glass. In practice, these necessary indicators are obtained by conducting full-scale research. A large number of factors that affect the strength of glass makes the test results statically heterogeneous, which leads to a high cost of research. The use of the capabilities of modern 3D modeling software systems can significantly reduce the cost of testing by virtually simulating the impact on the model of the structural element. The glass plate model is free of production defects, so its study allows for determining the general direction of the influence of structural factors on the structure's performance and its optimization.

This paper presents a stand model developed in the SOLIDWORKS environment for the study of sheet glass structures under the action of uniformly distributed pressure. Analyzing the model in the SOLIDWORKS Simulation module according to the proposed settings allows to study of the stress state of flat glass depending on the parameters of the rubber gasket and to justify the design of the support unit. The model allows to estimate of the stress-strain state of structural elements based on the Mohr-Coulomb failure criterion (for a glass plate), and stresses (according to Mise, and others) for support elements. The above settings of the program ensure its conflict-free operation with low machine resource consumption. There is a possibility of variations in the design of the support unit, including taking into account the conditions of fixing (friction) elements. The localization of critical stresses in the glass plate coincides with the data from field experiments, which indicates the adequacy of the model.

The developed model of the stand allows for the investigation of the stressed state of sheet glass under uniform load conditions, depending on the parameters of the rubber gasket.

sheet glass, support unit, 3D modeling, failure criterion, Mohr-Coulomb stress criterion

Одержано (Received) 25.11.2022

Прорецензовано (Reviewed) 13.12.2022

Прийнято до друку (Approved) 29.12.2022

І.А. Карпюк, доц., канд. техн. наук, **В.М. Карпюк**, проф., д-р техн. наук, **А.І. Костюк**, доц., канд. техн. наук, **Р.В. Глібоцький**, асп., **О.О. Постернак**, доц., канд. техн. наук
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса, Україна
e-mail: irina.carpyuk@gmail.com, v.karpiuk@ukr.net, isi@ogasa.org.ua,
romich.gl@gmail.com, alex.bk@ukr.net

Несуча здатність доведених до граничного стану (ULS) пошкоджених бетонних балок з BFRP, підсилених фіброармованими пластиками (CFRP)

В статті представлені результати випробування доведених у попередніх дослідженнях до граничного (ULS) стану бетонних балок з BFRP, підсилених вуглепластиковими полотнами (CFRP) у нижніх розтягнутих зонах і вуглепластиковими сорочками на припорних ділянках.

Несучу здатність доведених до граничного стану (ULS) припорних ділянок балкових конструкцій, підсилених матеріалами FRP, слід визначати, у першу чергу, на дію згинального моменту за критичною похилою тріщиною.

розрахунок, пошкоджені бетонні конструкції, базальтопластикова арматура, підсилення, зовнішній фібропластик, перша група граничних станів, малоциклове ступенево зростаюче навантаження, згинальний момент, поперечна сила

Постановка проблеми. У процесі експлуатації, в тому числі під час бойових дій виникає необхідність відновлення або підсилення несучої будівельних конструкцій арматури і бетону чи передчасного руйнування, так із-за потреби підвищення експлуатаційних навантажень на них, сейсмостійкості будівлі чи споруди тощо.

Відомі способи підсилення за рахунок збільшення перерізів конструкцій шляхом приєднання до них додаткових елементів, бетонних або розчинних сорочок, використання затяжок і створення в них попереднього напруження [1], а також приєднання металевих пластин у зонах максимальних розтягуючих напружень мають суттєві недоліки: велику вагу конструкцій підсилення, трудомісткість виготовлення пристроїв, неможливість у деяких випадках підсилення складних поверхонь та ін.

Досить ефективним виявилось підсилення будівельних конструкцій композитними матеріалами, армованими вуглецевими, арамідними, поліефірними і скляними волокнами. Безперечними їхніми перевагами являються: висока міцність, стійкість до агресивних впливів оточуючого середовища, легкість повтореннялюбих форм конструкції, невелика трудомісткість здійснення підсилення на будівельному майданчику.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [2] відзначено, що основною проблемою підсилення конструкцій вуглепластиком є його відшарування від поверхні бетону внаслідок низької якості її підготовки. Проведене дослідження спрямоване на експериментальну оцінку ефективності підсилення вуглепластиком у канавках тринадцяти залізобетонних балок. Відзначається, що виконане підсилення значно покращило несучу здатність балок на згин (до 95% при використанні канавок прямокутної форми 10x10x10 мм). Проте, у цій роботі не вказана ефективність вказаного підсилення пошкоджених наскрізними нормальними та похилими тріщинами

залізобетонного елемента, доведеного до руйнування у попередніх дослідженнях без його підсилення. Окрім того, ніяких пропозицій щодо розрахунку таких конструкцій в ній не наведено.

У роботі [3] досліджували вплив підвищеної температури та анкерних канавок на зсувні характеристики залізобетонних балок, підсилених композитами із вуглепластику. Відзначається, що суттєве відновлення структурних характеристик значно пошкоджених теплом конструкційних бетонних елементів стає можливим з використанням композиційних матеріалів, армованих вуглецевим волокном (CFRP). Мета виконаних досліджень полягала у визначенні внеску смуг вуглепластику в міцність на зсув бетонного елемента до і після впливу підвищеної температури. Демонструючи видатні структурні характеристики зі значними підвищеннями граничної міцності, граничного прогину, жорсткості та ударної в'язкості, результати виконаних досліджень показують, що смуги вуглепластику можуть ефективно використовуватися у якості зовнішньої арматури на зсув у залізобетонних балках, що піддаються впливу підвищених температур. Авторами статті запропонована емпірична модель для прогнозування рівня пошкоджень та міцності на зсув нагрітих пошкоджених залізобетонних балок, армованих зовнішньою композитною вуглепластиковою арматурою, з урахуванням впливу кількості смуг, приклеєних методом канавки, та рівня підвищеної температури. Разом з тим, у даній роботі не розглядалося підсилення пошкоджених наскрізними силовими тріщинами залізобетонних елементів та відповідний його розрахунок.

У праці [4] описана поведінка залізобетонних балок, пошкоджених нагріванням і підсилених смугами CFRP, розташованими у канавках. Двадцять залізобетонних балок (150x200x1100 мм) були виготовлені і витримані на протязі 28 діб у вологій мішковині. Потім частину балок нагрівали і витримували на протязі двох годин при температурі 250, 500 і 750 °C з використанням електричної печі. Іншу частину балок витримували у лабораторії при температурі 23 °C. Мета виконаних досліджень полягала у тому, щоб оцінити внесок смуг вуглепластика в міцність балок на згин, а також оцінити ефективність їх використання у якості основної або додаткової арматури на згин до і після впливу підвищеної температури. Окрім того, відстежували і систематизували режим розтріскування та руйнування балок. Неушкоджені і підсилені пошкоджені, а потім зміцнені вуглепластиком балки показали підвищену граничну міцність, граничний прогин, жорсткість та ударну в'язкість порівняно з контрольними балками. Зміцнення поздовжнього армування балок вуглепластиком за допомогою поперечних канавок запобігало відшаруванню ламелей (поздовжніх смуг вуглепластика) і сприяло руйнуванню балок за нормальними перерізами. Встановлено, що підвищення температури більше 500 °C виражено знижує – несучу здатність на згин, сприяє утворенню надмірних тріщин у бетоні без його сколювання. Своїх пропозицій по урахуванню впливу підвищених температур на несучу здатність звичайних та підсилених ламелями залізобетонних балок та проектуванню вказаного підсилення.

У роботі [5] розглядається поведінка легких залізобетонних балок, підсилених зовні листами вуглепластику і виготовлених з конструкційного легкого бетону (LWC). П'ятнадцять дослідних балок ALWC були розділені на три серії залежно від коефіцієнта їхнього армування та посилення листами вуглепластику зовні балок. Тестовими змінними були: коефіцієнти ефективного армування, кількість шарів вуглепластику та відсоток поперечного навантаження. Усі балки були випробувані на згин за чотириточковою схемою. Результати експериментів показали, що лист вуглепластика значно збільшує граничну несучу здатність попередньо навантажених та ненавантажених підсилених зразків – балок від 28 до 102 % порівняно з непідсиленим

контрольним зразком. Граничну несучу здатність прогнозували з використанням різних стандартів проектування і порівнювали з експериментальними даними. Порівняння показало, що чинні стандарти завищують несучу здатність на згин зразків ALWC, підсилених вуглепластиковими листами. Проте, в даній роботі не наведена використана методика розрахунку підсилених елементів та не зроблені пропозиції щодо її вдосконалення.

