

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І
ЕФЕКТИВНОСТІ МАШИН, ПРОЦЕСІВ І
СИСТЕМ.
IMPROVING THE RELIABILITY AND
EFFICIENCY OF MACHINES, PROCESSES
AND SYSTEMS**



April 19-21, 2023

с. Кropyvnytskyi

Центральноукраїнський національний технічний університет
Міністерство освіти і науки України
Кафедра експлуатації та ремонту машин



ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ МАШИН, ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ

V Міжнародна науково-практична конференція

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

**19-21 квітня 2023 року
м. Кропивницький**

**Central Ukrainian National Technical University
Ministry of Education and Science of Ukraine
Department of operation and repair of machines**



IMPROVING THE RELIABILITY AND EFFICIENCY OF MACHINES, PROCESSES AND SYSTEMS

V International scientific and practical conference

CONFERENCE MATERIALS

**April 19-21, 2023
c. Kropyvnytskyi**

ББК 34.41:39.3
УДК 62-192:656.02

Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 19-21 квітня 2023 р. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – 170 с.

В збірнику представлені матеріали доповідей наукових та науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та студентів, провідних вітчизняних і закордонних вищих навчальних закладів та наукових установ, працівників підприємств та державних установ, в яких розглядаються завершені етапи наукових розробок.

Друкується згідно листа Міністерства освіти і науки України, Державної наукової установи "Інститут модернізації змісту освіти" від 19.01.2023 року №21/08-53 "Про Перелік наукових конференцій з проблем вищої освіти і науки у 2023 році" та наказу ректора Центральноукраїнського національного технічного університету №8-03 від 24.02.2023 р.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems":

Голова – В. Кропивний, канд. техн. наук, проф., ректор Центральноукраїнського національного технічного університету, м. Кропивницький;

Заступник голови – В. Аулін, д-р техн. наук, проф. кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету, м. Кропивницький;

Секретар – С. Лисенко, канд. техн. наук, доц. кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету, м. Кропивницький;

Члени оргкомітету:

В. Біліченко, д-р техн. наук, проф., ректор Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна;

К. Борак, д-р. техн. наук, доц., проф. кафедри машиновикористання, мобільної енергетики та сервісу технічних систем Поліського національного університету, м. Житомир, Україна;

В. Войтов, д-р техн. наук, проф. завідувач кафедри транспортних технологій і логістики Державного біотехнологічного університету, м. Харків, Україна;

С. Герук, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри агроінженерії Житомирського агротехнічного коледжу, м. Житомир, Україна;

П. Горбачов, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри транспортних систем та логістики Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, Україна;

О. Граковскі, PhD, професор, Інститут транспорту і зв'язку, м. Рига, Латвія;

О. Диха, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства Хмельницького національного університету, м. Хмельницький, Україна;

І. Кабашкін, PhD, професор, Інститут транспорту і зв'язку, м. Рига, Латвія;

В. Квасніков, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем і технологій Національного авіаційного університету, м. Київ, Україна;

Б. Кіндратський, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри експлуатації та ремонту автомобільної техніки Національного університету "Львівська політехніка", м. Львів, Україна;

О. Козаченко, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри сільськогосподарських машин Державного біотехнологічного університету, м. Харків, Україна;

М. Кристончук, канд. техн. наук, доц., зав. кафедри транспортних технологій і технічного сервісу Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна;

С. Криштопа, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна;

С. Лузан, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри зварювання Національного технічного університету "ХПІ", м. Харків, Україна;

О. Ляшук, д-р техн. наук, проф., перший проректор Тернопільського національного технічного університету, м. Тернопіль, Україна;

О. Цьонь, канд. техн. наук, доц., зав. кафедри автомобілів Тернопільського національного технічного університету, м. Тернопіль, Україна;

С. Магопець, канд. техн. наук, доц., зав. кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету, м. Кропивницький, Україна;

М. Марчук, канд. техн. наук, професор, завідувач кафедри автомобілів та автомобільного господарства Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна;

В. Матейчик, д-р техн. наук, професор, декан автомеханічного факультету Національного транспортного університету, м. Київ, Україна;

Ю. Монастирський, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри автомобільного транспорту Криворізького національного університету, м. Кривий Ріг, Україна;

І. Мурований, канд. техн. наук, доцент, декан факультету транспорту та механічної інженерії Луцького національного технічного університету, м. Луцьк, Україна;

Є. Нагорний, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри транспортних технологій Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, Україна;

А. Нєвчас, PhD, професор, Люблінський технологічний університет, м. Люблін, Польща;

А. Новицький, канд. техн. наук, доц., зав. кафедри надійності техніки Національного університету біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна;

Р. Пальшатіс, PhD, професор, Вільнюський технічний університет імені Гедимінаса, м. Вільнюс, Литва;

М. Підгурський, д-р техн. наук, проф., проф. кафедри інжинірингу машинобудівних технологій Тернопільського національного технічного університету імені І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна;

О. Полянський, д-р техн. наук, професор, проф. кафедри технології машинобудування та ремонту машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, Україна;

І. Роговський, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту ім. М.П. Момотенка Національного університету біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна;

В. Савуляк, д-р техн. наук, проф., проф. кафедри галузеве машинобудування Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна;

В. Сахно, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автомобілів Національного транспортного університету, м. Київ, Україна;

С. Лещенко, канд. техн. наук, доц., зав. кафедри сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету, м. Кропивницький, Україна;

Л. Тарандушка, д-р техн. наук, доцент, завідувачка кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації Черкаського державного технологічного університету, м. Черкаси, Україна;

Л. Тимофєєва, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри якості, стандартизації, сертифікації та технології виготовлення матеріалів Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків, Україна;

Є. Форнальчик, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри транспортних технологій Національного університету "Львівська політехніка", м. Львів, Україна;

Р. Хабутдінов, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри транспортних технологій Національного транспортного університету, м. Київ, Україна;

С. Цимбал, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна;

Л. Шлапак, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри зварювання конструкцій та відновлення деталей машин Івано-Франківського національного університету нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна;

Ю. Ройко, к.т.н., доц., завідувач кафедри транспортних технологій, Національного університету "Львівська політехніка", м. Львів, Україна;

В. Яцун, канд. техн. наук, доц., декан факультету будівництва та транспорту Центральноукраїнського національного технічного університету, м. Кропивницький, Україна;

О. Смірнов, керівник методично-організаційного відділу Центральноукраїнського національного технічного університету, м. Кропивницький;

Л. Резнік, фахівець І категорії методично-організаційного відділу Центральноукраїнського національного технічного університету, м. Кропивницький.

Секції конференції:

Секція 1. Фізичні та математичні основи надійності і ефективності машин і обладнання.

Секція 2. Трибологія вузлів деталей, систем і агрегатів, робочих органів машин і обладнання.

Секція 3. Підвищення зносостійкості деталей та вузлів сільськогосподарської та транспортної техніки.

Секція 4. Технологічні методи підвищення надійності деталей машин і обладнання.

Секція 5. Конструкторські рішення підвищення надійності вузлів деталей, систем і агрегатів та робочих органів.

Секція 6. Експлуатаційна надійність та ефективність використання сільськогосподарської та транспортної техніки.

Секція 7. Підвищення надійності та ефективності транспортних систем та транспортних засобів і забезпечення належного рівня якості пасажирських та вантажних перевезень.

Секція 8. Логістика виробничих та транспортних підприємств, фірм, компаній.

Секція 9. Економіка та управління підприємствами, фірмами, компаніями.

Секція 10. Системи та стратегії технічного сервісу сільськогосподарської та транспортної техніки.

Секція 11. Підвищення надійності та ефективності функціонування систем, вузлів, агрегатів, машин інтелектуалізацією їх елементів.

Секція 12. Інформаційні технології в розв'язанні проблеми і завдань надійності і ефективності машин, процесів і систем.

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ СИСТЕМИ РУЛЬОВОГО УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

**В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук,
Д.В. Голуб, доц., канд. техн. наук,
А.С. Замуренко, асп.**

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Вантажоперевезення у сучасних ринкових умовах функціонування відіграють одну з ключових ролей в розвитку економіки і міжнародних сполучень країни. Одним із способів підвищення ефективності автомобільних перевезень є використання автомобілів великої вантажопідйомності. З їх допомогою стало можливо перевозити до місця призначення різні великогабаритні об'єкти (модулі цехів, фабрик, бурових установок, корпусу судів, трансформатори, і інші невідомі вироби). Це дозволяє підвищити надійність роботи об'єктів, що будуються, оскільки якість агрегатів і устаткування, зібраного безпосередньо на будівельному майданчику, поступається якості заводського складання.

У зв'язку з тим, що конструкція таких транспортних засобів обумовлена високими навантаженнями, великими розмірами, при їх проектуванні особлива увага приділяється системі рульового управління (РУ) для забезпечення маневреності і точності під'їзду до розвантажувально-навантажувальних майданчиків. Крім того, система РУ є складовою частиною системи активної безпеки автомобілів і законодавчі вимоги до неї постійно посилюються [1, 2]. Тому в проблемі підвищення активної безпеки руху автомобіля актуальним є наукове завдання пошуку технічних рішень, що дозволяють збільшити енергоефективність системи РУ.

Метою дослідження є розробка математичної моделі, що описує встановлені закономірності функціонування і основні принципи побудови мехатронного модуля (ММ) системи РУ автомобілів великої вантажопідйомності.

Виявлено, що застосування електрогідравлічного рульового приводу є найбільш оптимальним для використання в системі рульового управління багатовісних транспортних засобів великої вантажопідйомності [3].

Розгляд автономних електрогідравлічних приводів показав, що проаналізовані приводи мають недоліки, що ставлять під питання раціональність їх використання в системі РУ багатовісного транспортного засобу [1, 2]. Так, в схемах автономного електрогідравлічного приводу з реверсивним насосом і автономного електрогідравлічного приводу з клапаном реверсу застосовуються аксіально-поршневі або плунжерні насоси, вартість яких досить велика. Крім того, в схеми цих приводів включаються додатковий стежачий електрогідравлічний сервопривід і допоміжне джерело гідравлічного живлення для зміни кута похилої шайби насоса, що ускладнює конструкцію приводу.

У функціональній схемі ММ в якості виконавчого механізму запропоновано використати евольвентну передачу, що має переваги в порівнянні з традиційним виконавчим симетричним гідроциліндром, шток якого через систему важелів сполучений з поворотним супортом колеса. Застосування евольвентного виконавчого механізму забезпечує незалежність плеча, на якому діють сили з боку поршнів, від кута повороту вихідного валу. Таке технічне рішення дозволяє зменшити переміщення вихідної ланки виконавчого механізму і за рахунок цього скоротити енергетичні витрати на управління ММ.

Саме тому розроблено математичну модель ММ, яка дозволяє моделювати різні режими його роботи з урахуванням зміни параметрів зовнішнього середовища і конструкції ММ. Вона враховує співвідношення об'ємів нерозчиненого повітря і рідини, діаметр і довжину трубопроводів, місцеві втрати, втрати натиску в трубах, втрати на золотники, пружність шини.

Розроблена математична модель є науковим інструментом, що є основою для методики проектування ММ. Основні рівняння, що входять в математичну модель :

$$P_{T_i} = \sum_0^{\infty} (Q_i - Q_{T_i}) \cdot \frac{E}{\left(1 + \frac{V_B}{V_P} \cdot \frac{E}{P_{T_i}}\right)} \cdot \frac{1,274}{l_T \cdot d_T^2}, \quad (1)$$

де P_{T_i} – тиски в і-му трубопроводі; Q_i – витрати, що поступають в трубопроводи; Q_{T_i} – витрати в трубопроводі; V_B/V_P – співвідношення об'ємів нерозчиненого повітря і рідини; E – модуль пружності рідини; V_T – поточний об'єм в трубопроводі; l_T – довжина трубопроводу; d_T – діаметр трубопроводу; P_i – тиск в робочій порожнині і-го гідроциліндру; γ – питома вага рідини.

$$Q_{T_i} = \sqrt{\frac{|P_{T_i} - P_i| \cdot (0,785 \cdot d_T^2)^2 \cdot A_K^2}{A_K^2 \cdot \left(0,51 \cdot 10^{-6} \cdot \gamma \cdot \sum \xi_T + 1,2 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{l_T}{d_T} \cdot \gamma\right) + 10^{-6} \cdot (0,785 \cdot d_T^2)^2}} \cdot \text{sign}(P_{T_i} - P_i), \quad (2)$$

де $\sum \xi_T$ – відносний коефіцієнт місцевого опору; A_K – площа, еквівалентна по гідравлічному опору проміжкам золотникової пари електрогідравлічного розподільника.

$$P_i = \sum_0^{\infty} (Q_{T_i} - A \cdot \dot{\varphi}_{CT} \cdot R_{ПО}) \cdot \frac{E}{(V_{0i} + A \cdot \varphi_{CT} \cdot R_{НО}) \cdot \left(1 + \frac{V_B}{V_P} \cdot \frac{E}{P}\right)}, \quad (3)$$

де A – площа поршня гідроциліндра; $R_{ПО}$ – радіус початкового кола евольвенти; φ_{CT} – кут повороту маточини.

$$F_{ГЦи} \cdot R_{НО} \cdot k_{np} - M_{Ш} - K_{Д} \cdot \dot{\varphi}_{CT} - M_{ТЛ} \cdot \text{sign}(\dot{\varphi}_{CT}) = J_{In} \cdot \ddot{\varphi}_{CT}, \quad (4)$$

де $F_{ГЦи}$ – зусилля на штоках і-их гідроциліндрів; k_{np} – коефіцієнт перекладу розмірності; $M_{Ш}$ – момент опору шини колеса; $K_{Д}$ – коефіцієнт демпфування ланки "поршень-ступиця колеса", приведений до кута повороту маточини; J_{In} – момент інерції ланки "поршень-ступиця колеса" приведений до кута повороту маточини; $M_{ТЛ}$ – момент тертя ланки "поршень-ступиця колеса", приведений до кута повороту маточини.

$$(\varphi_{CT} - \varphi_K) \cdot C_{Ш} - K_{ДШ} \cdot \dot{\varphi}_K - M_{ТШ} \cdot \text{sign}(\dot{\varphi}_K) = J_{Ш} \cdot \ddot{\varphi}_K, \quad (5)$$

де $C_{Ш}$ – бокова жорсткість шини; $K_{ДШ}$ – коефіцієнт демпфування шини колеса; φ_K – кут повороту колеса; $J_{Ш}$ – момент інерції шини колеса; $M_{ТШ}$ – момент тертя в плямі контакту колеса з опорною поверхнею.

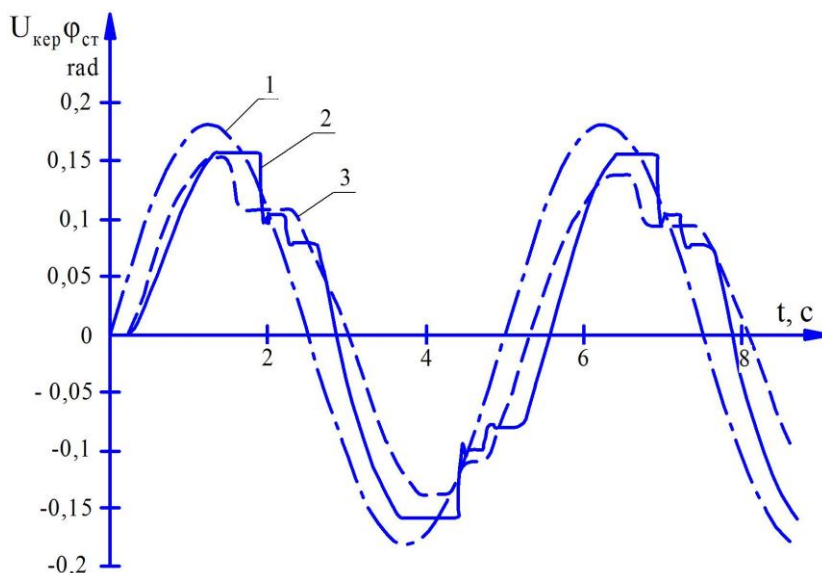
$$\varphi_K = \int_0^{\infty} \dot{\varphi}_K dt, \quad \varphi_{CT} = \int_0^{\infty} \dot{\varphi}_{CT} dt \quad (6)$$

$$Q_H = n_{ед} \cdot q_n - P_{ин} \cdot k_{вум}. \quad (7)$$

де Q_H – витрата насоса; $n_{ед}$ – частота обертання валу електродвигуна; q_n – питома витрата насоса; $P_{ин}$ – тиск в лінії нагнітання насоса; $k_{вум}$ – коефіцієнт, що враховує витоки робочої рідини; $U_{кер}$ – керуючий сигнал.

У зв'язку з тим, що математична модель ММ включає нелінійні елементи, описується нелінійними рівняннями, то розрахунок розімкненої логарифмічної амплітудно-фазової частотної характеристики (ЛАФЧХ) здійснюється методом математичного моделювання. Для цього в математичній моделі закладена можливість перебору усіх можливих поєднань параметрів системи, побудова вхідних і вихідних синусоїдальних сигналів на різних частотах, обробка результатів шляхом утворення еквівалентних синусів, отримання розімкнених ЛАФЧХ [4, 5].

З отриманого діапазону визначений ЛАФЧХ з найгіршими запасами по амплітуді і по фазі, виконується корекція, шляхом вибору необхідного коефіцієнта посилення в системі. Результати математичного моделювання показали, що вимоги до системи помилково, запізнюванню і перерегулюванню виконуються для ЛАФЧХ з найкращими і з найгіршими запасами по амплітуді і фазі (рис. 1).