У праці [6] описане експериментальне дослідження несучої здатності бетонних балок зі склопластиковою арматурою, підсилених зовні вуглепластиковими листами. Авторами було випробувано 18 балок завдовжки 2,4 м прямокутного перерізу 300x200 мм зі склопластиковою внутрішньою арматурою у вигляді прямолінійних стержнів та зовнішніми вуглепластиковими листами у вигляді скоб. У цьому дослідженні використовували три типи бетону: на звичайному портландцементі (ОПС); бетон, армований полімерним волокном (FRC) та геополімерний бетон (GPC). Шість балок, по дві для кожного типу бетону, були розділені як контрольні, а решта дванадцять були підсилені за допомогою U - подібних листів EB-CFRP. Листи вуглепластика розташовували зверху та між внутрішньою поперечною арматурою. Результати досліджень показали, що GFRP є спроможним армуванням для балок типу ОПС, GPC і FRC. А використання EB-CFRP є підходящим методом підсилення таких композитних систем. Приріст міцності на зсув в балках з EB – вуглепластиковим підсиленням у місці розташування внутрішніх хомутів був на 5-10 % меншим порівняно з іншим розташуванням. Проте, конкретних пропозицій щодо розрахунку за значного підсилення балочних конструкцій у роботі не наведено.

У роботі [7] представлені результати досліджень несучої здатності фібробетонних балок зі сталеву арматурою (SFRC), підсилених вуглепластиком (CFRP) з використанням різноманітних технологій, на зсув. Підсилення балок зовні здійснюється вуглепластиковим полотном (EBP), а також зовнішньою арматурою в канавках (EBROG). Шістнадцять бетонних балок шириною 110 мм, висотою 150 мм та довжиною 1300 мм були випробувані для оцінки впливу сталеві фібри та оцінки впливу методів нарізки канавок з точки зору покращення несучої здатності балок з SFRC, підсилених вуглепластиком. Балки були запроектовані так, щоби руйнування відбувалося за похилими перерізами. Використовували п'ять об'ємних часток сталеві фібри: 0,0; 0,8 % 1,5 % 1,5 % та 2,0 %. Балки випробовували за чотириточковою схемою навантаження з двома значеннями зсувного прольоту зрізу в долях до робочої висоти перерізу (a/d): 2,20 та 2,85). Результати випробувань показали, що міцність на зсув і пластичність руйнування збільшуються зі збільшенням об'ємної частки волокон, а несуча здатність балок з фібробетону збільшилася на 33-68 % порівняно з несучою здатністю контрольної балки без сталеві фібри. Окрім того, з використанням листів вуглепластика підвищується міцність та жорсткість випробуваних зразків балок. Збільшення несучої здатності балок із СФБ, підсиленої вуглепластиковим листом за методом EBR, склало 79 %, а методом EBROG - 89-110 % порівняно з контрольними зразками – балками. Відзначається вплив форми канавок на несучу здатність балок та характер їх руйнування. Проте, конкретних пропозицій щодо розрахунку зазначеного підсилення балочних конструкцій у роботі не представлено.

У праці [8] розглядається двонаправлена U – подібна система кріплення листів вуглепластику при підсиленні таврових залізобетонних балок. Експериментально встановлено, що зовнішнє армування полімерним волокном (FRP) є ефективним методом підсилення залізобетонних балок. У цьому дослідженні були виготовлені п'ять залізобетонних таврових балок, одна з яких являлась контрольним зразком. Решту чотири балки підсилили одним листом вуглепластика. Одна з них була

випробувана без анкерування, тоді як на трьох інших балках лист вуглепластика був заанкерений трьома двонаправленими U – подібними обгортками зі склопластику під кутом $\pm 45^\circ$. Експериментальна частина досліджень дозволила зробити висновок про те, що три підсилені вуглепластиком балки з анкерними пристроями показали збільшення міцності на вигин порівняно з балкою без анкерування кінців листа вуглепластика. Окрім того, балки з анкерними пристроями на кінцях листів вуглепластика показали майже однакову несучу здатність. При цьому, анкерування вуглепластику за допомогою U - подібних склопластикових накладок під кутом $\pm 45^\circ$ є більш ефективним. Проте, автори не дали відповіді: чи спрацює запропонована ними система підсилення пошкоджених силовими тріщинами або температурними впливами вказаних залізобетонних балок.

У роботі [9] розглянуті питання ремонту та підсилення матеріалів бетонних балок з використанням різних конфігурацій вуглепластикових ламінатів. Авторами було виготовлено дванадцять балок (1200x200x120 мм). Перші десять балок були піддані попередньому навантаженню на різних рівнях (45, 60, 70, 80 і 100 %) від руйнуючого навантаження контрольної балки. Попередньо навантаженні балки були відремонтовані двома різними способами з використанням листа вуглепластика U – подібної та W – подібної форми, а потім знову випробувані до повної відмови за чотириточковою схемою навантаження. Результати показали, що попереднє навантаження (а, отже, отримані пошкодження) на високих рівнях мало вплив на несучу здатність бетонних балок з дефіцитом зсуву, а з іншого боку, приклеєні листи вуглепластика допомогли відновити і, навіть, збільшити граничну несучу здатність більшості балок. Представлені експериментальні результати доводять, що ремонт раніше пошкоджених балок допомагає їм не тільки відновитися, а й значно збільшити їхню здатність чинити опір передчасному руйнуванню при зсуві. Проте, у представленій роботі відсутні дані про отримані на попередньому етапі пошкодження та характер руйнування, а також методи розрахунку та проектування підсилених елементів.

Автори [10] розглянули несучу здатність та деформативність високоміцних залізобетонних балок прямокутного поперечного перерізу, пошкоджених вогнем у зонах розтягу і стиску та відремонтованих вуглепластиковими листами. Основною метою даного дослідження було визначення залишкової міцності на згин високоміцних вільно обпертих залізобетонних балок після впливу на розтягнуті та стиснуті зони вогню, інтервалу дії вогню, а також ефект підсилення з використанням вуглепластикових ламінатів, армованих вуглецевим волокном. Десять вільно обпертих високоміцних залізобетонних балок завдовжки 2000 мм, шириною поперечного перерізу 200 мм та висотою 250 мм були випробувані до руйнування після дії стандартного вогню ISO-834 або ASTM E-119 протягом 45, 90, 120 хв та підсилення листами вуглепластику. Балки були поділені на три групи. Серію з дев'яти балок піддавали стандартному впливу вогню з різним часом на додаток до контрольних балок. Після цього армований вуглецевим волокном полімер на стелі був використаний для підсилення трьох пошкоджених вогнем балок. При цьому, впливу вогню зазнавали стислі грані трьох вказаних балок. За результатами випробувань усі зразки зруйнувалися на згин. Балка, піддана вогню на протязі двох годин, втратила 12 % свої міцності без обвалення, хоча прогин балки був майже такими ж, як і у контрольної балки. Відзначено, що використання EB-CFRP для підсилення пошкоджених вогнем балок достатньо, щоб відновити більшу частину втраченої жорсткості. Балка, піддана випалюванню протягом двох годин, мала 35 % зниження граничного навантаження. Поведінка дослідних зразків – балок, пошкоджених вогнем виявилася передбачуваною

при використанні простого аналізу плоских перерізів та застосуванні методу ізотерми при 500 °С, викладених у EN-1992-1-2(2004). Проте, у роботі нічого не сказано про те, що під впливом вогню відбувається розрихлення та зниження міцності бетону, а також про те, що у таких умовах потрібно вживати додаткових конструктивних заходів для забезпечення належного анкерування вуглепластикових ламінатів на приопорних ділянках підсилюваних балкових залізобетонних елементів.

Автори [11] представили результати експериментального дослідження несучої здатності залізобетонних балок без поперечної сталеві арматури, підсилені композиційними матеріалами. Особливістю випробувань є те, що підсилення балок здійснювалося під дією навантаження. Програма досліджень передбачала випробування серії пробних балок розмірами 2100x200x100 мм, до якої входив контрольний зразок і три балки, підсилені системою FRCM. Система FRCM складалася з двох компонентів: мінерального розчину на основі модифікованого цементу Ruredil X Mesh M750 та армуючої сітки з волокон Ruredil X Mesh Cold (Італія). Дослідження зразків-балок виконували з відносним прольотом зрізу (зсуву) $a/h=2$. Рівні попереднього навантаження складали 0,0; 0,3; 0,5 від величини поперечної сили, при якій непідсилені контрольні балки руйнувалися за похилим перерізом від зсуву. Було встановлено, що під час зміцнення конструкції похилого перерізу балок слід враховувати існуючий рівень навантаження: посилювальний ефект системи зміцнення Ruredil X Mesh Cold зменшувався в 2,8-2,9 разів при підвищенні існуючого рівня навантаження від 0 до 50 % від величини вказаної вище поперечної сили. Очевидно, отриманий результат свідчить про суттєвий перерозподіл внутрішніх сил в балках і перехід від можливого руйнування непошкоджених балок за нормальними перерізами до руйнування за похилими перерізами пошкоджених тріщинами хоча і підсилені балок.

Аналіз літературних джерел показує, що основні нормативні документи і рекомендації з розрахунку конструкцій з FRP розроблені у США, Канаді, Японії, Великобританії, Італії на протязі останніх 25 років на основі норм з розрахунку і проектування залізобетонних конструкцій зі сталеві арматурою. В Україні та Росії підготовлені, відповідно, Настанова [12] та додаток Л до СП [13], які розглядаються як проекти майбутніх нормативних документів.

У більшій степені опрацьовані питання нормування вимог до скло-, органо- та вуглепластикові арматури. Застосування базальтопластикові арматури (BFRP) недостатньо унормовано.

На основі аналізу апріорної інформації про результати досліджень хімічної стійкості, фізико-механічних властивостей та практики застосування FRP очевидно є доцільність використання BFRP у цивільному та дорожньому будівництві для гідротехнічних споруд, у хімічній промисловості, а також для медичних і воєнних об'єктів, до яких пред'являються особливі вимоги.

Агресивні умови експлуатації, незаплановане збільшення навантаження, форс-мажорні обставини, воєнні дії дуже часто призводять до часткової або повної втрати несучої здатності бетонних конструкцій з FRP, яка супроводжується надмірною шириною розкриття тріщин, деформативністю, зниженням міцнісних властивостей матеріалів тощо. Проте, аналіз останніх публікацій показав, що ні національні норми проектування, ні відомі авторські методики не містять в собі чітких вказівок по розрахунку сумісної роботи пошкоджених бетонних балкових конструкцій з FRP або залізобетонних елементів, доведених під час попередньої експлуатації до граничного стану (ULS) або руйнування, з композитними матеріалами підсилення. Тому проведення експериментально-теоретичних досліджень по вивченню несучої здатності,

деформативності та тріщиностійкості системи «Пошкоджена бетонна балка зі сталеву або неметалевою композитною арматурою – композитні матеріали її підсилення» та розробка відповідної методики розрахунку являється важливим і актуальним.

Порівняння опублікованих дослідних даних з результатами розрахунків несучої здатності як цілих, так і пошкоджених бетонних балкових конструкцій зі сталеву і неметалевою композитною арматурою, підсилені вуглепластиковими обіймами, за наявними рекомендаціями показало незадовільну їх збіжність. При цьому, публікацій по підсиленню доведених до граничного стану (ULS) або зруйнованих бетонних конструкцій з FRP композитними матеріалами та проектуванню такого підсилення у доступній авторам літературі не знайдено за виключенням [14].

Постановка завдання. Мета роботи полягає в експериментально-теоретичному вивченні несучої здатності пошкоджених у попередніх дослідженнях [15] і доведених до руйнування бетонних балок з BFRP, підсилені вуглепластиковим полотном у нижній розтягнутій зоні та вуглепластиковими сорочками на приопорних ділянках за дії малоциклового знакоповторного поперечного навантаження високих рівнів з розробкою вихідних даних до фізичної моделі методики розрахунку міцності їхніх нормальних і похилих перерізів.

Завдання досліджень:

- підготувати поверхні пошкоджених наскрізними силовими тріщинами і доведених до руйнування за похилих тріщинами бетонних балок з BFRP [15] та здійснити їх підсилення вуглепластиковим полотном Sika®Wrap®-230C (CFRP) з використанням двокомпонентної смоли Sikadur-300 у нижніх розтягнутих зонах та на зруйнованих пропорних ділянках за встановленою технологією;

- виконати експериментальні дослідження несучої здатності підсилені вуглепластиковим полотном (CFRP) раніше пошкоджених наскрізними нормальними і похилими тріщинами бетонних балок з BFRP за дії малоциклового знакоповторного ступенево зростаючого поперечного навантаження аж до їх руйнування:

- встановити характер деформування, тріщиноутворення та руйнування дослідних елементів і запропонувати експериментально-статистичні залежності несучої здатності підсилені вуглепластиком (CFRP) нормальних і похилих перерізів доведених до руйнування бетонних балок з BFRP;

- оцінити вплив конструктивних чинників на несучу здатність пошкоджених базальтобетонних балок, підсилені вуглепластиком, та розробити вихідні дані до фізичної моделі несучої здатності їхніх нормальних і похилих перерізів.

Методика проведених експериментів та обладнання.

Методика випробування непошкоджених бетонних балок з BFRP та їх конструкція представлена в [15].

Для досягнення поставленої мети раніше були реалізовані дві серії натурних дослідів [15] з однопрогінними балками, армованими BFRP, за дії статичного малоциклового повторного навантаження високих рівнів згідно держбюджетних тем 0108U000559, 0121U114597 з використанням ротатабельного плану-експерименту Бокса-Бенкіна В₃. У цих перших двох серіях у якості дослідних обрані наступні фактори (конструктивні чинники), які змінювалися на трьох рівнях (табл. 1): X_1 – відносний проліт зрізу або зсуву (віддаль від опори до зосередженої сили), $a/h_0 = 1, 2, 3$ при $h_0 = d = 175$ мм; X_2 – клас бетону С, МПа: С16/20, С30/35, С40/50; X_3 – коефіцієнт поперечного армування непошкоджених базальтобетонних балок ρ_{fw} (АКБ-800): 0,0029; 0,0065; 0,0115. Коефіцієнти верхнього і нижнього поздовжнього армування $\rho_{fl} = \rho'_{fl} = 0,0176$ з розрахунковими прольотами $L_0 = 9h_0 = 1575$ мм і шириною

$b = 100$ мм.

У першій серії дослідів непошкоджені балки були випробувані на дію ступенево зростаючого одноразового статичного (І. Karpiuk, А. Tselikova), а у другій – малоциклового повторного навантаження (І. Karpiuk, А. Khudobych).

Оскільки реальний коефіцієнт робочого армування $\rho_{fl} = 0,0176$ перевищував граничне значення $\rho_{fb} = 0,041$ $\rho_{fb} = 0,0041$; 0,0056; 0,0085 для трьох використаних названих класів бетону (С16/20, С30/35, С40/50), то руйнування дослідних зразків – балок відбувалося не по розтягнутій базальтопластиковій арматурі, а по стиснутій зоні бетону. Ураховуючи те, що поперечні стержні BFRP із-за високої деформативності спроможні були сприймати напруження $\sigma_{fw} = 0,1f_{fk}$ у балках з великими ($a/d=3$) прольотами зсуву і $\sigma_{fw} = 0,15f_{fk}$ у зразках із середнім ($a/d=2$) прольотами зсуву, то їх руйнування відбулося від роздроблення або зсуву стиснутої зони над вершиною небезпечної похилої тріщини (рис. 1) з надмірним їх розкриттям при навантаженнях, що перевищували експлуатаційний рівень ($\eta \geq 0,65F_{ult}$). Повна картина тріщиноутворення, деформування і дані руйнування балок з BFRP представлені в [15].