1 – вхідний сигнал; 2 – результати моделювання; 3 – експеримент

Рисунок 1 – Підсумки реакції системи щодо збіжності результатів стендового і математичного моделювання при поданні на вхід синусоїдального вхідного сигналу

В процесі виконання досліджень встановлено закономірності функціонування і основні принципи побудови ММ системи рульового управління багатовісних транспортних засобів великої вантажопідйомності та розроблено математичну модель ММ, яка дозволяє моделювати різні режими його роботи з урахуванням зміни параметрів зовнішнього середовища і конструкції.

Список використаних джерел:

1. Голобородько О.О., Коробочка О.О. Мехатронні системи автомобільного транспорту. Харків: ТОВ "СМІТ", 2006.- 300 с.
2. Fijalkowski B.T. Automotive mechatronics: operational and practical issues. Heidelberg: Springer, 2011. Volume I. 612 p.
3. Uwe Kiencke, Lars Nielsen. Automotive control systems for engine, driveline, and vehicle. Berlin : Springer-Verlag, 2005. 521 p.
4. Панков А.О., Аулін В.В., Голуб Д.В. Розробка мехатронного програмно-апаратного комплексу регулювання норми висіву. Збірник тез IV Всеукраїнської науково-практичної конференції "Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу с-х машин і знарядь". 28-29 березня 2018 р. Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 2018. С. 311-313.
5. Панков А.О., Аулін В.В., Голуб Д.В. та ін. Розробка інтелектуального мехатронного модуля для системи управління дозуванням. Збірник тез Дванадцятої міжнародної науково-практичної конференції "Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2019)", 21-22 травня 2019 року, Київ, Україна. К.: НАУ, 2019. - 173-175.

ОГЛЯД МЕТОДІВ ЗМІЦНЕННЯ ПОСАДОЧНИХ ПОВЕРХОНЬ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ

М.В. Красота, доц., канд. техн. наук

Р.А. Осін, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Ефективність використання і якість функціонування машин визначаються рівнем їх працездатності і надійності.

Термін служби мобільних сільськогосподарських машин, механізмів і обладнання до капітального ремонту багато в чому залежить від зносостійкості їх корпусних деталей.

Як відомо, велика частина деталей цих машин (80...85%) виходить з ладу внаслідок їх інтенсивного зношування, при цьому більшість деталей ремонтіваних машин вибраковується внаслідок незначного зносу робочих поверхонь, що становить не більше 1% початкової маси деталей [1, 2]. Через низьку довговічність деталей виникає економічно невиправданий високий рівень витрат матеріальних і трудових ресурсів.

Аналіз дефектів корпусних деталей автотракторної техніки дав змогу отримати частоту зустрічання вказаних дефектів.

Основна частка дефектів доводиться на внутрішні гладкі циліндричні поверхні (отвори), тому актуальним питанням є необхідність забезпечення зносостійкості саме цих поверхонь.

Необхідно враховувати, що інтенсивність зношування поверхонь найчастіше визначається структурою, фізико-механічними і геометричними характеристиками матеріалів деталей (твердість, шорсткість і т.д.), умовами роботи деталі (наявність мастила, температура, вплив абразиву, тиск, швидкість відносного переміщення деталей, що труться), конструктивними особливостями з'єднання (шарнір, підшипник ковзання, напрямна; наявність ущільнення, відкрите з'єднання).

В результаті зношування отвору з'єднання відбувається зміна його геометрії, збільшення зазору між деталями, порушується взаємне розташування деталей, зростають динамічні навантаження на деталі. Граничний знос деталей з'єднання впливає на технічні, економічні та екологічні показники роботи техніки. Також, необхідно зауважити, що відновлення зношеного отвору є трудомісткий багатоопераційний процес. В основному деталі, що мають характерний знос отворів, замінюються на нові, що не вирішує наявної проблеми.

До основних причин втрати працездатності циліндричних з'єднань відносяться: перекошування деталей з'єднання, осьовий зсув, провертання деталей з'єднання один відносно одного і зношування внутрішніх поверхонь отворів в процесі експлуатації виробів. Отже, підвищення зносостійкості деталей з'єднань і зносостійкості внутрішніх поверхонь отворів, є важливим напрямком наукових досліджень.

При виборі оптимального способу і режимів поверхневого зміцнення для кожної конкретної деталі рухомого з'єднання необхідно мати додаткові статистичні дані по зносу цих деталей: величину середніх зносів, процентне співвідношення деталей із зносом, менше і більше гранично допустимого, закон розподілу величин зносів, коефіцієнт варіації.

З метою підвищення довговічності деталей слід прагнути до підвищення якості поверхонь деталей за рахунок використання зміцнюючих технологій.

Останнім часом з метою підвищення експлуатаційних властивостей робочих поверхонь деталей все частіше застосовуються нові високоефективні способи поверхневого зміцнення концентрованими потоками енергії [3-5]. Ці способи в більшості своїй перевершують за кількісними і якісними характеристиками традиційні методи

металообробки.

Практично всі методи зміцнення, наведені нижче мають ряд загальних особливостей:

- високошвидкісне нагріванням, як правило, в області температур фазових перетворень;
- інтенсивний тепловий вплив потужних енергетичних потоків на локальні обсяги метала;
- швидке охолодження за рахунок відведення тепла вглиб обсягу основного металу.

Класифікація методів зміцнення складна внаслідок різноманітності фізичних процесів і явищ протікають при їх реалізації.

Можливо представити класифікацію методів поверхневого зміцнення, в якій технології діляться на три основні групи за характером і результатом їх впливу на матеріал (рис. 1).

Першу групу складають процеси зміцнення, такі як осадження твердих опадів з парів і нанесення зносостійких з'єднань: катодно-іонне бомбардування, лазерне напилювання, плазмове напилювання порошкових матеріалів, детонаційне напилювання, пряме електронно-променеве випаровування, електродугове напилювання.

До другої групи відноситься електроіскрове легування, основним призначенням якого є зміна хімічного складу поверхневого шару виробу при впливі концентрованих потоків енергії.



Рисунок 1 – Класифікація методів поверхневого зміцнення концентрованими потоками енергії

Використовуються наступні види обробки: фізико-термічні методи – плазмове гартування [1], лазерна [4], електронно–променева [2], поверхневе загартування киснево-ацетиленовим полум'ям, іонно-променева обробка [2]; електрофізичні методи обробки – ультразвукова обробка [5], електромеханічна обробка [1], електрогідроімпульсна обробка; механічні методи обробки – фрикційно-зміцнююча обробка, вібраційно-ударна, зміцнення вибухом, гідроабразивна обробка; наплавлення легованим металом – плазмою [6], газовим полум'ям, пучком іонів, електричною дугою, лазерним променем [2], електроконтактним способом [2].

Специфічні умови, властиві способам зміцнення концентрованими потоками енергії забезпечують виникнення в оброблюваній поверхні деталей із залізовуглецевих сплавів унікальної, за своїми властивостями, структури на основі мартенситу.

Ефективним методом зміцнення посадочних поверхонь корпусних деталей може

служити електромеханічна обробка.

Електромеханічна обробка (ЕМО), заснована на одночасному термічному і силовому впливі на поверхневий шар металу, що не поступається іншим методам обробки металів в ефективності і інтенсивності зміцнення, представляється найбільш раціональною для використання в умовах реального виробництва, будь то велике промислове підприємство або ремонтна майстерня. Це пов'язано, перш за все, з простотою використовуваного технологічного обладнання та зручністю вбудовування даної технології в базовий технологічний процес виготовлення або відновлення виробів. Крім того, електромеханічна обробка не потребує на відміну від інших методів зміцнення складного і дорогого обладнання.

Дослідженнями підтверджено, що зміцнююче-калібруюча обробка дорнуванням успішно замінює операцію розточування отворів. З використанням дорнування зменшується шорсткість оброблюваних поверхонь, підвищується, а також, внаслідок скорочення числа технологічних операцій обробки отворів, знижується трудомісткість їх виготовлення.

На підставі вищевикладеного можна припустити, що ЕМО дорнуванням може бути остаточним етапом обробки внутрішньої поверхні без попередньої чистової механічної обробки. Також, в зв'язку зі своєю конструктивною простотою при певних умовах ЕМО може в повній мірі, в умовах сільськогосподарських ремонтних майстерень, замінювати трудомісткі фінішні операції - хонінгування, шліфування, тонке точіння, розгортання, протягування та полірування.

З проведених досліджень випливає, що обробка ЕМО отворів корпусних деталей дозволить в значній мірі підвищити зносостійкість з'єднань в цілому, а відсутність шаржування робочої поверхні абразивом і частинками зірваних мікронерівностей створює сприятливі умови роботи гумових манжет і кілець ущільнювачів.

Список використаних джерел

1. Волошин Б.Б. Ремонт сільськогосподарської техніки: навчальний посібник / Б.Б. Волошин - Хотинський технікум Подільського державного аграрно-технічного університету. Хотин, 2003 – 149 с.
2. Сідашенко О.І., Скобло Т.С., Войтов В.А. та ін.: практикум з ремонту машин: // За ред. О.І. Сідашенко. – Харків: ХНТУСГ, 2007. – 415 с.
3. Сігова В.І., Руденко П.В. Методи локальної поверхневої обробки деталей машин: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. - 218 с.
4. Зміцнення деталей променем лазера /Під ред. В.С.Коваленко. – Київ, Техніка, 1981. -130 с.
5. Самсонов Г.В. Електроіскрове легування металевих поверхонь. - Київ: Наукова думка, 1976. - 219 с.
6. Спеціальні покриття в машинобудуванні [Текст]: навч. посіб. / А.Г. Фесенко, М.М. Убізький, О.В. Кулик, Д.І. Шевчук. – Д: РВВ ДНУ, 2009 – 92 с.
7. Ялпачик В.Ф. Практикум з ремонту обладнання переробних і харчових виробництв. / В.Ф. Ялпачик, Ф.Ю. Ялпачик, С.Ф. Буденко, В.Г. Циб. - Мелітополь. Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2015. - 235 с.

METHODS OF MANUFACTURING TECHNOLOGIES FOR FINNED SURFACES OF HEAT EXCHANGERS

R. Grechukhin, group student 5-TM22,

O. Stovpnyk, assoc., cand. tech. sciences

Ukrainian State University of Chemical Technology, c. Dnipro, Ukraine

An important direction in the development of modern mechanical engineering is the desire to reduce the specific weight of machining by cutting and to obtain a workpiece that is close in shape and size to the finished product. Reducing the relative role of machining technologies is largely due to the development of additive forming technologies, including the development of pressure machining methods. Accordingly, technologists face the tasks of increasing the efficiency of new technologies and reducing the cost of their implementation. The choice of one or another technology is determined not only by design features of manufactured products, but also by economic feasibility and productivity. One of the applied problems, requiring a solution in the key of increasing the efficiency of the technological process and the quality of manufactured products, is the production of developed heat exchange surfaces with a reduction in overall dimensions.

Today, compact and efficient heat transfer apparatuses include products with transversely finned surfaces - finned tubes. Versions of cross-ribbed surfaces differ in manufacturing technology and geometric, mass, thermal-physical and thermo-aerodynamic indicators. Cross-cutting finned tubes are mainly made by the following methods: casting, bushing or coiling with soldering of spiral ribbing, pressing of fins on a guide, rolling of bimetallic (aluminum and copper) fins onto a steel bearing tube, welding of fins by electric arc welding or by high-frequency currents.

The most widespread are the types of finned tubes with the highest manufacturability, manufacture of which is possible in mass production with highly effective and technologically advanced equipment - these are tubes with spirally pressed fins of non-ferrous metals and alloys (aluminum, copper), bimetallic tubes with spiral fins, as well as tubes with spiral fins welded by high frequency currents. At the same time, these types of finned tubes have significant drawbacks of technological and operational nature, namely, low thermal and diffusion contact of ribs with the carrier tube and high cost of metals and alloys used for the first two types of production, low degree of surface development (reduced value of the finning factor), and also high complexity and cost of production equipment of automatic lines for finned tubes with spiral-screw welded ribs. The estimated cost per meter of finned tubes is rather high, which reduces the competitiveness and potential of their mass and serial production. High cost and energy intensity of the necessary equipment make it difficult to increase production capacity and output.

Relatively widespread as heat-exchange elements are profiled oval finned tubes. The products have a number of significant structural and operational advantages, in particular, they have a reduced aerodynamic resistance in comparison with the round tubes, which makes it possible to reduce the cost of production and operation, in addition, it makes it possible to produce designs, in which the movement of inter-rib and inter-tube air is carried out by natural draught. At the same time, from the point of view of manufacturability and production implementation - the technology of manufacturing of this type of finned tubes is energy-consuming and expensive, has relatively low production speed, which is associated with electromechanical winding of spiral ribbing or installation of ribbing of rectangular shape on the bearing tube of oval section with subsequent fixation on the bearing tube by soldering method of immersion in metal melt.

Thus, the possibility of creating finned surfaces for heat-exchange devices can be achieved by using fundamentally different technologies, but the efficiency of heat transfer will significantly depend on the quality of the finned surface. One of the effective methods of creating finned surfaces is the plastic deformation of metal in the hot and cold state. Production of condensers with low fins

by cold rolling method does not involve the use of heavy loads. The high productivity of the process and the comparatively low costs make it very efficient.

If during hot rolling as a result of heating and cooling of the workpiece, various defects (rolls, dross, cracks, temperature stresses) often occur on the working surface, then during cold rolling there are no such defects. Moreover, cold rolling increases the strength of the metal surface layer of ribs as a result of hardening, provides an improved texture of the metal. This significantly increases wear resistance and durability of knurled ribs.

The possibility of creating finned heat-exchange surfaces can be achieved by using fundamentally different technologies. In the case of using the method of plastic deformation of metal, processing waste is reduced, the consumption of electricity and tools is reduced, labor costs are reduced. The use of developments that lead even to a small reduction in the metal intensity and cost of finned surfaces with large needs in heat-exchange equipment throughout the industry, can lead to significant cost savings, expanding the application areas of resource- and energy-saving technologies. In addition, it should be noted that the products obtained by the cold rolling method have the structure of the surface layer of metal, providing an increase in mechanical characteristics and wear resistance.

References

1. Kocurek R., Adamiec J. Manufacturing Technologies of Finned Tubes. *Advances in Materials Sciences*. 2013. Vol. 13, no. 3. URL: <https://doi.org/10.2478/adms-2013-0009> (date of access: 31.03.2023).
2. Handbook for Transversely Finned Tubes Heat Exchanger Design. Elsevier, 2016. URL: <https://doi.org/10.1016/c2014-0-02659-7> (date of access: 01.04.2023).
3. Moosavi R., Vaisi A., Javaherdeh K. Investigation of the geometrical structure of louvered fins in fin-tube heat exchangers for determining the minimum distance of the headers. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2021. Vol. 35, no. 4. P. 1721–1731. URL: <https://doi.org/10.1007/s12206-021-0335-4> (date of access: 02.04.2023).

МОДЕЛЬ ОБГОНУ АВТОМОБІЛЕМ НА ПРЯМІЙ ТРАСІ

Р.М. Рогатинський, проф., д-р техн. наук,

О.Л. Ляшук, проф., д-р техн. наук,

І.Б. Гевко, проф., д-р техн. наук,

Р.В. Хорошун, асп.,

А.О. Брикса

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

При обгоні на автомобіль діють змінні в часі сили, які впливають на його курсову стійкість, а тому вибір траєкторії обгону та його швидкісних параметрів є важливою умовою безпечного керування автомобілем. Крім цього, актуальність розробки імітаційних моделей обгону автомобіля на трасі підвищується із появою автоматизованих систем керування автомобілем.

У відомих працях [1-4] наведено дослідження курсової стійкості автомобіля, моделі розподілу сил та кутів відведення при поворотах та вибір раціональних траєкторій руху автомобіля. Зокрема в [3] наведено моделі руху автомобіля по криволінійній трасі, в яких запропоновано траєкторію перебудови автомобіля з однієї смуги на іншу, що описується логістичною кривою виду

$$y(x) = \frac{u \cdot \tanh[\lambda(x - Q/2)] + u}{2} = \frac{u \cdot e^{\lambda(2x-Q)}}{1 + e^{\lambda(2x-Q)}}, \text{ м}, \quad (1)$$

де u – віддаль між осьовими лініями сусідніх смуг руху (ширина смуги), м; λ – параметр згладжування кривої перебудови, що залежить від швидкісного режиму руху та визначає її розтягнутість, м^{-1} ; Q – довжина ділянки, на протязі якої проходить перебудова автомобіля на іншу смугу руху, м.

Згідно з [3] довжина ділянки перебудови Q визначається із умови фактичного завершення етапу переходу автомобіля із однієї смуги на іншу. Оскільки в залежності (1) область визначення поточної координати x є вся числова вісь, то початок та кінець ділянки перебудови обмежимо умовою, що функція (1) в цих точках віддалена від траєкторії прямолінійного по смугі руху на несуттєву величину, $y(0) = u - y(Q) = \varepsilon_u$, що не перевищує похибки поперечного позиціонування автомобіля на трасі. Згідно [3]

$$Q = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{1}{\varepsilon_u} \right), \text{ м}. \quad (2)$$

Для практичних цілей, із врахуванням діючих нормативів на будівництво доріг, згідно яких $u \leq 3,75$ м, можна прийняти $\varepsilon_u = 0,003 \dots 0,0035$. Тоді $Q \approx 5,7 / \lambda$.

При русі автомобіля, центр ваги якого переміщується із швидкістю v_c по траєкторії кривиною k_c , на нього діятимуть інерційні сили $F_\omega = mv_c^2 k_c$ від дії відцентрового прискорення $a_r = v_c^2 k_c$. Для забезпечення курсової стійкості автомобіля відцентрові прискорення не повинні перевершувати певної долі прискорення земного тяжіння. Тоді допустиме відцентрове прискорення можна встановити як $a_r = k_g g$, де k_g – коефіцієнт, який залежить від типу автомобіля та його стану, погодних умов, стану дорожнього полотна тощо і який завідомо менший коефіцієнта зчеплення коліс із дорожнім полотном. В цьому випадку, із умови забезпечення курсової стійкості автомобіля, його допустима швидкість v не повинна перевищувати значення

$$v = v_c \leq \sqrt{\frac{k_g g}{|k_c|}}, \text{ м/с.} \quad (3)$$

Зміна напрямку руху автомобіля визначається диференціюванням функції (1)

$$y'(x) = dy/dx = 0,5\lambda u \operatorname{sech}^2[\lambda \cdot (x - Q/2)], \quad (4)$$

Функція (4) приймає максимальне значення в т. $x = Q/2$, де рівна $y'(Q/2) = 0,5\lambda \cdot u$.

Друга похідна функції відповідає за динаміку руху автомобіля в поперечному напрямку і визначається за залежністю

$$y''(x) = d^2 y/dx^2 = -\lambda^2 u \tanh[\lambda(x - Q/2)] \operatorname{sech}^2[\lambda(x - Q/2)], \text{ м}^{-1}. \quad (5)$$

Функція (5) має два екстремуми із значеннями

$$y''_{\text{ext}} = \pm k_\lambda \lambda^2 u, \text{ м}^{-1}. \quad (6)$$

де k_λ – коефіцієнт, рівний $k_\lambda = 0,385$.

Для пологих ліній перебудови автомобіля з однієї смуги на іншу кривина $K_{y(x)}$ функції (1) буде

$$K_{y(x)} = y''(x) / \sqrt{1 + y'^2} = k_K y''(x), \text{ м}^{-1}, \quad (7)$$

де k_K – коефіцієнт уточнення кривини ($k_K \approx 0,96...0,98$), який з невеликим запасом підвищення курсової стійкості можна прийняти $k_K = 1$.

Миттєва кутова швидкість повороту автомобіля відносно вертикальної осі при обгоні за траєкторією (1) буде

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{d\varphi}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = K_{y(x)} v, \text{ с}^{-1}. \quad (8)$$

Прийнявши, що кривина траєкторії переміщення центра ваги автомобіля відповідає кривині лінії (1) та, із врахуванням (3), параметр λ логістичної функції (1), що описує траєкторію перебудови автомобіля на іншу смугу при обгоні, залежно від швидкісного режиму, буде

$$\lambda = \frac{1}{v} \sqrt{\frac{k_g g}{k_\lambda u}}, \text{ м}^{-1}. \quad (9)$$

Якщо швидкість автомобіля А, рис.1, що здійснює обгін буде $v = v_1$, а швидкість автомобіля В, якого обганяють, буде v_2 , то відносна швидкість автомобіля, який іде на обгін буде $v_\Delta = v_1 - v_2$, а час обгону $t = Q/v_1$. Тут v_1 – проекція швидкості v на напрямок траси, прийемо $v_1 = v$. Для виконання повного циклу проходження автомобілем кривої (1) обгін потрібно починити тоді, коли шлях до попереднього автомобіля становить

$$s_1 = Q(1 - v_2/v_1), \text{ м.} \quad (10)$$

Мінімальний час паралельного обгону (від позиції А2 до позиції А3, рис. 1) становитиме $t_{12} = (L_1 + L_2)/(v_1 - v_2)$, а пройдений шлях буде

$$s_2 = (L_1 + L_2)/(1 - v_2/v_1), \text{ м.} \quad (11)$$

Маневр повертання на свою смугу можна починати, коли автомобіль, який обганяє повністю міне інший автомобіль (позиція А3, рис.1).

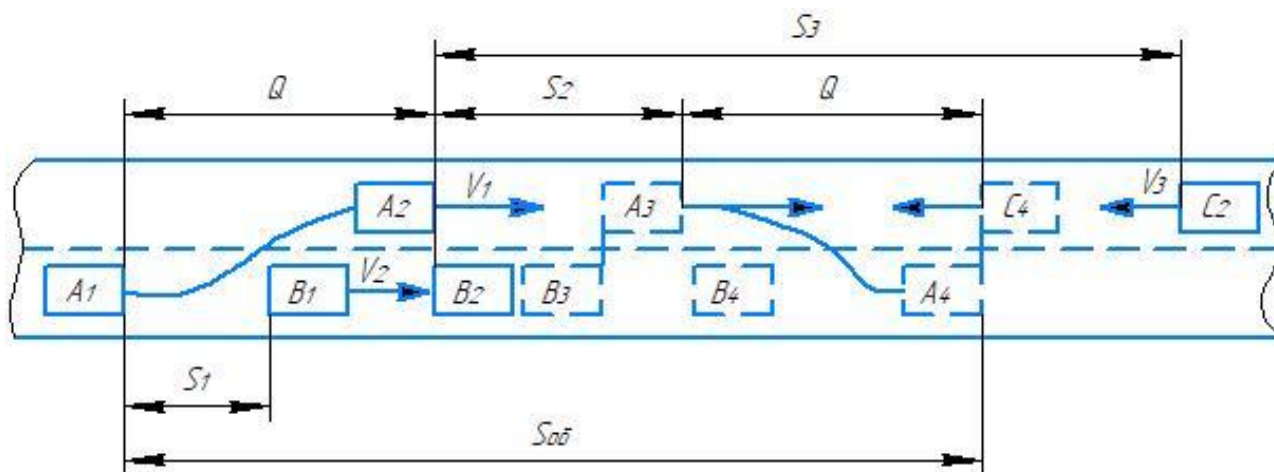
Повернення автомобіля на смугу свого руху доцільно проводити за тією ж логістичною кривою, тільки у зворотному напрямі. При незмінній швидкості автомобіля v

довжина відрізка повернення буде такою ж, $Q_2 = Q$. Загальна довжина відрізка шляху, на якому проходить обгін буде

$$s_{ob} = 2Q + s_{12} = v \left(2 \sqrt{\frac{k_{\lambda} u}{k_g g}} \ln(\epsilon_u^{-1}) + (L_1 + L_2)/(v_1 - v_2) \right), \text{ м.} \quad (12)$$

У випадку виявлення зустрічного транспорту, рішення про продовження обгону чи повернення на свою смугу доцільно приймати в кінці першого відрізка (позиція A2). Якщо є можливість оцінити швидкість v_3 зустрічного автомобіля, то завершення обгону буде безпечним, коли віддаль до зустрічного автомобіля (від A2 до C2) перевищуватиме

$$s_3 = (Q + s_2)(1 + v_3 / v_1), \text{ м.} \quad (13)$$



А – автомобіль, що здійснює обгін; В – автомобіль, який обганяють; С – зустрічний автомобіль.

Позиції автомобілів: 1 – до обгону; 2 – після завершення перебудови автомобіля А на зустрічну смугу; 3 – після обгону паралельними смугами; 4 – після повернення автомобіля А на свою смугу

Рисунок 1 – Схема обгону

У випадку, коли обгін проводиться на криволінійній ділянці траси, то розрахунок впливу швидкісного режиму руху на траєкторію перебудови проводиться аналогічно, із врахуванням того, що кривини траси та кривини траєкторії перебудови (8) складаються. Тоді, на криволінійній ділянці траси, при обгоні як по зовнішньому, так і по внутрішньому радіусу, умови будуть більш несприятливі, ніж на прямій дорозі, що потребує внесення змін у визначення швидкісного режиму та довжини ділянки обгону.

Висновки. Розроблена модель обгону за запропонованою логістичною кривою мінімізує силові впливи на автомобіль і дозволяє забезпечити його курсову стійкість на трасі. Модель адаптована для використання в системі автоматизованого керування автомобілем.

Для вибору швидкісного режиму та довжини ділянки обгону на прямолінійній трасі необхідна інформація щодо параметра зчеплення коліс із дорожнім полотном та стану автомобіля, які впливають на вибір коефіцієнта k_g . За умови неперевищення критичних прискорень, час перебудови на зустрічну смугу та навпаки не залежить від швидкісного режиму автомобіля, оскільки збільшення швидкості потребує більшого відрізка шляху перебудови. Єдиною можливістю зменшити час обгону, без ризику входження автомобіля в неконтрольоване переміщення, є збільшення його швидкості на ділянці (A2-A3), в якій проходить паралельний обгін (на смузі зустрічного руху).

Список використаних джерел

1. Макаров В.А. До питання вибору математичної моделі для дослідження курсової стійкості руху легкового автомобіля / В.А. Макаров, А.С. Волохов, А.В. Куплінов // Наукові нотатки : міжвузівський збірник. - Луцьк, 2010. - Вип. 28. - С. 311 - 316.
2. До питання про розробку математичної моделі легкового автомобіля з урахуванням крену / В. П. Сахно, В. Г. Вербицький, А. В. Костенко, О. С. Волохов, Д. М. Яценко // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. - 2011. - Вип. 8. - С. 166-171.
3. Модель руху автомобіля по криволінійній трасі/ Р.М. Рогатинський, О.Л. Ляшук, І.Б. Гевко, Р.В. Хорошун, О.Б. Романюк // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. Херсон : Херсонська державна морська академія, 2021. № 2 (25). С. 72–81.
4. Martyn, E., Yakovchuk, V., Pridatko, O. (2022). Розробка концепції інформаційної графічної технології моделювання траєкторій обгону для пожежних автомобілів. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, 26. - С.29-39.

ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ ЛАП КУЛЬТИВАТОРІВ

М.О. Василенко, зав. відділу, канд. техн. наук, с.н.с.

Д.О. Буслаєв, старш. наук. співроб., канд. техн. наук

О.Є. Калінін, старш. наук. співроб., канд. техн. наук

Ю.А. Кононогов, провідн. інж.

Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України, смт Глеваха, Київська область, Україна

Лапи культиваторів працюють в жорстких умовах абразивного зношування і потребують відновлення та зміцнення.

За результатами аналізу величин зношень нових лап культиваторів, технічної можливості та економічної доцільності способів їх відновлення та зміцнення рекомендовано спосіб із застосуванням ремонтних елементів з подальшим локальним зміцненням.

Зношені лапи культиваторів обрізаються плазмовим різанням. Таким же способом вирізаються ремонтні елементи лап культиваторів.

Ремонтні елементи одночасно загострюються та зміцнюються на створеній нами оригінальній установці 01.10.016А способом електроконтактного оброблення (пат. України на винахід № 97298 на установку та пат. України на винахід № 97874 на спосіб).

Ці ремонтні елементи приварюються на розробленому пристосуванні до обрізаних лап дуговим методом.

Зварена лапа культиватора додатково зміцнюється точковим дуговим наплавленням і після технічного контролю фарбується.

Зношена лапа культиватора в порівнянні з новою а) та лапа після відновлення та зміцнення б) показані на рис.



Рисунок – Зношена лапа культиватора CASE Tiger-Mate в порівнянні з новою а) і відновлена та зміцнена за технологією ІМА АПВ НААН б)

Запропонована технологія та обладнання забезпечують ресурсні показники лап культиваторів на рівні кращих зарубіжних зразків, а собівартість відновлення та зміцнення становить 60%...80 % від вартості нових деталей.

ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ СОШНИКІВ СІВАЛОК

М.О. Василенко, зав. відділу, канд. техн. наук, с.н.с.

Д.О. Буслаєв, старш. наук. співроб., канд. техн. наук

О.Є. Калінін, старш. наук. співроб., канд. техн. наук

Ю.А. Кононогов, провідн. інж.

Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України, смт Глеваха, Київська область, Україна

За результатами аналізу величин зношень нових сошників сівалок, технічної можливості та економічної доцільності рекомендовано наступні способи відновлення та зміцнення:

- дугове напівавтоматичне наплавлення порошковими дротами для деталей зі зношенням до 6 мм;

- ремонтними елементами з додатковим точковим зміцненням для деталей із зношенням більше 6 мм.

За відновлення сошників способом ремонтних елементів відрізується їх зношена полозовидна частина металорізальним способом: плазмовим різанням, абразивним кругом чи іншими засобами.

Відрізування зношеної полозовидної частини від корпусу сошника здійснюють по прямій лінії, після чого виготовляють вставку, обріз полозовидної частини якої повинен мати форму аналогічну обрізу нового сошника і приварюють її до корпусу. Поверхню приварених ремонтних елементів додатково наплавляють зносостійким матеріалом, наприклад, порошковим дротом ПП-Нп-180Х9 та ін. (рис. 1) згідно поданої нами заявки на винахід України № а202007255.



1 – корпус сошника; 2 – приварена та зміцнена полозовидна частина сошника

Рисунок 1 – Спосіб відновлення та зміцнення сошника сівалки для збільшення строку його експлуатації

Зварений сошник сівалки додатково зміцнюється точковим дуговим наплавленням і після технічного контролю фарбується.

Загальний вигляд зношеного та відновленого сошника сівалки показано на рис. 2.

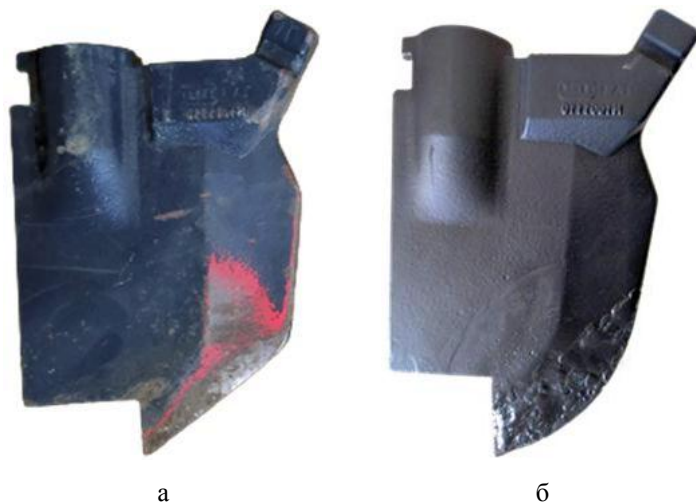


Рисунок 2 – Загальний вигляд зношеного (а) та відновленого (б) сошника сівалки Kuhn Planter

Запропонована технологія забезпечує ресурсні показники сошників сівалок на рівні кращих зарубіжних зразків, а собівартість відновлення та зміцнення становить 60%...80 % від вартості нових деталей.

МЕХАНОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ ФОРМУВАННЯ ВТОРИННИХ СТРУКТУР НА ПОВЕРХНЯХ ТЕРТЯ

М.І. Денисенко, доц., канд. техн. наук

ВСП "Немішаївський фаховий коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України", сел. Немішаєве, Київська обл., Україна

Анотація. Зовнішнє тертя є процес перетворення зовнішньої механічної енергії в енергію внутрішню. Закономірності цього перетворення визначаються властивостями і структурою конструкційних трибоматеріалів та складом зовнішнього середовища. В результаті взаємодії активованих поверхневих шарів металу з активними елементами середовища – пасиваторами (киснем, сіркою, фосфором, хлором, азотом та інші) утворюються нові однофазові або гетеро фазові тонко плівкові об'єкти, що отримали назву вторинних структур [1, с.73].

Постановка проблеми. Аналіз експериментальних даних, отриманих за допомогою різноманітних методів досліджень, дозволяє припустити, що видалені частинки зношування та спрацювання поверхні тертя мають розмірність від атомно-молекулярного стану до розмірів, зіставлених з шорсткістю робочої поверхні деталі на відповідній стадії зносу. Знос є неминучим результатом тертя, накладає суттєві обмеження на зростання продуктивності праці, якість продукції, призводить до величезних втрат матеріалів і засобів праці.

Об'єктами руйнування поверхневого шару являються як вихідна структура, яка під час роботи зазнає певних змін, так і вторинні структури, що утворюються в результаті масообміну і взаємодії поверхні тертя та активних компонентів зовнішнього середовища. Утворення шару вторинних структур (ВС) у більшості випадків чинить сприятливий вплив на зносостійкість деталей і робочих органів машин.

Основні положення і визначення, що відображають процеси утворення, формування, розвитку, руйнування та відновлення вторинних структур, є наступне: взаємодія поверхонь тертя; постійний приплив від ємної ентропії; кооперативне (сумісне, узгоджене) існування підсистем структури; посилене відхилення трібосистеми від сталого стану; структурна самоорганізація; підтримування та розвиток утворених вторинних структур.

Відповідно ДСТУ 2823-94, зношування – процес відокремлення матеріалу від поверхні тертя твердого тіла і (чи) збільшення його залишкової деформації в умовах тертя, що виявляється у поступовому змінюванні розмірів, форми і (чи) маси тіла.

Виклад основного матеріалу. Відомо, що основні явища при терті концентруються у тонкому поверхневому шарі. Зношування і формування поверхневих шарів – фундаментальні процеси, які властиві будь-якому тертю або трібосистемі. Б.І.Костецький та його учні створили монографію, у котрій підбивають підсумки своїм раннім працям по питанням утворення вторинних структур при терті в умовах граничного змащування, а також розкрили перспективи використання вторинних структур як захисного екрану від руйнування основного матеріалу пари тертя. [2,3,4]

Утворення оксидів на поверхнях тертя деякі дослідники розглядали як результат термічних процесів, що протікають у відповідності з класичними механізмами окислення металів, або безпосередньо в процесі тертя, або після тертя в результаті взаємодії контактних поверхонь з киснем повітря.