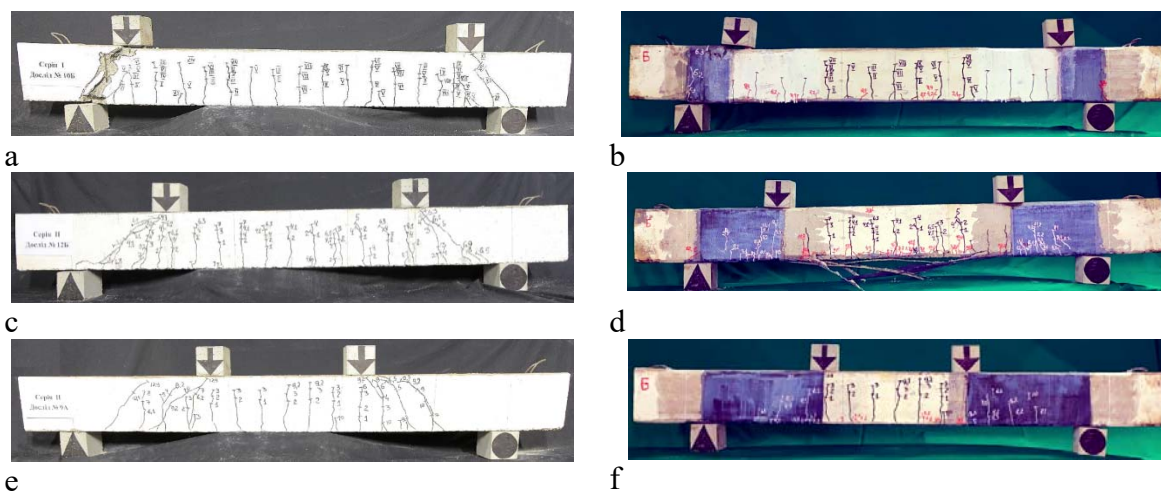


Рисунок 1 – Характер тріщиноутворення та руйнування бетонних балок з BFRP до (а, с, е) і після (b, d, f) їх підсилення вуглепластиковим полотном у нижній розтягнутій зоні та на приопорних ділянках з малим, середнім та великим прольотами зсуву

Джерело: розроблено авторами

Пошкоджені після випробувань бетонні балки з BFRP були підсилені (рис. 1) знизу у розтягнутій зоні на всю їхню довжину (1575 мм) і ширину ($b=100$ мм) та на приопорних ділянках у вигляді замкнутих сорочок довжиною, відповідно, 150, 300 і 450 мм вуглепластиковим полотном Sika®Wrap®-230C, приклеєного двокомпонентною смолою Sikadur-300 за встановленою технологією [16] з попередньою підготовкою поверхні дослідних зразків – балок і використанням дрібнозернистих полімерцементних ремонтних сумішей для зароблення вибоїн, каверн і надмірно розкритих тріщин.

Після повної полімеризації двокомпонентної смоли раніше пошкоджені, а потім підсилені вуглепластиком бетонні балки з базальтопластиковою арматурою повторно були випробувані на дію ступенево зростаючого знакопостійного малоциклового поперечного навантаження до руйнування. Кількість повторних навантажень на даній ступені, як правило, не перевищувала 10 і зростала до тих пір, поки не наставала

стабілізація деформацій у бетоні, елементах підсилення та балках, вцілому. На завершальному етапі випробувань за нестабілізованих деформацій підсиленних балок знімали з них вимірювальні прилади і доводили їх до руйнування.

Руйнування дослідних підсиленних базальтобетонних балок з великими ($a/d=3$) і середніми ($a/d=2$) прольотами зсуву відповідало напружено-деформованому стану майже збалансованого нормального поперечного перерізу, який характеризувався досягненням у зовнішньому вуглепластиковому шарі підсилення CFRP критичних деформацій і напружень розриву, а у стиснутій зоні бетону – закритичних (на низпадній ділянці діаграми « $\sigma_c - \varepsilon_c$ ») деформацій і напружень. Зазначене руйнування дослідних балок з великими і середніми прольотами зсуву починалося з розриву зовнішньої арматури CFRP і супроводжувалося різким підвищенням напружень у розтягнутій базальтопластиковій арматурі BFRP, розтріскуванням та розшаруванням захисного шару бетону і надмірним неконтрольованим збільшенням прогинів.

Руйнування балок з малими ($a/d=1$) прольотами зсуву супроводжувалося подальшим розкриттям раніше утворених похилих тріщин і розривом замкнених вуглепластикових сорочок на бічних гранях їхніх припорних ділянок та різким збільшенням прогинів, зумовлених, насамперед, деформаціями взаємного зсуву окремих частин дослідних зразків (рис. 1)

Результат і дискусії

Несуча здатність нормальних і похилих перерізів дослідних зразків-балок

Основні параметри несучої здатності дослідних елементів представлені в табл.1

Таблиця 1 – План експерименту, несуча здатність та характер руйнування еталонних базальтобетонних і підсиленних вуглепластиком (CFRP) пошкоджених балок з BFRP.

№ досліду	План експерименту						Несуча здатність нормальних і похилих перерізів підсиленних і еталонних балок							
	В кодированих змінних			В натуральних значеннях чинників			M_{ult}^{exp} , кНм	\hat{M}_{ult} , кНм (1)	M_{ult}^{calc} , кНм	Відповідно F_{ult}^{appr} , кН	\hat{F}_{ult}^{appr} , кН (2)	\hat{V}_{ult}^{ref} , [15]	Характер руйнування балок	
	X_1	X_2	X_3	a/d	Клас бетону, С, МПа	f_{fw} BFRP-800							Підсиленних	Еталонних (ref)
1	+	+	+	3	C40/50	0,0115	27,53	26,83	26,10	52,2	52,3	31,7	⊥ M	∠ V
2	+	+	—	3	C40/50	0,0029	26,49	26,83	26,10	50,5	48,3	30,3	⊥ M	∠ V
3	+	—	+	3	C16/20	0,0115	23,02	22,03	24,02	43,9	43,5	29,3	⊥ M	∠ V
4	+	—	—	3	C16/20	0,0029	20,82	22,03	24,02	39,7	39,5	27,9	⊥ M	∠ V
5	—	+	+	1	C40/50	0,0115	27,43	26,83	25,00	156,7	152,7	122,7	∠ M	⊥ F
6	—	+	—	1	C40/50	0,0029	25,98	26,83	24,16	148,5	148,7	102,1	∠ M	⊥ F
7	—	—	+	1	C16/20	0,0115	22,39	22,03	22,12	127,8	127,1	77,9	∠ M	⊥ F
8	—	—	—	1	C16/20	0,0029	21,89	22,03	22,51	125,1	123,1	57,3	∠ M	⊥ F
9	+	0	0	3	C30/35	0,0065	25,01	24,43	24,05	47,6	45,9	37,6	⊥ M	∠ V
10	—	0	0	1	C30/35	0,0065	23,81	24,43	23,04	136,1	137,9	97,8	∠ M	∠ V
11	0	+	0	2	C40/50	0,0065	26,82	26,83	26,10	76,6	77,8	58,1	⊥ M	∠ V
12	0	—	0	2	C16/20	0,0065	22,03	22,03	24,02	62,9	60,6	34,5	⊥ M	∠ V
13	0	0	+	2	C30/35	0,0115	25,06	24,43	24,65	71,6	71,2	55,0	⊥ M	∠ V
14	0	0	—	2	C30/35	0,0029	23,80	24,43	24,65	68,0	67,2	44,0	⊥ M	∠ V
15	0	0	0	2	C30/35	0,0065	24,43	24,43	24,65	70,0	69,2	51,8	⊥ M	∠ V
$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$							26,20 кН ² м ²	26,417 кН ² м ²	225,53 кН ²	14756 кН ²	—	—		
$\sigma = \sqrt{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 / 14}$							1,37 кНм	1,374 кНм	4,01 кН	32,47 кН	—	—		
$v = (\sigma / b_0) 100, \%$							5,6 %	5,6	5,8 %	62,7 %	—	—		

Джерело: розроблено авторами

Несуча здатність еталонних базальтобетонних (індекс «ref») і підсиленних

зовнішніми вуглепластиковими (CFRP) волокнами (індекс «ftx») пошкоджених (ULS) балок з BFRP може бути представлена наступними експериментально-статистичними залежностями:

$$\hat{Y}(M_{ftx,ult}^{exp}) = 24,43 + 2,40x_2, \text{ кНм, коефіцієнт варіації } \upsilon = 2,6 \%; \quad (1)$$

$$\hat{Y}\left(\frac{M_{ftx,ult}^{exp}}{bh_0}\right) = 1396 + 137x_2, \text{ кН/м}; \quad (1,a)$$

$$\hat{Y}(F_{ftx,ult}^{appr(eidnos)}) = 69,2 - 46,0x_1 + 8,6x_2 + 2,0x_3 + 22,7x_1^2 - 4,2x_1x_2, \text{ кН, } \upsilon = 2,8 \%; \quad (2)$$

$$\hat{Y}\left(\frac{F_{ftx,ult}^{appr(eidnos)}}{bh_0}\right) = 3,95 - 2,63x_1 + 0,49x_2 + 0,11x_3 + 1,30x_1^2 - 0,24x_1x_2, \text{ МПа}; \quad (2,a)$$

$$\hat{Y}(V_{f_1,ult}^{ref}) = 51,8 - 30,1x_1 + 11,8x_2 + 5,5x_3 + 15,9x_1^2 - 5,5x_2^2 - 2,3x_3^2 - 4,8x_1x_3, \text{ кН, } \upsilon = 5 \% \text{ за архівними даними [15]}. \quad (3)$$

Коефіцієнт зміцнення пошкоджених (ULS) бетонних балок з BFRP, підсилених одношаровим вуглепластиковим полотном (CFRP) у нижній розтягнутій зоні та вуглепластиковими сорочками на припорних ділянках $k_{ftx/f}^{amp} = F_{ftx,ult}^{appr} / V_{f_1,ult}^{ref}$ характеризується виразом:

$$\hat{Y}(k_{ftx/f}^{amp}) = 1,35 - 0,05x_1 - 0,12x_2 - 0,06x_3 - 0,04x_1^2 + 0,20x_2^2 + 0,06x_3^2 + 0,18x_1x_2 + 0,06x_1x_3 + 0,04x_2x_3, \upsilon = 5,02 \%. \quad (4)$$

де $M_{ftx,ult}^{exp}$ і $F_{ftx,ult}^{appr}$ – несуча здатність підсилених зовнішнім вуглепластиком (CFRP) нормальних і похилих перерізів пошкоджених силовими тріщинами бетонних балок з BFRP на дію згинального моменту і відповідне йому зовнішнє зосереджене навантаження в кінці прольоту зсуву перед їхнім руйнуванням ($\eta_2 = 0,95F_{ult}$);

$V_{f_1,ult}^{ref}$ – несуча здатність похилих перерізів еталонних бетонних балок серії 1 з BFRP перед руйнуванням їхніх припорних ділянок.

Аналіз залежності (1) показує, що несуча здатність нормальних перерізів підсилених вуглепластиковим полотном пошкоджених бетонних балок, як і слід було очікувати, залежить тільки від класу використаного бетону при незмінній кількості поздовжньої робочої арматури BFRP: $\rho_{п1} = 0,0176$ (2Ø14 АКБ-800) та фіброармованого пластику у вигляді 1 шару вуглепластикового полотна Sika®Wrap®-230C (CFRP), приклеєного до їхньої поверхні після відповідної підготовки за допомогою двокомпонентної смоли Sikadur®-300 за встановленою технологією.

Зважаючи на суттєве підсилення припорних ділянок дослідних балок вказаними вуглепластиковими одношаровими сорочками характер напружено-деформованого стану та руйнування дослідних елементів значно змінився порівняно з еталонними балками. Якщо усі еталонні балки зруйнувалися за похилими перерізами внаслідок зсуву або роздроблення бетону над вершинами небезпечних похилих тріщин із-за надлишку поздовжньої робочої арматури BFRP ($\rho_{п1} > \rho_{пб}$ для усіх використаних класів бетону), то після підсилення їхніх припорних ділянок, особливо значущого в елементах з великими ($a/d=3$) і середніми ($a/d=2$) прольотами зсуву, напружений стан дослідних елементів в зоні «чистого згину» (між двома зовнішніми зосередженими силами) стає майже збалансованим і їхнє руйнування починається з розриву CFRP у нижній розтягнутій зоні, збільшення напружень у робочій BFRP, різкого зменшення висоти стиснутої зони бетону і її (зони) роздроблення. У підсилених залізобетонних

балкових конструкціях аналогічне руйнування, навпаки, починається з текучості нижньої робочої арматури завдяки більшому модулю пружності, а потім супроводжується розривом зовнішнього шару вуглепластика. Усі підсилені балки в граничному стані (ULS) перетворюються в умовні розпірні системи або пологі арки, а фіброармований пластик підсилення і робоча арматура перетворюються у затяжку.

Зважаючи на наявність небезпечних похилих тріщин, за якими, власне, відбувалося попереднє руйнування приопорних ділянок дослідних елементів першої серії, їхня несуча здатність визначається згинальними моментами за вказаними тріщинами відносно центрів ваги верхньої (стиснутої) арматури.

Тому в підсиленіх балках з малими прольотами зсуву ($a/d=1$) несуча здатність похилих перерізів залишається меншою від несучої здатності нормальних перерізів внаслідок відносно невеликого збільшення складових згинального момента, які сприймаються надто короткими вуглепластиковими сорочками на вказаних приопорних ділянках. Руйнування балок з $a/d=1$ починається з подальшого розкриття і розвитку наявних похилих тріщин та розриву вуглепластикових сорочок на їхніх бічних гранях.

Для зручності аналізу і порівняння з руйнуючою поперечною силою еталонних бетонних балок $V_{f_1,ult}^{ref}$ з BFRP несучу здатність $M_{f_{ix},ult}^{exp}$ підсиленіх вуглепластиком пошкоджених елементів з відомою довжиною прольотів зсуву a привели до руйнуючих зосереджених сил $F_{f_{ix},ult}^{appr}$: $F_{f_{ix},ult}^{appr} = M_{f_{ix},ult}^{exp} / a$, представлених експериментально - статистичною залежністю (2).

Аналіз експериментально - статистичних залежностей (2) і (3) показує, що вони є подібними за побудовою, а отже, однотипними за впливом конструктивних чинників на величину руйнуючих поперечних сил підсиленіх зовнішнім вуглепластиком пошкоджених і еталонних бетонних балок з BFRP. Так, $F_{f_{ix},ult}^{appr}$ і $V_{f_1,ult}^{ref}$ збільшуються (рис. 2) порівняно зі своїми середніми значеннями 69,2кН і 51,8кН, відповідно:

- зі зменшенням відносного прольоту зсуву від $a/d=3$ до $a/d=1$ на 133 і 116 %;
- зі збільшенням класу бетону від C16/20 до C40/50 на 25 і 46 %;
- зі збільшенням кількості поперечної арматури від $\rho_{fw} = 0,0029$ до $\rho_{fw} = 0,0115$ на 6 і 21 %.

Суттєво взаємодіють між собою перший і другий, а також перший і третій чинники: при одночасному зменшенні a/d і збільшенні класу бетону C та кількості поперечної арматури ρ_{fw} збільшуються, відповідно, значення $F_{f_{ix},ult}^{appr}$ на 6% і $V_{f_1,ult}^{ref}$ на 9%.

Наявність квадратичних ефектів при всіх дослідних чинниках зі знаками, протилежними прямому їх впливу, свідчить про те, що при подальшому збільшенні їхніх значень за межами варіювання суттєвого подальшого зниження або збільшення зазначених вихідних параметрів не відбудеться і їхня залежність від величини даних чинників носить нелінійний характер у вигляді окремих частин квадратної параболи.

Для того, щоби була можливість порівняти отримані авторами результати з даними інших авторів значення руйнуючих поперечних сил $F_{f_{ix},ult}^{appr}$ і $V_{f_1,ult}^{ref}$ привели до ефективної площі поперечного перерізу дослідних зразків і отримали залежності (1,a), (2,a), (3).

Ефект від підсилення пошкоджених бетонних балок з BFRP зовнішніми фіброармованими пластиками (CFRP) можна представити коефіцієнтом зміцнення $k_{f_{ix}/f}^{amp}$ з виразу (4) якого видно, що прийнята конструкція підсилення (один шар

вуглепластикового полотна у нижній розтягнутій зоні + одношарові вуглепластикові сорочки на приопорних ділянках) є досить ефективною, оскільки дозволяє не тільки максимально ефективно використовувати її міцнісні властивості, а й змінювати характер руйнування підсилених елементів (рис. 1).