Дослідження показали, що за механічними властивостями і міцністю зчеплення з основою оксидні плівки, що утворилися безпосередньо при терті (вторинні структури), суттєво відрізняються від плівок, утворених термічним шляхом.

Вивчення механізму зношування показує, що його сутність має механо-корозійну природу. Треба розуміти комплекс явищ, що відображають утворення та руйнування

вторинних структур у поверхневих шарах деталей при навантаженні тертям. Механо - корозійне зношування , також як і окислювальне спрацювання відповідно Б.І.Костецькому умовно може бути поділений на три етапи: 1) деформування і активація; 2) утворення вторинних структур; 3) руйнування вторинних структур. Треба відмітити, що періодичний характер процесу утворення і руйнування вторинних структур в реальних умовах тертя має локальний характер (на кожній ділянці поверхні тертя).

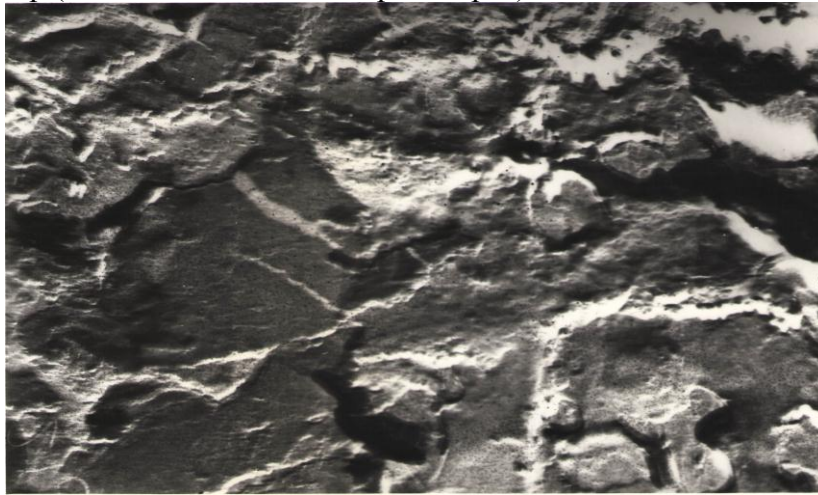


Рисунок 1 – Стан поверхні тертя після дугового точкового зварення, вкритої плівками вторинних структур II типу: x 10000

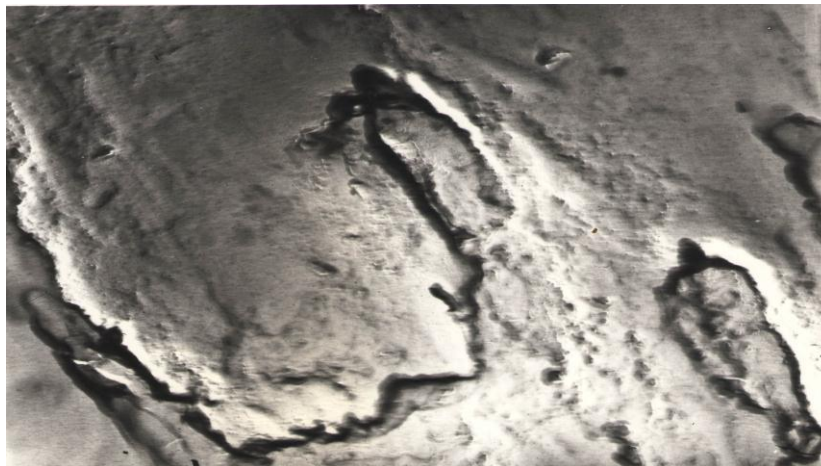


Рисунок 2 – Стан поверхні тертя сталі Х6Т2, вкритої плівками вторинних структур I типу: x10000

Утворення в процесі тертя вторинних структур, головним чином в результаті окислювальних процесів, Б.І.Костецький та його учні відкрили явище структурного пристосування матеріалів при терті (СП) [2,3,4]. Явище структурного пристосування матеріалів при терті універсальне і спостерігається при терті різних матеріалів в певних для кожної пари тертя умов навантаження, але механізми пристосування для різних матеріалів мають свою специфіку. Структурні зміни матеріалу спостерігаються у вигляді шару вторинних структур (ВС) (рис.1, рис.2). В умовах тертя вторинні структури насичуються киснем. Самоорганізація найбільше розповсюджена при роботі машин та обладнання різного функціонального призначення у режимі граничного тертя.

Самоорганізація у цьому режимі, яка названа структурним пристосуванням (СП), проявляється в утворенні захисних вторинних структур (ВС), що екранують основний метал деталей від безпосереднього контакту, схоплювання та інтенсивного руйнування. Вторинні структури, що мають екстремальні фрикційні та міцнісні властивості, представляють тонкоплівковий об'єкт ($h_{bc} = 20 - 80$ нм), характеристики котрого визначають механізми

формування сил тертя і зносу. [3]. Важливою кінетичною характеристикою являється тривалість циклу утворення, стабілізації і руйнування ВС - τ_{BC} .

Механізм зношування покриття з точковим зміцненням (ДТЗ), дугове точкове зварення (рис.1) – в'язке міжзеренне руйнування, викришування карбідних включень. У спрацьованні сталі Х6Т2 (рис.2.) спостерігаються процеси зсуву вторинних структур, руйнується сама матриця, викришуються карбіди заліза, титана та марганцю. Вторинні структури І типу мають властивості над пластичності, легко переміщуються по поверхні тертя; вторинні структури ІІ типу мають велику поверхневу міцність, але менш пластичні.

Висновки. Формування вторинних структур (ВС) при технічній експлуатації машин і механізмів може бути використано як засіб керування їх працездатністю.

Механізми утворення вторинних структур обумовлені також зовнішніми факторами (Р, V), котрі спричиняють зростання величини зносу.

Знос дуже часто являється першою причиною поломки деталей, оскільки сприяє насиченню поверхневого шару дефектами та зниженню міцності.

Список використаних джерел

1. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность материалов при трении [Текст] / Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Караулов А.К., Бершадский Л.И., Костецкая Н.Б., Ляшко В.А., Сагач М.Ф.. – "Техніка", 1976., 296 с.
2. Костецкий, Б.И. Структурно-энергетические основы управления трением и изнашиванием [Текст] / Б.И.Костецкий. – К.:Общество "Знание", 1990. – 31 с.
3. Костецкий, Б.И. Задачи трибологии в машиностроении [Текст] /Б.И.Костецкий. – Вестник машиностроения, 1989. №9. – с.9-14.
4. Бершадский,Л.И. Структурная термодинамика трибосистем / Л.И.Бершадский. -Киев: Знание, 1990.-31 с.

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ТА ТЕХНІЧНОГО РЕСУРСУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ І НАДІЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

М.І.Денисенко, доц., канд. техн. наук

*ВСП "Немішайвський фаховий коледж Національного університету біоресурсів і
природокористування України", сел. Немішаєве, Київська обл., Україна*

Анотація. В сільському господарстві ступінь спрацювання машин залежить від великої кількості факторів. Особливо в царині ґрунтообробки абразивний знос займає центральне місце. Структура ґрунтів, швидкість технологічних операцій і глибина обробки в значній мірі визначають ступінь зношування. Від зростання величини спрацювання в процесі технічної експлуатації, змінюється геометрична форма робочих органів. Це, в свою чергу, чинить негативний вплив не тільки на глибину обробки, але й на кут різання і ступінь проникнення у ґрунт.

Постановка проблеми. Найбільш енергоємна технологічна операція сільськогосподарського виробництва – обробка ґрунту. На сьогодні в Україні і в світі виготовляється велика кількість деталей плоскої геометрії, які являються робочими органами машин і механізмів сільськогосподарської техніки, а також технологічного обладнання. Дослідження підтверджують, що інтенсивність спрацювання робочих органів настільки велика, що в окремих випадках необхідність в ремонті виникає через 2 – 3 години роботи лемеша плугу або лапи культиватора. Зношування деталей і робочих органів має, як правило, абразивний характер при порівняно високій інтенсивності та призводить до суттєвої зміни їх форми. Деталі ґрунтообробних машин працюють в умовах інтенсивного абразивного спрацювання. Тому підвищення довговічності цих деталей було і залишається актуальним.

В теперішній час виробники сільськогосподарської техніки використовують різноманітні технології і методи зміцнення робочих поверхонь, котрі забезпечують працездатність машин і технологічного обладнання в умовах технічної експлуатації. Для цього використовуються методи об'ємного і поверхневого зміцнення [1]. Для виробництва більшості ґрунтообробних машин і знарядь нині у світі використовують конструкційні сталі з високою часткою бору. Продукція фірми "BELLOTA" має ряд переваг по відношенню до аналогів: можливість вибору товщини металу від 4 до 10 мм; після виготовлення твердість складає деталей 48 – 50 HRC; збільшення терміну служби у 2-3 рази.

Фірма під торговою маркою ARMA, виготовляє лемеші та долота з патентованим карбідним покриттям, методом напилення деталі по колу, що дозволяє зміцнити деталь з усіх сторін рівномірно, виключаючи переходи між твердими і м'якими шарами металу у готовому виробі. Зносостійкість такої деталі набагато вища ніж у деталі, зміцненої методом наплавлення покриття сормайт. Всі деталі сільськогосподарської техніки виготовляються при дотриманні стандартів якості ISO 9001, ISO 14001 з використанням хромистої борвмісної і високо вуглецевої сталі з твердістю до 53 HRC.

Ціль роботи – підвищення довговічності та технічного ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин та інших деталей шляхом використання і вдосконалення дугового точкового зварення (ДТЗ) порошковим самозахисним дротом – плавким електродом ПП-АН170 (ПП-АН170М) (ПП-АН170М2) відкритою дугою. При ДТЗ особливого значення набуває визначення моменту дійсного збурення дуги.

Крапки зміцнення (рис.1) утворюються за швидкого введення в основу деталі такої кількості теплоти, котра необхідна для проплавлення конусного кратера і утворення головки Крапки. Точкове зміцнення ДТЗ на деталях виконують у горизонтальному або близькому до

нього положеннях. Перед наплавленням порошковий дріт для видалення вологи прожарюють при температурі 200-250°C, на протязі 40 хв., деталі треба зачистити від корозії, оливи і бруду. Стабільне збурення дуги забезпечується при щільності струму не менше 150 А/мм². Встановлено, що оптимальна швидкість подавання порошкового дроту складає 30-70 м/год.

Порошкові дроти для зміцнення деталей машин, розроблені спеціалістами Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, одні з найбільш розповсюджених електродних матеріалів для автоматичного і напівавтоматичного електродугового наплавлення деталей машин і механізмів в різних галузях промисловості.

Виклад основного матеріалу. В сучасних умовах різноманітності методів зміцнення та відновлення поверхонь тертя, завдання вибору ефективного і оптимального варіанту являється актуальною для процесів виготовлення і ремонту деталей машин.

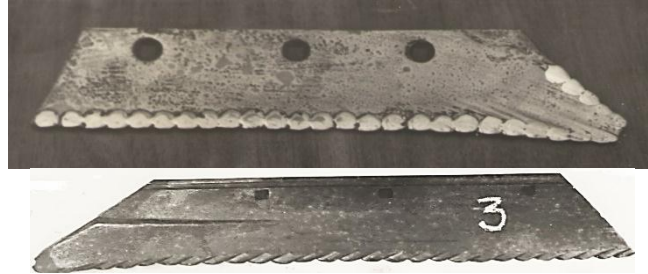


Рисунок 1 – Леміш плугу після наробітку 49,1 га; дугове точкове зварювання порошковим дротом плавким електродом ПП-АН170 (ПП-АН170М2)

Для наплавлення точок зміцнення використовуємо порошковий дріт ПП-Нп-80Х20Р3Т (ПП-АН170), твердість HRC 58-67; ПП-Нп-150Х1515Р3НЗ (ПП-АН170М), (ПП-АН170М2) твердість HRC 50-58, товщиною 1,2 – 3,2 мм для механізованого зварення в захисному газі або відкритою дугою найбільш ефективно в польових умовах.

Технологічні параметри ДТЗ відпрацьовані і уніфіковані для наступних деталей робочих органів сільськогосподарської техніки: лапи культиваторів, лемішів плугів, польових дощок, доліт, відвалів плугів, дисків борін, молотків кормодробарок. Точкове зміцнення забезпечує утворення самозагострювання леза в заданих кліматичних умовах.

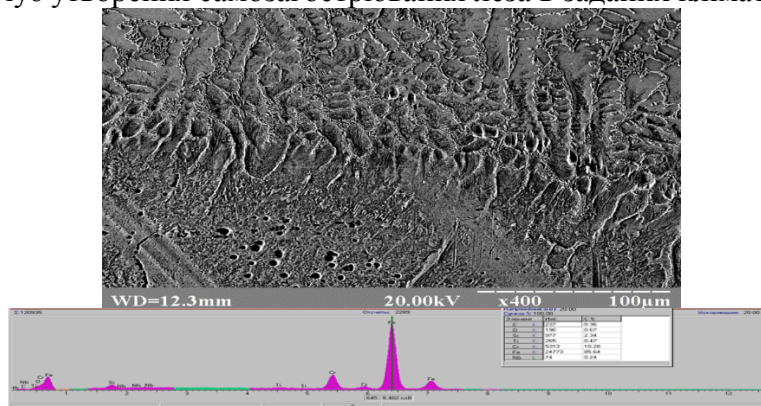


Рисунок 2 – Будова, рентгеноструктурний аналіз та хімічний склад крапкового покриття

Мікроструктура точкового покриття складається з карбідів, борідної евтектики і мартенситу. Наплавлений шар (рис.2) – це до евтектичний сплав з виразною дендритною структурою, первинні дендрити на основі легованого заліза. Діаметр дендритних складає від 3 до 10 мкм. В перехідному шарі присутній прошарок товщиною від 17 мкм до 20 мкм на основі фериту, легованого хромом до 0,24% і кремнієм до 0,2%. Твердість металу точкового покриття висока. Відбувається зміна форми і розмірів карбідних включень В₄С, а також утворюється плавний перехід на межі розділу: основний метал – точкове покриття.

При точковому зміцненні (ДТЗ) деталей, одна із головних умов, що забезпечує стабільну якість зміцнення – узгодження величини зварного струму та напруги дуги. В

залежності від етапу ДТЗ, товщини з'єднаних деталей та діаметру порошкового дроту параметри точкового зварення приймаємо наступними: сила зварного струму 150 – 500А, напруга на дузі 30 – 50В, швидкість подавання порошкового дроту 30 – 700 м/год., тривалість зварення 1,5 – 2,0 с. Зварний струм чинить найбільший вплив на формоутворення точки зміцнення.

Висновки. Грунтообробні машини з робочими органами, зміцненими ДТЗ пройшли виробничі випробування у різних регіонах України. За загальним для всіх лемешів наробітком, лемеші з точковим зміцненням переважають серійні з індукційним наплавленням в 2,8 рази.

Список використаних джерел

1. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / М.М.Севернев, Н.Н.Подлекарёв, В.Ш.Сохадзе, В.О.Китиков; под ред.М.М.Севернева.: Наука, 2011.333 с.
2. Денисенко М.І., Рубльов В.І. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин з використанням точкового зміцнення. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук.пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту.2011.Вип.24 (2). С.28-35.
3. Аулін В.В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки: автореф.дис. на здобуття наук.ступеня д-ра техн.наук: 05.02.04.Хмельницький, 2015.36 с.

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

О.Ю. Рудик, доц., канд. техн. наук

Я.М. Михайлюк, магістрант. гр. МТВАм-22-1,

О.В. Решетник, магістрант. гр. МТВАм-22-1,

Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна

Інформаційні технології забезпечують широкі можливості у вивченні студентами різноманітних аспектів автоматизації проектування деталей автомобільної техніки [1], так як спеціальність “Автомобільний транспорт” є пріоритетною в Україні та світі.

Головною особливістю сучасної графічної підготовки інженерів цієї спеціальності є 3D-моделювання, оскільки на всіх стадіях життєвого циклу деталей автомобілів присутні інформаційні моделі. Тому розроблена технологія навчання інженерних дисциплін, яка використовує єдиний інструмент – базову CAD/CAM/CAE/PDM-систему SolidWorks як крізний засіб навчання по усім технічним дисциплінам навчального плану [2]: твердотільне 3D-проектуювання на перших курсах навчання, інженерні розрахунки (додаток SolidWorks Simulation) – на останніх [3].

SolidWorks Simulation призначений для розв'язування задач механіки деформованого твердого тіла методом скінченних елементів (чисельного моделювання). Це програмне забезпечення для розрахунків на статичну міцність і стійкість у лінійній і нелінійній постановці, виділення власних частот, оптимізації форми деталей і складань у лінійній постановці, аналізу втоми й поведінки конструкції при падінні. Програма використовує геометричну модель деталі або складання SolidWorks для формування розрахункової моделі. Інтеграція з SolidWorks дає можливість мінімізувати операції, зв'язані зі специфічними особливостями скінченно-елементної апроксимації [4].

Як приклад, за допомогою SolidWorks Simulation в [5] проведений статичний аналіз вал-шестерні заднього моста автомобіля УАЗ. При аналізі результатів моделювання встановлено, що мінімальний коефіцієнт запасу міцності вал-шестерні більше допустимого. Тому метою роботи [6] ставилось можливість заміни даного матеріалу на доступніший у ремонтних майстернях. При цьому встановлено, що з точки зору забезпечення міцності для виготовлення вал-шестерні заміна її матеріалу є можливою (аналогічне завдання ставилось у роботі [7]).

Як приклад застосування SolidWorks проведене дослідження працездатності сателітів диференціала переднього моста автомобіля ЛуАЗ [8]. Результати статичного аналізу зображались у вигляді кольорового градієнта, який показував зміною кольору розподіл розрахованих параметрів. Тобто за допомогою віртуальної моделі став можливий аналіз напружень, переміщень й еквівалентних деформацій валу.

Автори [9] досліджували вплив удару на стійкість рульової сошки автобуса ЛіАЗ. Розглядали наступні варіанти: удари лівим та правим колесами при повороті автомобіля, а також базовий варіант – поворот на місці (без удару). Таким чином, застосування SolidWorks Simulation дозволяє досліджувати міцнісні характеристики елементів автомобіля, які безпосередньо впливають на стійкість його руху.

Задачею дослідження [10] ставився розрахунок у SolidWorks Simulation рульової сошки автомобіля Іж2126 – зміна її конструкції для економії матеріалу (зменшення товщини ребер жорсткості). Проведеними міцнісними розрахунками оптимізованої сошки встановлена її гарантована працездатність при зменшенні маси на 19,6%.

У дослідженні [11] визначалась працездатність силового гвинта опори причепа автомобіля – можлива втрата його стійкості. Проведене дослідження напружено-

деформованого стану у SolidWorks Simulation забезпечило якісно новий підхід до визначення стійкісних параметрів силового гвинта.

У роботі [12] досліджена можливість оптимізації важеля муфти зчеплення трактора, тобто зміна конструкції важеля для економії матеріалу (зменшення товщини ребра жорсткості). Встановлений коефіцієнт запасу міцності більше допустимого, а вага важеля зменшилась на 39%. Тобто, застосування SolidWorks Simulation дозволило оптимізувати конструкцію важеля й уникнути непотрібних витрат на зайвий матеріал.

Метою наукового дослідження [13] було статичне дослідження важеля приводу ручного гальма автомобіля МАЗ-200, а [14] – хрестовини карданної передачі автомобіля МАЗ-5336. Проведено розрахунки на міцність та отримана оцінка деформацій кожного елемента важеля та хрестовини, що дозволяє перейти до спрямованого проектування їх конструкції.

Таким чином, застосування SolidWorks викликає підвищений інтерес творчими задачами, можливістю перевірити свої знання й одержати кваліфіковану пораду. Крім цього, SolidWorks [1]:

- втягує студентів у навчальний процес;
- сприяє розкриттю їх здібностей та активізації розумової діяльності;
- збільшує можливості постановки задач і керування процесом їх виконання.

Список використаних джерел

1. Рудик О. Ю. SolidWorks як інноваційний засіб вивчення дисциплін автомобільного профілю / О. Ю. Рудик, О. В. Диха // "Системні технології" 3 (128) 2020. – С. 21-35. – Режим доступу: <https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st/article/view/178/92>
2. Рудик О. Впровадження SolidWorks у систему неперервної освіти [Електронний ресурс] / О. Рудик, Р. Андрійчук. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6466>
3. Боровик Л. В. Методичне впровадження CAD/CAE-систем у професійну підготовку інженера [Електронний ресурс] / Л. В. Боровик, О. Ю. Рудик, В. С. Боднарівський. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8417>
4. Borovyk O. V. Implementation in the educational process of the SolidWorks Simulation [Electronic resource] / O. V. Borovyk, O. Yu. Rudyk, V. M. Ganovskyi. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8767>
5. Рудик О. Ю. Застосування інформаційних технологій при дослідженні транспортних засобів / О. Ю. Рудик, Д. Л. Першко. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8559>
6. Рудик О. Підготовка висококваліфікованих фахівців автомобілебудування на базі застосування SolidWorks [Електронний ресурс] / О. Рудик, В. Посполіта. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/9297>
7. Rudyk O. Yu. CAD/CAE-systems in the research of motor vehicle details [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, V. O. Fasolia. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/10152>
8. Psol S. V. CAD/CAE-systems in the study of performance of the off-road differential [Electronic resource] / S. V. Psol, O. Yu. Rudyk, I. V. Korobka. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/10147>
9. Psol S. V. Impact of blow on the stability of details of wheeled machines [Electronic resource] / S. V. Psol, S. Gramenko, O. Yu. Rudyk. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/10147>
10. Rudyk O. Yu. Optimization of the steering bipod of the vehicle [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, V. V. Gerega, N. R. Tymchenko. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8857>
11. Rudyk O. Yu. Computer simulation of the tensely-deformed condition of a screw support trailers [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, O. O. Maslovskiy, S. S. Zhrebetskiy. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8852>
12. Рудик О. Ю. Навчальний експеримент на основі CAD/CAE-систем [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, В. М. Горошко, О. В. Максимчук. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8877>
13. Рудик О. Ю. Дослідження міцності важеля приводу ручного гальма автомобіля МАЗ 200 [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, В. Б. Самсонович. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8365>
14. Рудик О. Ю. Проектування деталей автомобілів у SolidWorks Simulation [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, А. В. Ружицький. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8363>

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ НАДАННЯ ПОСЛУГ ГРОМАДСЬКИМ ПАСАЖИРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ

**А.В. Олексюк, ст. гр. МНс-51,
В.П. Олексюк, доц., канд. техн. наук**
Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя, м. Тернопіль, Україна

На даному рівні розвитку пасажирських транспортних систем міст України доволі важливим завданням є стимулювання економічних, безпечних та екологічно чистих систем міських пасажирських видів транспорту, які мають орієнтир на права підприємств, що надають транспортні послуги, ринок та суспільство в цілому. Реорганізація та удосконалення транспортних систем для здійснення міських пасажирських перевезень вимагає не лише державних форм регулювання щодо роботи різних транспортних підприємств, а також і проведення обґрунтувань стосовно оптимізації їх діяльності з огляду на методи і засоби організації.

Мета проведених нами досліджень полягає у визначенні методу організації перевезень пасажирів громадським транспортом за показниками якості обслуговування.

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні задачі: дослідити критерії якості міських пасажирських перевезень; проаналізувати транспортну систему м. Тернополя за показниками якості; провести розрахунки інтегральної оцінки якості при здійсненні перевезень пасажирів за допомогою міського громадського транспорту; визначити закономірності впливу показників якості міських пасажирських транспортних систем.

При дослідженнях проведено аналіз МПТС, який дозволив виділити елемент системи, в якій формується якість обслуговування пасажирів; системний аналіз рейсів маршруту, що використовується для встановлення основних факторів, які чинять вплив на якість перевезень; методи математичної статистики – застосовано з метою встановлення середніх величин параметрів пасажирських потоків та їхнього оцінювання використовуючи вбудовані засоби СУБД; математичне моделювання – використано з метою розроблення математичної моделі, що відображає якість обслуговування пасажирів на маршрутах МПТС.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробці критерію якості автобусних міських перевезень та обґрунтуванні комплексу заходів щодо підвищення їх продуктивності у ринкових умовах. Проведено удосконалення методу із організації перевезення пасажирів за допомогою міського громадського транспорту використовуючи критерії якості обслуговування, базуючись на удосконаленій моделі враховуючи критерій якості, що містить обґрунтування певних значень базових критеріїв якості з огляду на певні умови, які відображають характер процесу перевезень. Крім того, визначено раціональний інтервал руху для кожного рейсу відповідних маршрутів, використовуючи кількісні оцінки для значень показників якості на кожній зупинці та усіх перегонах.

У роботі запропоновано та впроваджено нові організаційні заходи для підвищення ефективності використання автобусів на міських маршрутах із метою поліпшення комфорту поїздки, скорочення необхідного пасажиром часу на поїздки, збереження екології міст.

Список використаних джерел

1. Логачов Є.Г. Модель послідовних рейсів маршруту міської пасажирської транспортної системи / Є.Г. Логачов // Вісник Національного транспортного університету, ТАНУ. – 2003. Вип. 8. – С. 198-202.
2. Гілевська К.Ю. Удосконалення організації роботи автобусів на маршруті за критеріями якості / Є.Г. Логачов, К.Ю. Гілевська // International Scientific and Practical Conference "WORLD SCIENCE" (Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Modern Scientific Achievements and Their Practical Application (October 20–21, 2015, Dubai, UAE)"). – 2015. – 3(3), Vol.1. – PP. 63–67.

ТРАНСПОРТЕР З БЛОКОМ НАДВИСОКИХ ЧАСТОТ ДЛЯ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ, СУШІННЯ ТА ОБРОБЛЕННЯ ВІД ШКІДНИКІВ І ГРИБКІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТА ІНШИХ МАТЕРІАЛІВ

І.Б. Гевко, проф., д-р техн. наук,
А.С. Марценюк, ст. викладач,
В.Л. Дунець, канд. техн. наук,
Ю.Б. Паляниця, канд. техн. наук,
В.М. Бучинський, ст. гр. РРМ-51,
А.О. Брикса

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

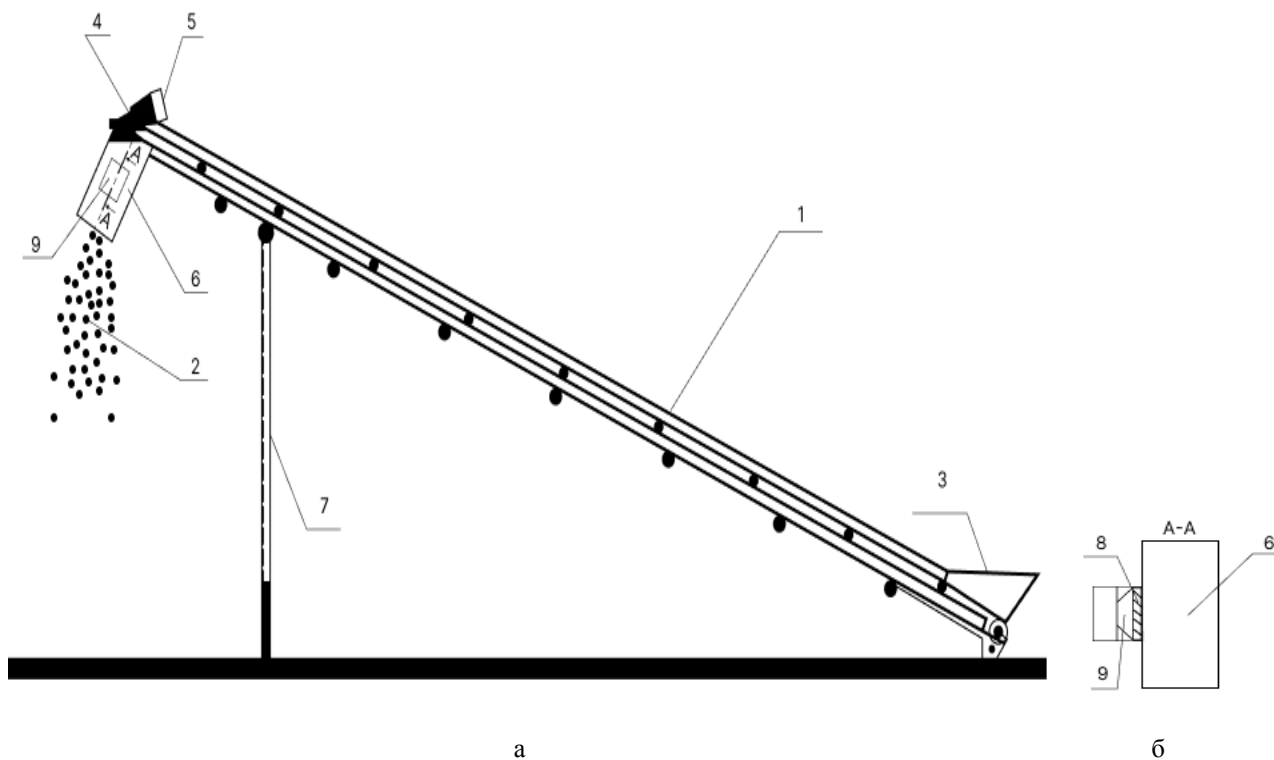
У сільськогосподарському виробництві широко використовуються процеси транспортування, сушіння та оброблення від шкідників і грибків сільськогосподарських та інших матеріалів [1, 2]. При цьому виконання даних операцій є енергозатратним і не завжди супроводжується високою якістю цих процесів. Відтак, з метою підвищення ефективності виконання додаткових супутніх операцій при транспортуванні сільськогосподарських та інших матеріалів, таких, як сушіння та оброблення від шкідників і грибків сільськогосподарських та інших матеріалів, нами розроблено транспортер з блоком надвисоких частот для перевантаження, сушіння та оброблення від шкідників і грибків сільськогосподарських та інших матеріалів.

Вплив надвисокочастотного випромінювання (НВЧ) випромінювання на біологічні об'єкти залежить від довжини хвилі, інтенсивності випромінювання, режиму опромінювання (безперервний або переривистий), тривалості його дії, а також комбінованої дії з іншими виробничими чинниками середовища (підвищена температура повітря, наявність рентгенівського випромінювання, шуму і ін.), які можуть змінювати опірність на дію електромагнітних полів (ЕМП). Найбільший вплив на біологічні об'єкти мають потужність поля і частота. У залежності від потужності розрізняють теплову (при відносно високих рівнях випромінюючого ЕМП) і нетеплову (при відносно низькому рівні) дію. Теплову дію можуть викликати ЕМП різної частоти. В НВЧ діапазоні перетворення енергії ЕМП в теплову пов'язано з діелектричними втратами та втратами провідності, що виникають за рахунок виділення в тканинах тепла індукованими в них іонними струмами. Частка діелектричних втрат в загальному поглинанні енергії ЕМП в тканинах зростає з частотою. Наприклад, втрати, пов'язані з релаксацією молекул води в тканинах, на частоті 1 ГГц складають близько 50% від загальних втрат, на частоті 10 ГГц – близько 90% і на частоті 30 ГГц – близько 98%.

В запропонованому транспортері з блоком надвисоких частот для перевантаження, сушіння та оброблення від шкідників і грибків сільськогосподарських та інших матеріалів частоту впливу на біологічні об'єкти вибрано в межах 3 ГГц. Це обумовлено найбільш ефективною дією і економічними показниками щодо виготовлення транспортера в цілому (доступність і дешевизна магнетронів з частотою генерації 3 ГГц).

Розроблений транспортер з блоком надвисоких частот для перевантаження, сушіння та оброблення від шкідників і грибків сільськогосподарських та інших матеріалів (рис. 1) виконано у вигляді транспортера 1 для транспортування сипких матеріалів 2. У нижній частині транспортера 1 закріплено завантажувальний бункер 3, а у верхній двигун 4 з блоком надвисоких частот 5, вивантажувальний патрубок 6 і регульовальну опору 7, що використовується для регулювання висоти підйому сипких матеріалів 2 при транспортуванні. Сам вивантажувальний патрубок 6 виконано діелектричним і до нього через слюдяну прокладку 8 відомим способом закріплено опромінювач 9.

Працює транспортер з блоком надвисоких частот для перевантаження, сушіння та оброблення від шкідників і грибків сільськогосподарських та інших матеріалів наступним чином. Сипкий матеріал 2 подається до завантажувального бункера 3, а з нього потрапляє в зону перевантаження транспортера 1, з якого через вивантажувальний патрубок 6 вивантажується. При цьому транспортер 1 приводиться в рух двигуном 4, як і блок надвисоких частот 5, який передає відповідний сигнал на опромінювач 9. Це забезпечує сушіння та оброблення від шкідників і грибків у вивантажувальному патрубку 6 сипкого матеріалу 2.



а – головний вигляд, б – вигляд по А-А

Рисунок 1 – Конструктивна схема транспортера з блоком надвисоких частот для перевантаження, сушіння та оброблення від шкідників і грибків сільськогосподарських та інших матеріалів

До переваг транспортера з блоком надвисоких частот для перевантаження, сушіння та оброблення від шкідників і грибків сільськогосподарських та інших матеріалів відноситься можливість виконання додаткових супутніх операцій при транспортуванні сільськогосподарських та інших матеріалів. При цьому, раціональну частоту впливу на біологічні об'єкти у конструкції даного транспортера вибрано в межах 3 ГГц, що обумовлено найбільш ефективною дією і економічними показниками.

Список використаних джерел

1. Перспективні гвинтові конвеєри: конструкції, розрахунок, дослідження / Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Гудь В. З., Дячун А. Є., Мельничук А. Л., Слободян Л. М. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. – 212 с.
2. Рогатинський Р.М. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : монографія / Р.М. Рогатинський, І.Б. Гевко, А.Є. Дячун – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 280 с.
3. Stytsenko T.E, Semenets V.V Analysis of electromagnetic and modeling of spurious radiation sources / T.E.Stytsenko, V.V.Semenets // Telecommunications and Radio Engineering. – 2016, Vol. 75, Issue 15. – P. 1385–1396.
4. Стиценко Т.Є. Системний підхід до інформаційного забезпечення охорони праці // Т.Є. Стиценко Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – 2012.– Вип. 59.– С. 155 – 157.