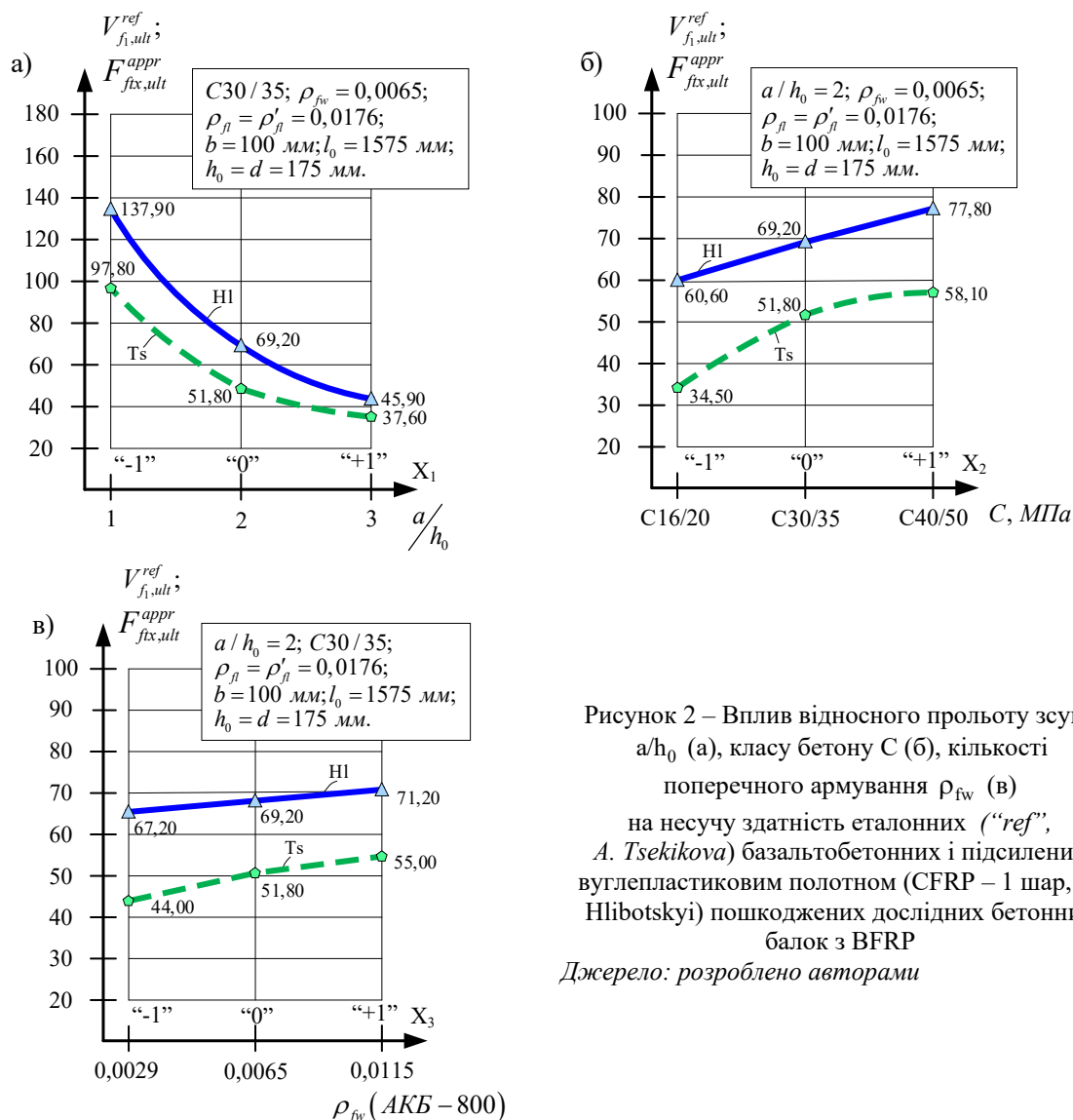


Рисунок 2 – Вплив відносного прольоту зсуву a/h_0 (а), класу бетону C (б), кількості поперечного армування ρ_{fw} (в) на несучу здатність еталонних (“ref”, A. Tsekikova) базальтобетонних і підсилених вуглепластиковим полотном (CFRP – 1 шар, R. Hlibotskyi) пошкоджених дослідних бетонних балок з BFRP
Джерело: розроблено авторами

Із аналізу виразу (4) видно, що прийнята конструкція підсилення еталонних балок дозволила зміцнити їх, в середньому, в 1,35 разів. Як видно із залежності (4), усі дослідні чинники мають нелінійний вплив на величину $k_{f_{x/f}}^{amp}$ (рис. 3). При цьому, найбільший нелінійний вплив (18%) на величину цього коефіцієнта має клас бетону. Окрім того, усі чинники взаємодіють між собою на всьому діапазоні зміни $k_{f_{x/f}}^{amp}$ від 1,26 до 2,08.

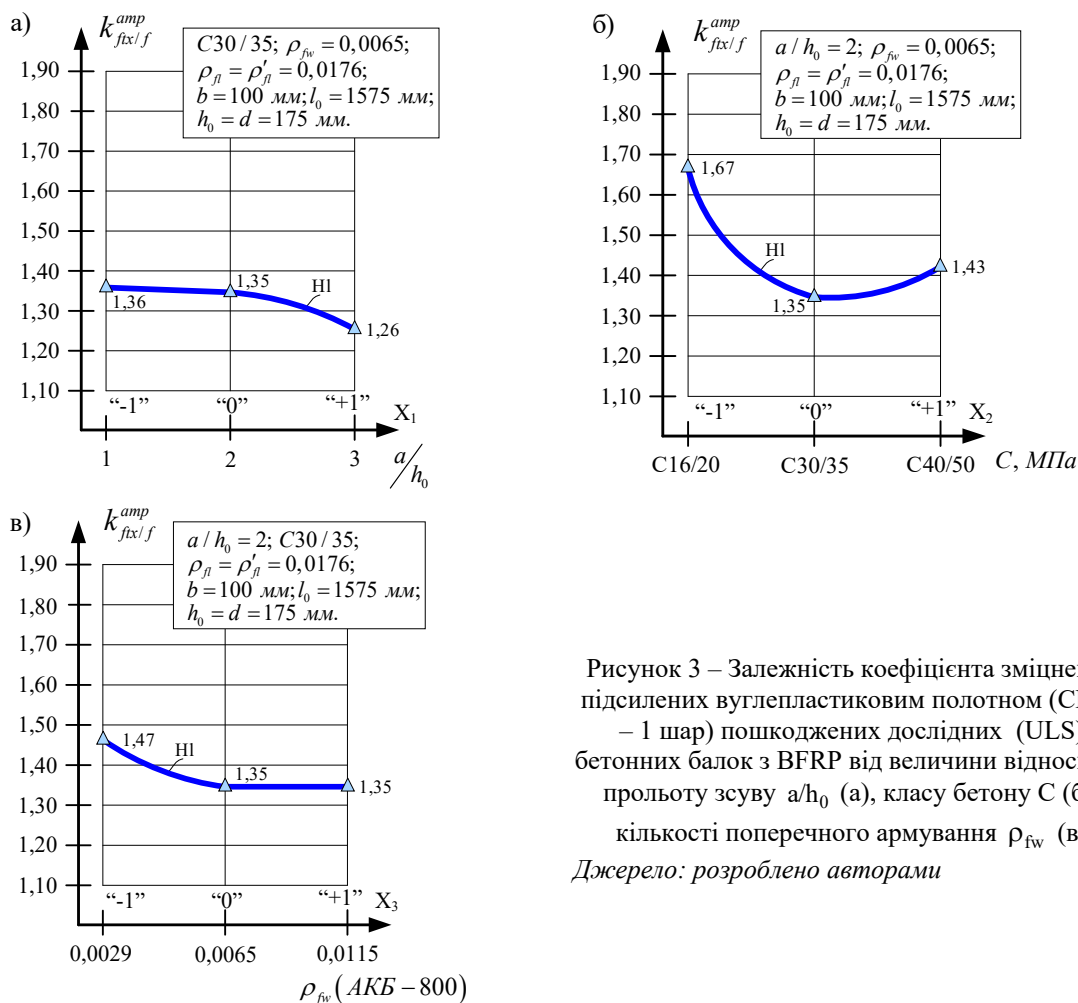


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта зміцнення підсиленних вуглепластиковим полотном (CFRP – 1 шар) пошкоджених дослідних (ULS) бетонних балок з BFRP від величини відносного прольоту зсуву a/h_0 (а), класу бетону С (б), кількості поперечного армування ρ_{fw} (в)

Джерело: розроблено авторами

Висновки.

1. Виконаними експериментально-теоретичними дослідженнями встановлена можливість та доцільність підсилення пошкоджених і доведених до граничного стану (ULS) бетонних конструкцій з BFRP зовнішніми фіброармованими пластиками (CFRP) при дотриманні встановленої технології. При цьому, несуча здатність підсилених вказаним способом бетонних балок з BFRP з наявними силовими пошкодженнями збільшилася до 2,0 разів порівняно з еталонними зразками.

2. Ураховуючи те, що коефіцієнт робочого армування $\rho_{fl} = 0,0176$ перевищував граничне значення $\rho_{fb} = 0,0041 - 0,0085$ для використаних класів бетону, то досягнення граничного стану у непошкоджених (еталонних) зразках — балках відбувалося не по розтягнутій базальтопластиковій арматурі, а по стиснутій зоні бетону над вершиною небезпечної похилої тріщини в елементах з великими ($a/d=3$) і середніми ($a/d=2$) прольотами зсуву або за похилою стислою смугою у балках з малими ($a/d \leq 1$) прольотами зсуву.