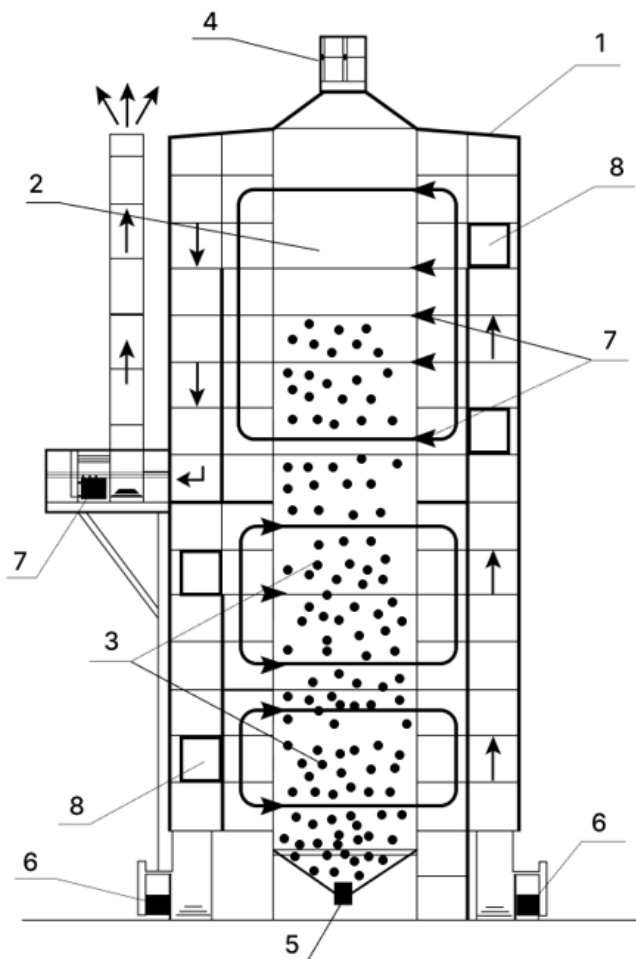
СУШИЛЬНА КАМЕРА З МІКРОХВИЛЬОВИМИ ОБ'ЄМНИМИ НАГРІВАЧАМИ

**І.Б. Гевко, проф., д-р техн. наук,
А.С. Марценюк, ст. викладач,
В.Л. Дунець, канд. техн. наук,
Ю.Б. Паляниця, канд. техн. наук,
В.М. Бучинський, ст. гр. РРм-51,
А.О. Брикса**

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

У сільськогосподарському виробництві широко використовуються процеси сушіння. Проте відомі конструкції є енергозатратними та не завжди у повній мірі забезпечують збереження якісних показників сільськогосподарських матеріалів при сушінні.

Відтак, нами розроблено конструкцію сушильної камери з мікрохвильовими об'ємними нагрівачами (рис. 1), яку виконано у вигляді корпусу 1, в центральній частині якого розташовано камеру обробки 2 матеріалів 3, яка у верхній частині з'єднана із завантажувальним патрубком 4, а у нижній з'єднана із вивантажувальним патрубком 5. У периферійній частині корпусу 1 розташовані мікрохвильові об'ємні нагрівачі 6 та припливно-витяжна вентиляція 7 з вентиляторами 8.



1 – корпус; 2 – камера обробки; 3 – матеріали; 4 – завантажувальний патрубок; 5 – вивантажувальний патрубок;
6 – мікрохвильові об'ємні нагрівачі; 7 – припливно-витяжна вентиляція; 8 – вентилятори
Рисунок 1 – Конструктивна схема сушильної камери з мікрохвильовими об'ємними нагрівачами

Працює сушильна камера з мікрохвильовими об'ємними нагрівачами наступним чином. Сипкий матеріал через завантажувальний патрубок 4 подається до камери обробки 2 матеріалів 3 корпусу 1. Далі вмикаються нагрівачі 6 та вентилятори 8. При цьому відбувається процес сушіння матеріалів 3 у камері обробки 2, а видалена із матеріалів волога видаляється у зовнішнє середовище через припливно-витяжну вентиляцію 7. Після завершення процесу сушіння матеріалів 3 у камері обробки 2 матеріали 3 через вивантажувальний патрубок 5 вивантажуються назовню.

До переваг сушильної камери з мікрохвильовими об'ємними нагрівачами відноситься зниження енерговитрат при сушінні сільськогосподарських та інших матеріалів і збереження ними якісних показників при сушінні.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАСТИЧНОСТІ КАРКАСУ КУЗОВА АВТОБУСА ПРИ ФРОНТАЛЬНОМУ УДАРІ

К.Е. Голенко¹, *викл., канд. техн. наук,*

Ю.І. Войчишин², *асп.,*

О.П. Бабак¹, *доц., канд. техн. наук,*

С.Ф. Посонський¹, *доц., канд. техн. наук,*

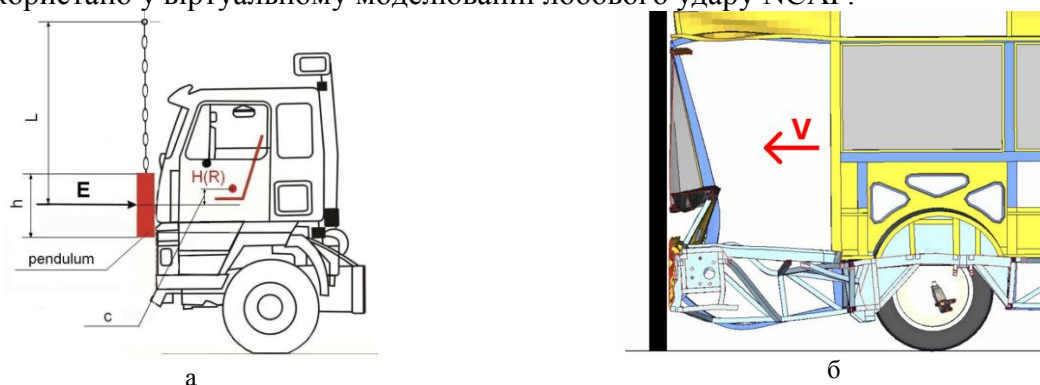
¹*Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна*

²*Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна*

Фронтальний удар (краш-тест) є важливим компонентом оцінки безпеки автобуса. Такого роду випробування імітують зіткнення транспортного засобу, коли його передня частина врізається в інший транспортний засіб або нерухому перешкоду. Останніми роками випробування на лобове зіткнення автобусів привернули значну увагу, особливо після серії аварій, що призвели до смертельних випадків і травм. Краш-тест на лобове зіткнення проводиться для оцінки здатності автобуса захистити пасажирів в салоні, поглинувши необхідну енергію. Процедура тестування передбачає контакт автобуса з жорсткий бар'єром на нормативно заданій швидкості. Коли справа доходить до лобових зіткнень, великі транспортні засоби, як правило, працюють краще, ніж машини малої ваги, оскільки кабіна водія розташована вище над зоною зіткнення. Додатковою причиною є фізика: транспортні засоби з більшою масою можуть поглинути більше енергії удару. Це особливо чітко прослідковується, порівнюючи результати деформації легкових та вантажних авто з один і там самим бар'єром. В результаті, на відміну від виробників легкових авто, більшість виробників вантажівок не включають зони деформації у свої конструкції.

Наступні два стандарти безпеки широко використовуються для оцінки того, чи може конструкція витримувати ударне навантаження: Правила ЄЕК ООН №. 29 (ЄЕК ООН R29) (рис.1а) і Програма Оцінки Нових Автомобілів (NCAP) (рис.1б). Відповідно до Правил ЄЕК ООН №. 29, які розповсюджуються на транспортні засоби з повною масою 7500 кг або більше, енергія удару від маятника повинна становити 55 кДж (рис.1а). Між конструкцією та приводом не повинно бути контакту, щоб переконатися, що конструкція відповідає вимогам регламенту. Зважаючи на це, слід використовувати манекен, який описано в R29 [3,4].

Під час випробувань на лобовий удар у рамках (NCAP), проведених Національною Адміністрацією Безпеки Дорожнього Руху (NHTSA), тестовий транспортний засіб рухається в напрямку до жорсткої стіни зі швидкістю 56 км/год перпендикулярно до її поверхні (рис.1б). У цьому дослідженні манекен аналогічного розміру, який використовується в R29, буде використано у віртуальному моделюванні лобового удару NCAP.



а – Правила ЄЕК ООН № 29 [1], б – NCAP [2]

Рисунок 1 – Крайові умови випробувань на фронтальний краш-тест

Перед моделюванням проводиться серія випробувань матеріалу по визначенню межі текучості, щоб отримати точні значення напружень, після досягнення котрих починаються пластичні деформації. Екстензіометр використовується як вимірювальний прилад для фіксації пружної та пластичної деформації в межах калібрової довжини. Взаємозв'язки між напруженням і деформацією металевих матеріалів можна описати моделлю Джонсона-Кука (Johnson-Cook) в умовах великої деформації, високої швидкості деформації та підвищених температур (якщо такі спостерігаються). Потік напружень визначаються за наступним рівнянням:

$$\sigma = (A + B\varepsilon^n)(1 + C \cdot \ln \dot{\varepsilon}^*)(1 - T^{*m}), \quad (1)$$

де: σ – еквівалентне напруження; ε – еквівалентна пластична деформація; A – межа текучості матеріалу за нормальних умов, B – константа деформаційного зміцнення, n – коефіцієнт деформаційного зміцнення, C – коефіцієнт зміцнення швидкості деформації, m – коефіцієнт термічного розм'якшення.

Три компоненти в дужках у рівнянні (1) представляють, зліва направо, ефект зміцнення деформації, ефект зміцнення швидкості деформації та ефект температури, який впливає на значення потоку напружень [4]. У моделі потоку напружень $\dot{\varepsilon}^*$ і T^* є наступні складові:

$$\dot{\varepsilon}^* = \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_{ref}}, \quad T^* = \frac{T - T_{ref}}{T_m - T_{ref}}, \quad (2)$$

де: $\dot{\varepsilon}^*$ – безрозмірна швидкість деформації; T^* – гомологічна температура; T_m – температура плавлення матеріалу, а T – температура деформації; $\dot{\varepsilon}_{ref}$ і T_{ref} є еталонною швидкістю деформації та еталонною температурою деформації відповідно [4].

Джонсон і Кук запропонували теорію, згідно котрою деформація руйнування зазвичай залежить від співвідношення тривісності напружень, швидкості деформації та температури. Модель руйнування можна записати наступним чином:

$$\varepsilon_f = [D_1 + D_2 \exp(D_3 \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_{eq}}\right))] [1 + D_4 \ln(\dot{\varepsilon}_p^*)] [1 + D_5 T^*], \quad (3)$$

де від D_1 до D_5 – константи моделі пошкодження; σ_m – середнє напруження; σ_{eq} – еквівалентне напруження [4]. Пошкодження елемента визначається на основі закону сукупної деформації, і його можна представити лінійним способом, як показано нижче:

$$D = \sum \left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon_f} \right), \quad (4)$$

де: $\Delta \varepsilon$ – еквівалентний приріст пластичної деформації; ε_f – еквівалентна деформація до руйнування за поточних умов напруги, швидкості деформації та температури.

Внаслідок виникнення руйнування міцність матеріалу під час деформації знижується, а зв'язок напружень з деформаціями пошкодження можна виразити як [5]:

$$\sigma_D = (1 - D) \sigma_{eq}, \quad (5)$$

де: σ_D – напруження пошкодженого стану, а D – параметр пошкодження, ($0 \leq D < 1$).

В рамках наших досліджень проаналізовано стан каркасу кузова міського автобуса ВАТ "Укравтобуспром" моделі 4289 у середовищі LS-DYNA Ansys, де заздалегідь було закладено показники σ відповідно до межі міцності та текучості матеріалу виготовлення (рис.2).

До крайових умов розрахунку моделі автобуса належать:

- жорсткість стіни та підлоги, з котрими контактує автобус (для виключення фактору поглинання плитою енергії удару виставлено абсолютне значення жорсткості – rigid);
- швидкість руху досліджуваного автобуса (56 км/год);

- прикладання розподілених мас до каркасу кузова автобуса від вузлів та агрегатів відповідно до їх фактичного положення;
- фізико-механічні властивості матеріалу каркасу кузова та час експерименту (1 с).

Property	Value	Unit
Material Field Variables	Table	
Density	7850	kg m ⁻³
Isotropic Elasticity		
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio	
Young's Modulus	2E+11	Pa
Poisson's Ratio	0.3	
Bulk Modulus	1.6667E+11	Pa
Shear Modulus	7.6923E+10	Pa
Isotropic Thermal Conductivity	60.5	W m ⁻¹ C ⁻¹
Specific Heat Constant Pressure, C _p	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹

Рисунок 2 – Фізико-механічні властивості Structural Steel (LS-DYNA Ansys)

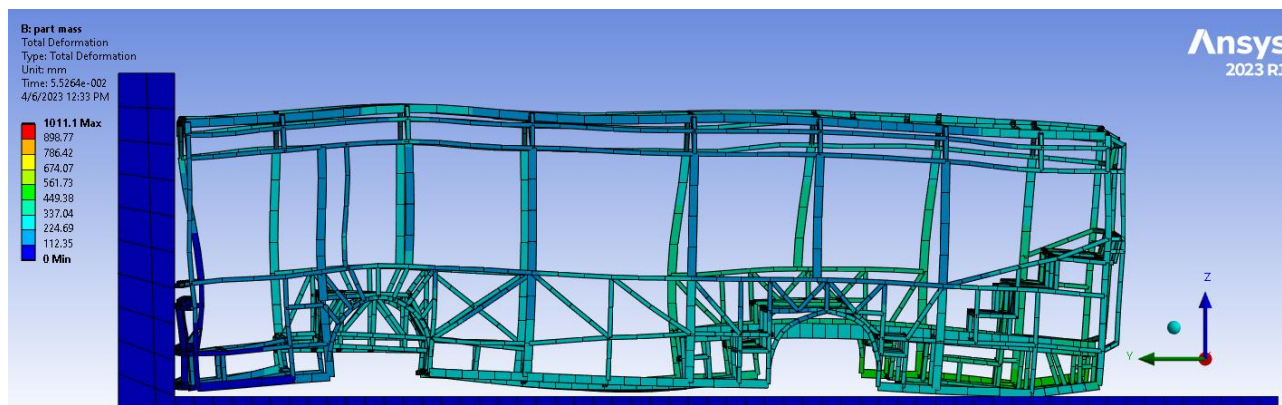


Рисунок 3 – Моделювання фронтального удару автобуса у середовищі LS-DYNA Ansys

За результатами моделювання фронтального удару автобуса у середовищі LS-DYNA Ansys є можливість отримати масу показників [6]: деформації у фронтальній частині автобуса (рис.3); переміщення у критичних точках (положення манекена); пришвидження, що виникають в областях ніг, голови тощо; величину енергії поглинання удару; коефіцієнт запасу міцності та інші показники [7].

Список використаних джерел

1. Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the protection of the occupants of the cab of a commercial vehicle. ECE - United Nations. Regulation No. 29. E/ECE/324/Rev.1/Add.28/Rev.2 E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.28/Rev.2
<https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/R029r2e.pdf>
2. Sandor Vincze-Pap, Andras Csiszar. (2005). Real and simulated crashworthiness tests on buses. 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Paper No.: 05-0233, DOT HS 809 825, Washington, D.C. <https://www-esv.nhtsa.dot.gov/Proceedings/19/05-0233-W.pdf>
3. Lopes, Rogério & Viriato, Nuno & Cunha, Rafael & Maia, Ricardo & Rodrigues, Rui & Parente, Marco & Moreira, Pedro. (2023). Passive Safety Solutions on Coach according ECE R29: Experimental and Numerical analyses. *Procedia Structural Integrity*. 42. 10.1016/j.prostr.2022.12.148.
4. Murugesan M., Lee S., Kim D., Kang Y.H., Kim N. A Comparative Study of Ductile Damage Models Approaches for Joint Strength Prediction in Hot Shear Joining Process. *Procedia Eng.* 2017;207:1689–1694. doi: 10.1016/j.proeng.2017.10.923.
5. Banerjee A., Dhar S., Acharyya S., Datta D., Nayak N. Determination of Johnson cook material and failure model constants and numerical modelling of Charpy impact test of armour steel. *Mater. Sci. Eng. A*. 2015;640:200–209. doi: 10.1016/j.msea.2015.05.073.
6. Lopes, Rogério & Vasheghani Farahani, Behzad & Parente, Marco & Viriato, Nuno & Moreira, Pedro & Cunha, Rafael & Costa, André & Maia, Ricardo & Rodrigues, Rui. (2022). FEM Modelling of Passive Safety Solutions for Buses. 10.13140/RG.2.2.23234.25285.
7. Jongpradist, Pattaramon & Saingam, Napassakorn & Tangthamsathit, Ploypimol & Chanpaibool, Panittha & Sirichantra, Jariyavadee & Aimmanee, Sontipee. (2022). Crashworthiness analysis and design of a sandwich composite electric bus structure under full frontal impact. *Heliyon*. 8. e11999. 10.1016/j.heliyon.2022.e11999.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ

Н.В. Лавренчук, студент магістратури

О.О. Банний, доц., канд. техн. наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

Якість покриттів залежить від ряду елементів: якість обладнання для плазменного напилення; якість підготовки поверхні деталей для напилення; якість нанесеного матеріалу; якість робочих газів і т.д.

Вивчення та аналіз результатів робіт [1], дали розуміння того, що існують режимні, кінематичні та зовнішні керуючі фактори, що мають вплив на якість формованого покриття при плазмоні напилюванні.

Вихід із вище перерахованих керуючих факторів, контроль і управління якістю плазменних покриттів створюються шляхом регулювання технологічних режимів напилення.

Основним показником, що визначає якість покриття, є міцність скріплення покриття з основою. Незадовільна міцність зчеплення може бути наслідком таких причин [2]: неякісна підготовка до процесу напилення (стан поверхні деталей, якість напилювальних матеріалів, якість і функціональні можливості обладнання для напилення); наявність конденсату на поверхні деталей; низька сумісність підкладки і матеріалу, що наноситься в температурних умовах напилення.

На рисунку представлені основні способи підвищення величини міцності скріплення нанесеного шару з підложкою [2].



Рисунок - Методи підвищення міцності зчеплення

Слід зазначити, що зі збільшенням потужності, що подається на плазмову структуру, розміри елементів сформованого покриття починають зменшуватися, що супроводжується утворенням нанокластерів, однак при збільшенні часу обробки (напилення) розміри деталей структурних елементів покриття починають збільшуватися [3].

Тем не менше зі збільшенням потужності джерела напилення складно спрогнозувати зміни параметрів фізико-механічного композитного матеріалу, з якого формується покриття.

Збільшення потужності джерела напилення може призвести, як і до поліпшення якості поверхневого шару покриття, так і до його погіршення, особливо за показниками шорсткості, когезії та міцності скріплення покриття з основою.

В роботі [4] проводилися дослідження щодо отримання відповідного процесу плазменного напилення параметрів з накладенням ультразвуку. За результатами роботи були отримані необхідні властивості покриття. При цьому однорідність мікрорельєфу сформованого покриття виросла в кілька разів у порівнянні з ідентичними нанесеними покриттями тим же технологічним способом.

Однак в даній роботі не розглядалося вплив ультразвуку на міцність скріплення покриття з основою. Також варто відзначити, що при накладенні ультразвуку при плазменном напилюванні необхідно провести уточнений розрахунок кінематичних режимів процесу, прогнозування кутів відхилення плазменного струму від траєкторії руху інструменту, а також визначення номінального розташування джерела розповсюдження ультразвукових хвиль.

В роботах [5, 6] досліджено комбінований спосіб нанесення захисних покриттів на поверхню деталей. Зокрема, проводився аналіз теплових потоків при спільному плазменному та електроерозійному зміцненні. Даний спосіб укріплення досліджено з метою оцінки можливості перерозподілу теплової енергії з підвищенням експлуатаційних властивостей покриття.

Все це варто враховувати, що при підвищенні товщини покриття відбувається збільшення внутрішніх напруг і зменшення величини міцності скріплення покриття з основою, що призводить до руйнування покриття в ході активної експлуатації деталі. Крім того, при спільному електроерозійному і плазмено-променевому процесі [7] необхідно зробити можливі фізико-механічні зміни композиційного покриття, що також дуже корисно.

Як зазначено в роботах [8, 9], частина композитних частинок наноситься на поверхню основи в не проплавленому стані і утримується на поверхні деталей лише за рахунок пластикових частинок. Повністю розплавлені частки осідають не тільки за принципом "частка-основа", але і за схемою "частка-частина". Таким чином, створення композитного покриття спряжено з появою мікропустот, які в ході формування заповнюються газом, що покращує властивості в границях шарів.

Причиною даного ефекту є виразний зміст наповнювача в матриці композитного матеріалу [10]. Отже, виникає необхідність у розробці алгоритму визначення необхідної концентрації наповнювача в складі матриці композитного матеріалу з урахуванням процентного вмісту всіх інших компонентів.

Проведений аналіз існуючих методів підвищення якості покриття, зроблений висновок про те, що поліпшення властивостей матеріалу напилення можна лише при комплексному підході впливу на технологічні режими напилення. Для підвищення якості покриття необхідно: створити підбір раціонального складу композитного матеріалу напилення, а також назначити необхідні технологічні режими напилення.

Список використаних джерел

1. Смирнов І.В. Модифікування плазмово-напиених покриттів застосуванням плакованих та нанодисперсних порошків / І.В. Смирнов, М.А. Долгов, А.В. Черний, В.К. Фурман, І.А. Селіверстов // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". Луцьк. – 2015. – Випуск № 51. – С. 199-204.
2. Фурман В.К. Дослідження впливу домішок нанопорошку оксиду алюмінію на зносостійкість плазмових покриттів/ В.К. Фурман, А.В. Чорний, І.В. Смирнов// Міжнародний науковий журнал "Проблеми трибології". Хмельницький. – 2016. – №1. – С. 100-104. 20 ISSN 03702197 Проблеми тертя та зношування, 2017, 1 (74)
3. Князьков К.В. Регулируемое упрочнение в процессе плазменно-порошковой наплавки бронзы модифицированной наноразмерными частицами / Князьков К.В., Радченко М.В. и др. // Ползуновский альманах. - 2012. - № 1 - С. 184-186.
4. Mazaheri Y. Development of Al356–Al2O3 nanocomposite coatings by high velocity oxy-fuel technique / Mazaheri Y, Karimzadeh F, Enayati M.H. // J. Mater. Sci. Technol. - 2013. - V.29, No9. - P. 813-820.
5. Смирнов І.В. Підвищення властивостей плазмово-напиених самофлюсівних покриттів застосуванням

нанодисперсних компонентів / І.В. Смирнов, А.В. Чорний, В.К. Фурман, І.А. Селіверстов, Г.Н. Троцан // Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції "Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем", Чернігів, 19 - 22 травня. – 2015. – С. 198-199.

6. Шагів О.С. Підвищення експлуатаційних властивостей плазмових покриттів з застосуванням нанопорошків / О.С. Шагів, В.К. Фурман, А.В. Чорний, І.В. Смирнов / X всеукраїнська науково-технічна конференція "Досконалість зварювання - комплексний підхід". – Київ, НТУУ "КПІ", 2016. – с. 3.
7. Бурда М.Й. Основи технології підвищення зносостійкості та відновлення деталей: Конспект лекцій. Частина 1. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. – 245 с.
8. Пашенко В.М., Кузнецов В.Д. Керування процесом формування потоку плазми в технологіях інженерії поверхні застосуванням обертального магнітного поля / Вісник національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут", серія Машинобудування. – №61, – 2011. – С. 164-167.
9. Фомічов С.К. Мікроструктура та трибокорозійні властивості залізоалюмінієвих плазмових покриттів / С.К. Фомічов, І.В. Смирнов, А.В. Чорний // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів: В 2-х т. Спецвипуск журналу "Фізико-хімічна механіка матеріалів". – №10. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Картонка НАН України, 2014, – Т.1. – С. 75-79.
10. Шиліна О.П. Газотермічні методи напилювання покриттів. Навчальний посібник / О.П. Шиліна, А.Ю. Осадчук., – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 103 с.

МЕХАНІКА РУЙНУВАННЯ ДЕФОРМОВАНОЇ СТАЛІ ПРИ ЗНОШУВАННІ ТЕРТЯМ КОВЗАННЯ ОБ МОНОЛІТ АБРАЗИВУ

В. І. Дворук, проф., д-р. техн. наук,

І. О. Бучко, асп.,

М.О. Кіриєнко, асп.

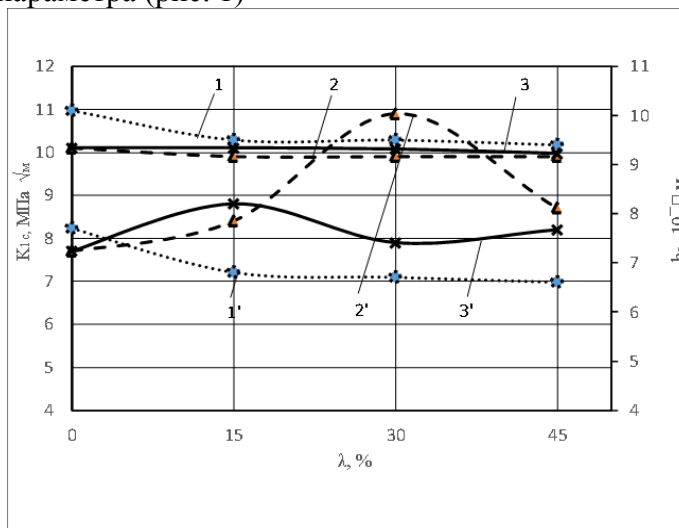
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

Аналіз відомих на сьогодні результатів лабораторних досліджень переконливо свідчить про те, що обробка деформуванням не впливає на зносостійкість сталей при зношуванні тертям ковзання об моноліт абразиву. Міцнісне підґрунтя механізму зношування, а, отже, зносостійкість деформованих сталей за даних умов контролюється реологічним параметром

$$R = \frac{K_{1c}}{h_n} \quad (1)$$

де K_{1c} – в'язкість руйнування; h_n , - товщина деформованого шару який є характеристикою опору зародження й розповсюдження підповерхневих тріщин на межі деформованого шару, утвореного областями нелінійних ефектів біля кінців тріщин з пружно деформованим шаром зношуваної поверхні.

Встановлено, що, так саме як зносостійкість, реологічний параметр не залежить від методу та режиму зміцнення сталі деформуванням. Однак належного пояснення цей факт досі не отримав, у зв'язку з чим нами досліджено зміну реологічних властивостей сталі 40ХНМА, а саме в'язкості руйнування K_{1c} та товщини деформованого шару h_n , які входять до складу реологічного параметра (рис. 1)



1', 2', 3' – товщина деформованого шару h_n після ХТО, НТМО, ВТМО

Рисунок 1 – Залежність в'язкості руйнування і товщини деформованого шару від ступеня деформації сталі 40ХНМА: 1, 2, 3 - в'язкість руйнування K_{1c} після ХТО, НТМО, ВТМО

Видно, що зміцнення дослідженими методами обробки деформуванням сприяло зниженню K_{1c} . Найбільшою мірою це спостерігалось після ХМО, а найменшою – ВТМО. Щодо h_n , то після ХМО відбувалось її монотонне зниження, а НТМО та ВТМО – немонотонне зростання. Причому після НТМО зростання h_n було більшим, ніж після ВТМО. Отже, незмінність реологічного параметра R деформаційно зміцненої сталі може мати місце, як при паралельній, так і при антипаралельній зміні K_{1c} і h_n . Незважаючи на такі

відмінності, на особливу увагу заслуговує той факт, що зміни K_{1c} і h_n відбувались майже з однаковою інтенсивністю при всіх методах та режимах обробки деформуванням (табл. 1).

Таблиця 1 – Залежність інтенсивності зміни реологічних властивостей сталі 40ХНМА від виду та режиму обробки деформуванням.

Вид деформації	Вид обробки	Ступінь деформації, %	Інтенсивність зміни $K_{1c}, \frac{K_{1c \text{ вих}}}{K_{1c \text{ деф}}}^*$	Інтенсивність зміни $h_n, \frac{h_n \text{ вих}}{h_n \text{ деф}}^{**}$
Холодна деформація	Холодна механічна обробка (ХМО)	0	1	1
		15	1,06	1,13
		30	1,07	1,15
		45	1,08	1,16
Тепла деформація	Низькотемпературна термомеханічна обробка (НТМО)	0	1	1
		15	1.02	0.92
		30	1.02	0.71
		45	1.02	0.9
Гаряча деформація	Високотемпературна термомеханічна обробка (ВТМО)	0	1	1
		15	1	0,86
		30	1	0,97
		45	1,02	0,94

* - $K_{1c \text{ вих}}$ – критичний коефіцієнт інтенсивності напружень сталі, зміцненої термічною обробкою;

** - $h_n \text{ вих}$ - товщина деформованого шару сталі, зміцненої термічною обробкою.

Ймовірніше за все, саме цим пояснюється незмінність реологічного параметру, а, разом з ним, зносостійкості сталі в умовах, що розглядаються.

Зародження й розповсюдження бокових тріщин відбувається в результаті дії полів залишкових напружень під час навантаження та після розвантаження металу. Проведені дослідження показали що на поверхні зношених зразків формуються залишкові напруження розтягу, які мають деструкційну природу. З підвищенням твердості сталі залишкові напруження зростали; найбільші напруження зафіксовано на поверхні зразків, зміцнених ХМО, а найменші – ВТМО (рис. 2). Така закономірність простежувалась при всіх режимах деформування (рис. 3).

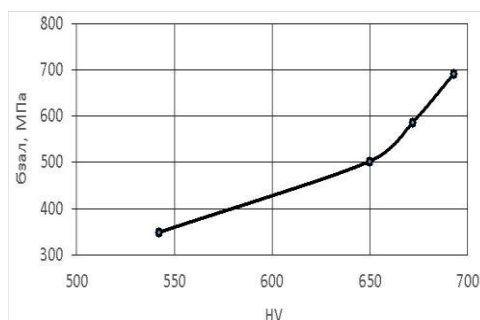


Рисунок 2 – Залежність залишкових напружень від твердості деформованої сталі 40ХНМА

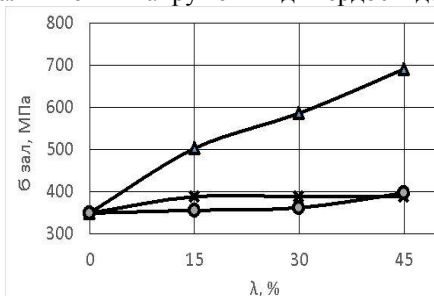
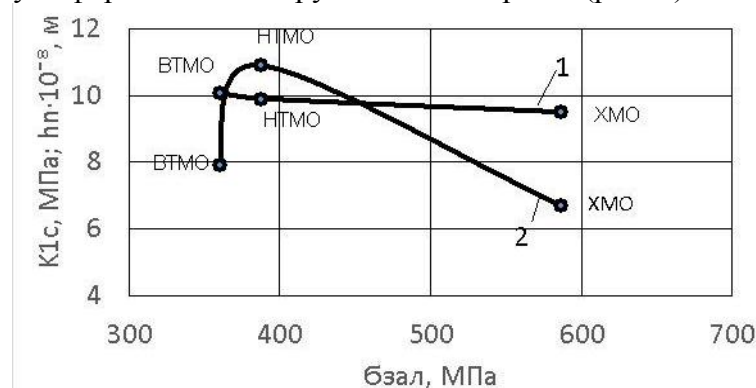


Рисунок 3 – Залежність залишкових напружень від ступеня деформації сталі 40ХНМА:

Δ - ХМО; × - НТМО; ○ - ВТМО

Підвищений рівень залишкових напружень, як правило, свідчив про низьку в'язкість руйнування й товщину деформованого шару зношеного зразка (рис. 4).



1 – в'язкість руйнування $K_{1с}$; 2 – товщина деформованого шару h_n

Рисунок 4 – Залежність в'язкості руйнування і товщини деформованого шару від ступеня деформації при різних видах обробки деформуваним сталі 40ХНМА:

Обробка деформуванням супроводжувалась підвищенням питомого об'єму зразків (рис. 5), що пояснюється збільшенням розмірів та концентрації тріщиноподібних дефектів кристалічної будови в них.

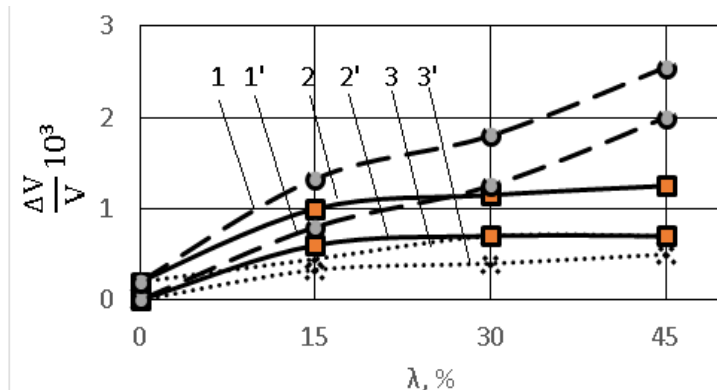


Рисунок 5 – Залежність питомого об'єму від ступеня деформації сталі 40ХНМА після ХМО – 1', НТМО – 2', ВТМО – 3' та після зношування ХМО -1, НТМО – 2, ВТМО -3

Найбільше зростання питомого об'єму зразків спостерігали після ХМО, а найменше – ВТМО. Зношування зміцнених зразків сприяло подальшому зростанню їх питомого об'єму.

Основною ознакою якісної картини зношування попередньо деформованого зразка були дрібні подряпини, що орієнтовані в напрямі руху абразиву по відношенню до поверхні. Подряпини утворювались в результаті деформування та мікрорізання металу абразивом. Частинки зносу, при цьому, представляли собою порошкоподібну мікростружку. При всіх видах та режимах обробки форма частинок зносу була близькою до пластинчастої розміру порядку 20 мкм, що практично не відрізнявся від розміру частинок зносу термічно зміцненої сталі.

Оскільки після зміцнення деформуванням зростання довжини вихідних тріщин супроводжувалось відповідною зміною (збільшенням або зменшенням) товщини деформованого шару (рис. 1), цей факт можна пояснити незмінністю сумарних розмірів довжин тріщин й товщин прилеглих до них деформованих зон порівняно з термічно зміцненою сталлю.

Таким чином, ефекти зміцнення сталей можна умовно поділити на дві групи:

1. зміцнення, що складається у збільшенні опору пластичному деформуванню, яке оцінюється за підвищенням міцнісних характеристик;
2. зміцнення, що складається у збільшенні опору руйнуванню, яке оцінюється за підвищенням реологічного параметра.

З викладеного вище можна зробити висновок, що деформаційне зміцнення відноситься до ефектів першої групи. Тому його доцільно застосовувати для підвищення твердості й об'ємної міцності сталі 40ХНМА. Причому, залежно від експлуатаційних вимог до неї, перевагу слід надавати різним видам обробки. Так, у разі необхідності забезпечити високу твердість HV і границю міцності σ_b може бути рекомендовано ХМО, в'язкість руйнування K_{1c} – ВТМО, товщину деформованого шару h_n - НТМО. Однак для підвищення зносостійкості ε при терті ковзання по моноліту абразиву застосування деформаційного зміцнення є недоцільним. В цьому випадку слід застосовувати технологічні методи, що одночасно забезпечують реалізацію двох вказаних ефектів зміцнення, як, наприклад, термічна обробка. Але найдоцільнішими виявились методи, за допомогою яких реалізуються ефекти зміцнення другої групи, як, наприклад, армування сталі твердими сплавами.