3. Руйнування дослідних підсилених базальтобетонних балок з великими ($a/d=3$) і середніми ($a/d=2$) прольотами зсуву відповідало напружено-деформованому стану майже збалансованого нормального перерізу який характеризувався досягненням у зовнішньому фіброармованому пластику (CFRP) граничних деформацій та напружень розриву, а у стиснутій зоні бетону – закритичних (на низпадній ділянці діаграми « $\sigma_c - \epsilon_c$ ») деформацій та напружень і супроводжувався різким підвищенням напружень

у розтягнутій робочій арматурі BFRP, розтріскуванням та розшаруванням захисного шару бетону і надмірним збільшенням прогинів.

Руйнування балок з малими ($a/d \leq 1$) прольотами зсуву супроводжувалося подальшим розкриттям раніше утворених похилих тріщин і розривом замкнених вуглепластикових сорочок на бічних гранях їхніх приопорних ділянок.

4. Отримані експериментально-статистичні залежності дозволяють об'єктивно оцінити вплив дослідних чинників на основні параметри несучої здатності за першою (ULS) групою граничних станів як зокрема, так і у взаємодії одного з одним. Дані про руйнування дослідних зразків – балок разом з вказаними залежностями утворюють вихідні дані для фізичних і розрахункових моделей зазначених елементів.

5. Несучу здатність підсилених вуглепластиком пошкоджених бетонних балок з BFRP слід визначати тільки на дію згинальних моментів за нормальними перерізами в елементах з великими ($a/d=3$) та середніми ($a/d=2$) прольотами зсуву і за похилими перерізами в балках з малими ($a/d=1$) прольотами зсуву.

Список літератури

1. I. Karpiuk, D. Danilenko, V. Karpiuk, A. Danilenko, T. Lyashenko Bearing capacity of damaged reinforced concrete beams strengthened with metal casing. *Acta Polytechnica*. 2021. 61(6):703–721. <https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/ap/article/view/7020>
2. Mashrei, Mohammed. A., et al. Flexural Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Sheets with Grooves. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 2019, Vol. 16, no. 4, Mar. 27.
3. Rajai Z. Al-Rousan, Impact of elevated temperature and anchored grooves on the shear behavior of reinforced concrete beams strengthened with CFRP composites. *Case Studies in Construction Materials*, 2021, Vol. 14, e00487. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00487>.
4. Rajai Z. Al-Rousan, Jameel N. Al-Muhiedat, The behavior heated-damaged reinforced concrete beams retrofitted with different CFRP strip length and number of transverse groove. *Case Studies in Construction Materials*, 2022. Vol. 16, e00896. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00896>
5. Nawaz W., Elchalakani M., Karrech A., Yehia S., Yang B., Youssf O. Flexural behavior of all lightweight reinforced concrete beams externally strengthened with CFRP sheets. *Construction and Building Materials*, 2022, Vol. 327, 126966. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126966>
6. M Talha Junaid, Abdul Saboor Karzad, Abdalla Elbana, Salah Altoubat, Experimental study on shear response of GFRP reinforced concrete beams strengthened with externally bonded CFRP sheets, *Structures*, 2022, Vol. 35, 1295-1307. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.10.089>
7. Ouda M.A. Mashrei, Shear strength of steel fibrous concrete beams strengthened by CFRP using various techniques. *Structures*, 2022, Vol. 38, 519-535. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.02.027>
8. Hayder A. Rasheed, Mohammed A. Zaki, Andrew S. Foerster, Efficient bidirectional U-wrap system to anchor CFRP sheets bonded to reinforced concrete T-girders. *Structures*, 2022, Vol. 38, 226 – 236. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.02.004>
9. Wildan A. Obaid, Ali K. AL-asadi, Hussain Shaia, Repair and strengthening of concrete beam materials using different CFRP laminates configuration. *Materials Today: Proceedings*, 2022, Vol. 49, Part 7, 2806-2810. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.532>
10. Hamza M.Y. Ali, M. Neaz Sheikh, Muhammad N.S. Hadi, Flexural strengthening of RC beams with NSM—GFRP technique incorporating innovative anchoring system. *Structures*, 2022, Vol. 38, 251-264. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.01.088>
11. Blikharskyi Z., Khmil R., and Vegera P., Shear strength of reinforced concrete beams strengthened by P.B.O. fiber mesh under loading, in MATEC Web of Conferences, 2017, vol. 116, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602006>
12. Government Standards of Ukraine N B V.2.6 – 185:2012 of 1 April 2013 on the design and manufacture of concrete structures with non-metallic composite reinforcement based on basalt and glassware. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine [online]. 2012. https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_n_b_v_2_6_185/5—1—0—1173
13. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Set of rules: СП63.13330.2012 / ТК 465 “Building” of 01.01.2013 in Building regulations 52-01-2003 – М:2012. [online]. 2013, [accessed (25.10.2019)]. https://jes.utm.md/wp-content/uploads/sites/20/2020/09/JES-2020-3_186-202.pdf

14. K. V. Karpiuk, Yu. Syomina., D. Antonova Calculation Models of the Bearing Capacity of Span Reinforced Concrete Structures Support Zones. *Actual Problems of Engineering Mechanics: Materials Science Forum*, 2019, Vol. 968, 209–226. <https://www.scientific.net/MSF.968.209>
15. Karpiuk V., Tselikova A., Khudobych A., Karpiuk I., Kostyuk A. Study of strength, deformability property and crack resistance of beams with BFRP. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. Харків, 2020, Vol. 4/7 (106), 42–53. <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/209378/211998>
16. Organization Standard. Reinforcement of reinforced concrete structures with Sika® composite materials. STO13613997-001-2011. Moscow: TsNIIPromzdaniy OJSC, Zika LLC, 2011, 61p.

Irina Karpiuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vasily Karpiuk**, Prof., DSc. **Anatoly Kostyuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Roman Hlibotskyi**, post-graduate, **Oleksandr Posternak**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, Ukraine

Load-bearing Capacity of Bringing to the Boundary Camp (ULS) Low-Density Concrete Beams with BFRP Reinforced with Fiber-reinforced Plastics (CFRP)

The aim of this article is to familiarize with the experimental and theoretical study of the load-bearing capacity of BFRP concrete beams damaged in previous studies and brought to failure, reinforced with carbon-plastic fabric in the lower stretched zone and carbon-plastic jackets in the supporting areas under the action of low-cycle sign-repeated transverse loading of high levels with the development of initial data for the physical model of the methodology for calculating the strength of their normal and inclined sections.

The article presents the results of testing concrete beams reinforced with BFRP, strengthened with carbon fiber reinforced polymer (CFRP) strips in the lower tensile zones and carbon fiber reinforced polymer jackets at support sections, previously tested to ultimate limit state (ULS). The load-carrying capacity of the reinforced FRP support sections of beam structures, brought to the ultimate limit state (ULS), should be determined primarily under the action of bending moment through the critical inclined crack.

The performed experimental and theoretical studies have established the possibility and feasibility of strengthening damaged and brought to the boundary state (ULS) concrete structures with BFRP external fiber-reinforced plastics (CFRP) while observing the established technology. The bearing capacity of CFRP-reinforced damaged concrete beams with BFRP should only be determined for the action of bending moments along normal sections in elements with large ($a/d = 3$) and medium ($a/d = 2$) shear spans and along inclined sections in beams with small ($a/d=1$) shear spans.

calculation, damaged concrete structures, basalt-reinforced plastic reinforcement, reinforcement, external fiber plastic, the first group of limit states, low-cycle gradually increasing load, bending moment, transverse force

Одержано (Received) 15.11.2022

Прорецензовано (Reviewed) 16.12.2022

Прийнято до друку (Approved) 29.12.2022

ЗМІСТ

Комп'ютерні науки*Є. Є. Федоров, О. В. Нечипоренко*

Мультиагентні метаевристичні методи рішення задачі управління запасами 3

В.О. Качурівський, Г.М. Качурівська

Моделювання інформаційно-документальної системи презентації освітніх компонент освітньої програми 17

Комп'ютерна інженерія*О.О. Майданик, Є.В. Мелешко, А.М. Мацуї, С.В. Шимко*

Дослідження методів стабілізації відео та будови гіростабілізованих підвісів відеокамер для безпілотних літальних пристроїв 26

Агроінженерія*А.С. Лімонт, З.А. Лімонт*

Об'єм кузова машин для внесення твердих органічних добрив та їх габаритні розміри..... 37

Автомобільний транспорт*В.В. Аулін, А.В. Гриньків, С.В. Лисенко, Д.В. Голуб, О.М. Лівіцький*

Підвищення ефективності використання транспортних машин у агропромисловому виробництві узгодженням їх експлуатаційних характеристик та умов функціонування 45

Л.А. Тарандушка, Н.Л. Костьян, І.П. Тарандушка, С.С. Курко, Е.С. Клімов, М.В. Мельниченко

Методика визначення та розташування оптимальної кількості зарядних станцій для електротранспорту в населеному пункті 57

Транспортні технології (за видами)*І.О. Кузєв*

Модель результативного ринку і технологія вантажних залізничних перевезень 68

Uliana Plekan, Oleg Lyashuk, Viktor Aulin, Oleg Tson, Anatolii Matviishyn

Logistics Strategy of the Motor Transport Enterprise. Organizational Aspects of Creation..... 75

В. Г. Загорянський

Застосування статистичних методів наукових досліджень при обстеженні пасажиропотоків міського автомобільного транспорту 82

Viktor Aulin, Dmitro Holub, Andrey Hrinkiv,., Serhii Lysenko, Nazar Riabtsev

Justification of the level of competition on urban passenger routes 89

М.Є. Тараненко, Г. В. Мигаль, Н. В. Кобриня, І. М. Тараненко, Д. В. Молоштан

Кваліметрична модель управління якістю технічної підготовки виробництва транспортної техніки 99

Будівництво та цивільна інженерія*І.О. Скриннік, М.О. Федотова, В.В. Дарієнко*Теоретичні дослідження процесу руху сипучих будівельних матеріалів
при сушінні в киплячому шарі каскадної сушарки в будівництві 108*Г.Д. Портнов, В.В. Дарієнко, В.В. Пукалов*

Модель стенда для дослідження конструкцій з листового скла..... 120

*І.А. Карпюк, В.М. Карпюк, А.І. Костюк, Р.В. Глібоцький, О.О. Постернак*Несуча здатність доведених до граничного стану (ULS) пошкоджених
бетонних балок з BFRP, підсилених фіброармованими пластиками (CFRP) 127

CONTENT

Computer Science

Eugene Fedorov, Olga Nechyporenko

Multi-Agent Metaheuristic Methods for Solving the Inventory Management Problem..... 3

Volodymyr Kachurivskiy, Hanna Kachurivska

Modeling of the Information and Documentation System for the Presentation
of the Educational Components of the Educational Program 17

Computer Engineering

Oleksandr Maidanyk, Yelyzaveta Meleshko, Anatolii Matsui, Serhii Shymko

Research of Video Stabilization Methods and of the Construction of Video
Camera Gyro-stabilized Suspensions for Drones 26

Agroengineering

Anatoliy Limont, Zlata Limont

Body Volume of Solid Organic Fertilizer Application Machines and their Overall
Dimensions..... 37

Road Transport

Viktor Aulin, Andrey Hrinkiv, Serhii Lysenko, Dmitro Holub, Oleksandr Livitskiy

Increasing the Efficiency of the Use of Transport Vehicles in Agro-industrial
Production by Harmonizing their Operational Characteristics and Operating
Conditions 45

*Ludmyla Tarandushka, Nataliia Kostian, Ivan Tarandushka, Stepan Kurko,
Eduard Klimov, Maksym Melnychenko*

Method of Determining and Locating the Optimal Number of Charging Stations
for Electric Transportation in Settlement..... 57

Transport Technologies (by Types)

Ihor Kuziev

Result MarkeT Model and Railway Truck Transport Technology 68

Uliana Plekan, ., Oleg Lyashuk, Viktor Aulin, Oleg Tson, Anatolii Matviishyn

Logistics Strategy of the Motor Transport Enterprise. Organizational Aspects
of Creation..... 75

Volodymyr Zahorianskiy

Application of Statistical Methods of Scientific Researches in the Surveying
of Passengers Flows of Urban Road Transport..... 82

Viktor Aulin, Dmitro Holub, Andrey Hrinkiv, Serhii Lysenko, Nazar Riabtsev

Justification of the level of competition on urban passenger routes 89

Mykhailo Taranenko, Galyna Mygal, Natalia Kobrina, Igor Taranenko,

Dmytro Moloshtan

Qualimetric Model Management of the Quality of Technical Training of the

Manufacturing of Transport Equipment..... 99

Construction and Civil Engineering

Ivan Skrynnik, Marianna Fedotova, Viktor Darienko

Theoretical Studies of the Process of Movement of Bulk Building Materials
During Drying in the Fluidized Bed of a Cascade Dryer in Construction 108

Hennadii Portnov, Viktor Darienko, Viktor Pukalov

Stand Model for the Study of Sheet Glass Structures 120

*Irina Karpiuk, Vasily Karpiuk, Anatoly Kostyuk, Roman Hlibotskyi,
Oleksandr Posternak*

Load-bearing Capacity of Bringing to the Boundary Camp (ULS) Low-Density
Concrete Beams with BFRP Reinforced with Fiber-reinforced Plastics (CFRP) 127

Матеріали подаються у друкованому вигляді та на електронному носії. Обсяг статті – 5-12 сторінок. Основний текст рукопису друкується 12 кеглем; шрифт – Times New Roman; міжрядковий інтервал – 1,0; відступ – 1,25 см; поля: верх – 2 см, низ – 3см, право, ліво – 2 см. Текст повинен бути вирівняний по ширині аркуша.

Підписи до рисунків і набирати шрифтом Times New Roman 10 (по центру), таблиць 14 (з абзацу). Після рисунка, таблиці схеми – вказується джерело

Рисунки й таблиці розміщуються в тексті статті з вирівнюванням по центру сторінки, без обтікання текстом у рамках поля набору. Рисунки й таблиці подаються в статті безпосередньо після тексту, де їх згадано вперше. На кожен формулу, таблицю, рисунок, графік у тексті мають бути обов'язкові посилання.

Анотація українською мовами – до 10 рядків тексту (до 500 знаків), обов'язково 3-7 ключових слів;

Анотація англійською мовою повинна бути не менше ніж 1800 знаків:

Структура анотацій:

- мета статті;
- короткий опис виконаної роботи;
- висновки по роботі;
- перелік ключових слів;

Структура основного тексту статті:

1. **Постановка проблеми.**
2. **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**
3. **Постановка завдання (мета статті).**
4. **Виклад основного матеріалу.**
5. **Висновки і перспективи подальших досліджень.**

Схема організації матеріалу статті:

1. УДК
2. Ініціали, прізвище, вчене звання, науковий ступінь
3. Місце роботи, місто, країна. e-mail
4. Назва статті.
5. Анотація і ключові слова мовою статті.
7. Основний текст статті.
8. Список літератури. *
9. References
10. Розширена анотація і ключові слова англійською (українською) мовою.

Редакційна колегія Центральноукраїнського наукового вісника повідомляє, що всі статті які надходять перевіряються на плагіат системою Unicheck (<https://corp.unicheck.com>)

Адреса для надсилання: stat_kntu@ukr.net, aulinvv@gmail.com

ДОВІДКА ПРО АВТОРА
українською та англійською мовами

	Українською	Англійською
Прізвище, ім'я, по-батькові:		
Місце роботи (повна назва, без аббревіатур), місто, країна:		
Посада (повна назва, без аббревіатур):		
Наукова ступінь:		
Вчене звання:		
Назва статті:		
*Спеціальність:		
Адреса для надсилання збірнику:		
Контактні телефони (бажано мобільний):		
E-mail:		
ORCID ID (XXXX-XXXX-XXXX-XXXX)		

* – 122 Комп'ютерні науки; 131 Прикладна механіка; 132 Матеріалознавство; 133 Галузеве машинобудування; 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології; 208 Агроінженерія

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВИЙ ВІСНИК.
ТЕХНІЧНІ НАУКИ

В и п у с к 6(37)
Частина II

Відповідальний за випуск С.В. Лисенко, О.П. Доренський

Комп'ютерна верстка І.М. Каліч

Тиражування О. Г. Каліч

*Приватне підприємство «Ексклюзив-Систем»
Свідоцтво № ДК 4470 від 17.01.2013р.
25006, м. Кіровоград, вул. Шевченка, 25
тел./факс 24-35-53*

Підписано до друку 29.12.2022р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Офсетний друк. Умов. друк. арк. 18,5
Тираж 300 прим. Зам. № 0783