FORMATION OF MACHINE TIME BETWEEN THE MOMENTS OF REQUIREMENTS OF GRAIN HARVESTERS COMBINE

I.M. Nichay, *post graduate student*

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, c. Kyiv, Ukraine

It has been established that, in the general case, in the computer time reference system, the flow of requirements for maintenance and repair of machines is a non-stationary Poisson flow. For such a flow, a formula is known that allows one to determine the probability density of a random time interval between adjacent events [1], which can be written as follows:

$$f(t_{ni}) = \Lambda_0(\bar{m}_{i-1} + t_{ni}) e^{N(\bar{m}_{i-1}) - N(\bar{m}_{i-1} + t_{ni})}, \quad (1)$$

where $f(t_{ni})$ – the probability density of the time interval distribution t_{ni} ;

t_{ni} – the time interval between the moments of occurrence $(i-1)$ -th and i -th requirements.

The determination of the probability density of the distribution of a random time interval t_{ni} by this formula is greatly simplified if we assume that the failure rate changes discretely only at the moments of the requirements, remaining unchanged over the time interval t_{ni} . Such an assumption can be made with a large number of vehicles in the fleet and short overhaul periods [2]. Thus, for flows of high intensity, in the general case, we write:

$$f(t_{ni}) \cong \Lambda_0(\bar{m}_{i-1}) e^{\Lambda_0(\bar{m}_{i-1}) t_{ni}}, \quad (2)$$

and for stationary flows

$$f(t_{ni}) = \Lambda_0 e^{-\Lambda_0 t_{ni}}, \quad (3)$$

In formulas (1)-(3) $\Lambda_0(\bar{m})$ – the intensity of the total flow of requirements for maintenance and repairs of all types. This intensity is:

$$\Lambda_0(\bar{m}) = \Lambda_{T,3}(\bar{m}) + \Lambda_1(\bar{m}) \quad (4)$$

where $\Lambda_{T,3}(\bar{m})$ – the intensity of current application repairs;

$\Lambda_1(\bar{m})$ – the intensity of preventive maintenance, characterized by a minimum volume.

This implies that more labor-intensive technical impacts are performed not additionally [3], but in necessary cases instead of some of those taken into account in formula (4).

Knowledge of the law of distribution of time intervals between the moments of occurrence of the next requirements makes it possible to generate their random realizations on the computer t_{ni} . With a known value of the initial moment of computer time m_0 this makes it possible to sequentially form the moments of occurrence of all subsequent requirements according to the formula:

$$\bar{m}_i = \bar{m}_{i-1} + t_{ni}, \quad i = 1, 2, 3 \dots \quad (5)$$

However, in order to model the processes of technical operation of the machine park, in addition to the moment of occurrence of each requirement, it is necessary to know for which type of maintenance or repair at each moment of time the requirement is presented. With the assumption made, it is natural to assume that the requirement relates to the maintenance or repair ξ of the species with a probability defined $P_i(\xi)$, as follows:

$$P_i(\xi) = \frac{\Lambda_\xi(\bar{m}_{i-1})}{\Lambda_0(\bar{m}_{i-1})}, \quad (6)$$

In this case $\Lambda_{\xi}(\bar{m}_{i-1})$ it is determined by one of the formulas, corresponding to the type of technical impact ξ :

$$\Lambda_i(\bar{m}) = \sum_{j=1}^b z_{ij} \sum_{n=1}^{m_0} \frac{1}{1 - \Phi\left(\frac{m_{0j} - \alpha \bar{r}}{\alpha \vartheta_r \bar{r}}\right)} \left[\frac{k_{mj}}{\sqrt{\vartheta_m^2 \bar{m}^2 k_{mj}^2 + \alpha^2 \vartheta_r^2 \bar{r}^2}} - \right. \\ \left. - \frac{k_{mj}^2 \vartheta_m^2 \bar{m} (m_{0j} + k_{mj} \bar{m} - \alpha \bar{r})}{\sqrt{(\vartheta_m^2 \bar{m}^2 k_{mj}^2 + \alpha^2 \vartheta_r^2 \bar{r}^2)^3}} \right] \times \varphi \left(\frac{m_{0j} + k_{mj} \bar{m} - \alpha \bar{r}}{\sqrt{\vartheta_m^2 \bar{m}^2 k_{mj}^2 + \alpha^2 \vartheta_r^2 \bar{r}^2}} \right). \quad (7)$$

References

1. Rogovskii I. L., Titova L. L., Voinash S. A., Sokolova V. A., Tarandin G. S., Polyanskaya O. A. Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines. [IOP Conference Series: Earth and Environmental Science](#). 2021. Vol. 677. P. 022100. doi:10.1088/1755-1315/677/2/022100.
2. Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3 (5(105)). P. 19-29. doi:10.15587/1729-4061.2020.206073.
3. Voinalovych O., Hnatiuk O., Rogovskii I., Pokutnii O. Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. *Engineering for Rural Development*. 2019. Vol. 18. P. 563-269. doi:10.22616/ERDev2019.18. N245.

ENTROPY MODELING OF STOCHASTIC SYSTEMS OF SMART TECHNOLOGIES FOR GRAIN HARVESTERS COMBINE

O.V. Velgas, *post graduate student*

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, c. Kyiv, Ukraine

Complex systems in different industries, as a rule, have a stochastic behavior and are multidimensional [1]. Such complex stochastic systems S can be represented as a multidimensional continuous random variable $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$ having some joint probability density $p_Y = (x_1, x_2, \dots, x_m)$. Each component Y_j of this random vector Y is a one-dimensional random variable that characterizes the functioning of the corresponding element of the system S . The elements of Y_j can be both interdependent and independent of each other [2].

The advantages of statistical mapping of complex systems and processes in comparison with analytical methods can be explained by the fact that in this case the formulation of the problem is simplified. Instead of time-consuming and not always possible identification and study of all deterministic relationships between the elements of a complex system, based on a selective study, we obtain statistical patterns and then extend them to the behavior of the system as a whole. However, to obtain a statistical pattern, it is required to form a representative sample and justify the validity of the use of statistical inferences. Otherwise, the use of statistical methods may lead to incorrect results.

K. Shannon in his work "A Mathematical Theory of Communication" obtained a formula for estimating the uncertainty of code information in a discrete case in communication channels, called Shannon's information entropy:

$$H_I = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (1)$$

where p_i is the probability of occurrence of the i -th character in a code containing n characters, $\sum_{i=1}^n p_i = 1$.

In addition, K. Shannon in the same paper, heuristically proposed a formal analogue of the concept of information entropy for an m -dimensional continuous random variable Y with distribution density $p_Y = (x_1, x_2, \dots, x_m)$:

$$H(Y) = - \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} p_Y(x_1, x_2, \dots, x_m) \log p_Y(x_1, x_2, \dots, x_m) dx_1 \dots dx_m. \quad (2)$$

This value was subsequently A.N. Kolmogorov together with I.M. Gelfand and A.M. Yaglom called it differential entropy [3].

The use of another term emphasizes that expression (2) has a different meaning than the information entropy of discrete distributions (1). The base of the logarithm in (2) must be greater than one. Its choice determines the unit of measure for the corresponding amount of information. In information theory, the binary logarithm is often used, which corresponds to the unit of the amount of information bits, and the functional itself is interpreted as the average information of a continuous source. In mathematical statistics, in the definition of differential entropy, for reasons of convenience, the natural logarithm is usually used, the functional is interpreted as a measure of the uncertainty of a continuous distribution. Since further aspects of modeling stochastic systems are considered, we will use the natural logarithm as the basis. We also note

Formula (2) is also a statistical expression for entropy. An important feature of this formula is that formula (2) characterizes exclusively the probabilistic properties of the phase space. Thus, it is applicable in all systems in which the concept of probability is defined.

Entropy turned out to be especially valuable in information theory, K. Shannon himself defined the quantity (1) as playing a central role in information theory as a measure of the amount

of information, choice and uncertainty. Information entropy (1) is often used to model complex systems of various nature. The use of information entropy for modeling multidimensional stochastic systems, as noted in [2], faces several serious difficulties, namely:

1. The calculation of the information entropy by formula (1) requires an estimate of the probabilities p_i of the elementary states of the system. This requires large samples to ensure sufficient accuracy of the entropy calculation.

2. Difficulties often arise, both with the unambiguous selection of a fixed finite set of states in a complex system that has an infinite number of states, and with the fact that some states may not be known in advance at all.

3. Information entropy is not designed for the case of multidimensional systems. Therefore, it is difficult to model the relationships between the elements of the system. And the lack of the possibility of adequate modeling of interrelations leads to the problem of choosing an entropy criterion for the efficiency of the functioning of open systems. After all, their entropy can both increase and decrease. Typically, the efficiency criterion is set on the basis of other general assumptions that do not take into account the actual state of the system.

4. Information entropy does not take into account changes in the dispersion of the process under study.

5. Formula (1) does not allow explaining the presence of negentropy.

6. There is a difference in the scales of entropy and information associated with their fundamental difference, since entropy is a measure of the set of those states of the system that the system must forget about being in, and information is a measure of the set of those states that the system must remember about being in [2].

7. Information entropy is of little use for modeling, because it is not clear how to connect the probabilities used in its description with the elements of the system and the connections between them.

The result of this is that the existing adequate models of real systems based on information entropy, as a rule, are developed for solving particular problems [3].

These shortcomings of information entropy can potentially be eliminated by using differential entropy (2). For a long time after its invention by K. Shannon, the use of differential entropy was limited only to a special case of a multidimensional normal distribution [1], which limited its practical use in the mathematical modeling of complex systems. The reason for this is the need for a priori knowledge or estimation of the distribution density of a multidimensional random variable from a sufficiently small sample.

In [4], a new approach to the entropy modeling of multidimensional stochastic systems is presented, which makes it possible to avoid estimating the distribution density of a multidimensional random variable. In addition, in this work, for differential entropy, both in dynamics and in statics, formulated by I.R. Prigogine dualism of entropy change: entropy was presented as the sum of the entropies of chaos and self-organization.

Also in [2], using the example of multidimensional Gaussian stochastic systems, it was shown that the proposed approach based on differential entropy satisfies all the features of a complex system model and can be used to adequately describe it.

However, the question of entropy interpretation depending on the application area remains unresolved [5]. It is noted that the increase in the efficiency of the functioning of systems can be considered from the standpoint of an increase or decrease in its entropy. But the assessment of the state of the system and control on the basis of entropy as a scalar quantity turns out to be in many cases unrealizable due to the multidirectional change in the entropy of chaos and self-organization. It seems possible to eliminate this drawback by considering the entropy as a vector, the components of which are the entropy of chaos and self-organization.

Note that the vector form of the differential entropy representation was first proposed in [92] for the case of multidimensional Gaussian random variables. In [3], a generalization to the case of arbitrary continuous multidimensional random variables was proposed and the names of the components of the vector entropy were introduced – “chaotic entropy” and “self-organization

entropy”. The issues of modeling stochastic systems based on differential entropy were considered in [46, 84, 94]. However, the vector approach for entropy modeling has not been implemented.

Another limitation is that differential entropy requires all components of stochastic systems to be continuous random variables, which limits its application in modeling. Overcoming this limitation is seen by extending the definition of discrete random variables to continuous ones.

In addition, the stochastic inhomogeneity of experimental data is not taken into account here, which also limits the practical use of entropy modeling in problems of state estimation and control of real systems, as well as in other applications in which this problem arises. The sensitivity of simulation results to the stochastic inhomogeneity of experimental data can be eliminated by using robust statistical estimation methods.

In the introduction, when considering the relevance of the research topic, it was noted that the main tasks to be solved in monitoring systems usually include assessment, condition monitoring, system diagnostics, and based on them management in the form of managerial decisions. For definiteness, when considering monitoring as a whole, we will talk about monitoring tasks. If we consider separately, on the one hand, the issues of assessment, condition monitoring, diagnostics, and, on the other hand, the formation of management decisions, then we will talk about the tasks of monitoring and management. With regard to complex systems, under management we understand the formation of management decisions or recommendations.

References

1. Voinalovych O., Hnatiuk O., Rogovskii I., Pokutnii O. Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. *Engineering for Rural Development*. 2019. Vol. 18. P. 563-269. doi:10.22616/ERDev2019.18. N245.
2. Rogovskii I. L., Titova L. L., Voinash S. A., Sokolova V. A., Tarandin G. S., Polyanskaya O. A. Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines. [*IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*](#). 2021. Vol. 677. P. 022100. doi:10.1088/1755-1315/677/2/022100.
3. Hryniv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3 (5(105)). P. 19-29. doi:10.15587/1729-4061.2020.206073.
4. Rogovskii I. L. Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 137-146.
5. Rogovskii I. L. Analyticality of complex criteria for estimating grain production in agricultural enterprises by intensification of engineering management. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 4. P. 129-138.

SYSTEM OF ENGINEERING MANAGEMENT OF TECHNICAL OPERATION OF SELF-PROPELLED BEET HARVESTERS

M.V. Kobernik, *post graduate student*
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, c. Kyiv, Ukraine

Sugarcane production in Ukraine began in the first years after the discovery of the country, and since the beginning of colonization, its production has increased with each crop. Sugarcane is one of the primary sources in the production of sugar, ethanol, and bioelectricity in Ukraine, establishing the development of the sugar-energy sector, thus ensuring the economic relevance of the cropping [1]. Besides its economic importance, high sugarcane production makes it a significant ethanol and sugar exporter [2]. When the harvester reaches the end of the row during sugarcane harvesting, it is necessary to realign the harvester to the next row. The time interval spent to perform movements at the headland of the plot in order to position the machine for the harvesting process in the next row is called maneuvering time. The geometry of these maneuvers directly affects the time spent realigning the machine. According to [3], the harvester can be maneuvered in four ways: U, Ω , P and T. The U-shaped maneuver (Figure 1A) is performed with only one movement and requires a smaller space to realign [4]. Therefore [5], it is more indicated when the plot has large rows, allowing the machinery to maneuver. The type Ω (Figure 1B) is performed continuously and with a low time to realign the harvester. However, the headland size is an issue, as this maneuver requires a larger space [6]. The T maneuver (Figure 1C) is the most common at harvest fronts. It is performed in three movements and requires a smaller space at the headland of the plot.

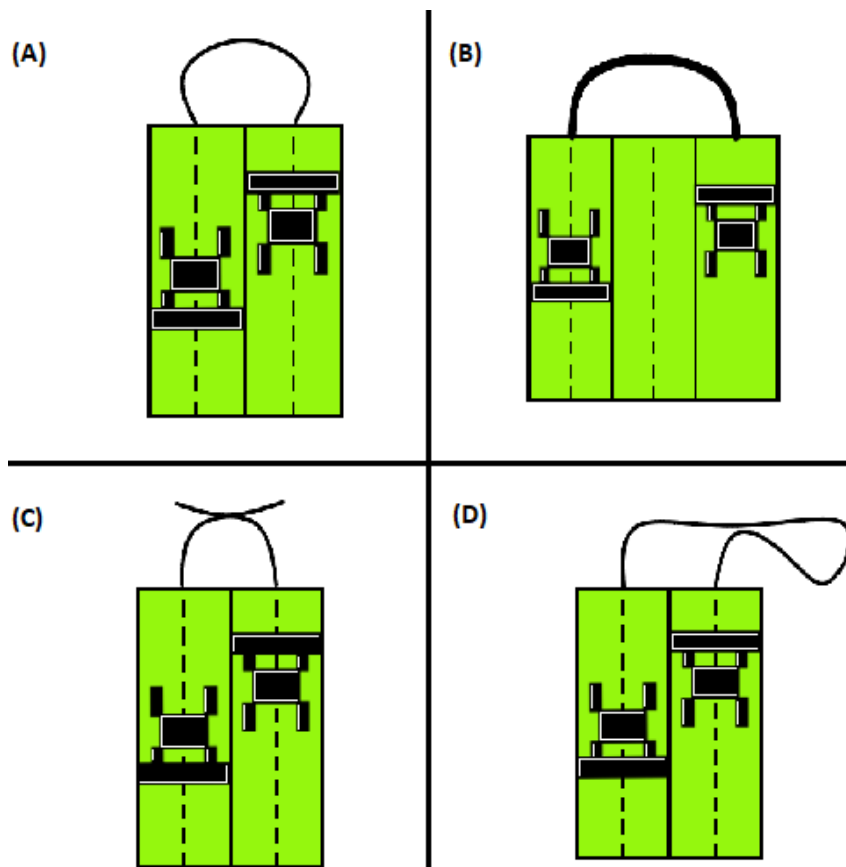


Figure 1 – Representation of the four types of maneuvers for realigning the harvester, namely: U (a), Ω (b), P(c), and T(d)

For the P-shaped maneuver (Figure 1D), it is necessary to space perform the maneuver in which the harvester travels a distance to this location and, after performing the maneuver, returns to the row that needs to be harvested.

The time in this maneuver is an issue because the total time to perform the maneuver will be the sum of the back-and-forth trip distance plus the time interval spent in the maneuvering space.

Due to the high spatial variability of the plots found in a comparable property, a standard way of maneuvering is commonly used in the industry, and operators receive training on how to perform them correctly. Some factors can directly influence the harvester's performance, either at harvesting the product from the field or at the headland maneuvers.

To find the right point for the maneuvering of the harvester, machine working speed, engine rotation, and hourly fuel consumption are essential factors that must be analyzed, the latter being a direct variable of the other factors besides being one of the main bottlenecks of mechanized harvesting since it influences the total costs of mechanical activities.

This study aims to correlate the harvester maneuvering time at the headland of the plots, from the layout of the planting in the area (>20 ha, $10 < >20$ ha < 10) to fuel consumption, thus determining the best configuration that aims at more significant savings in production cost.

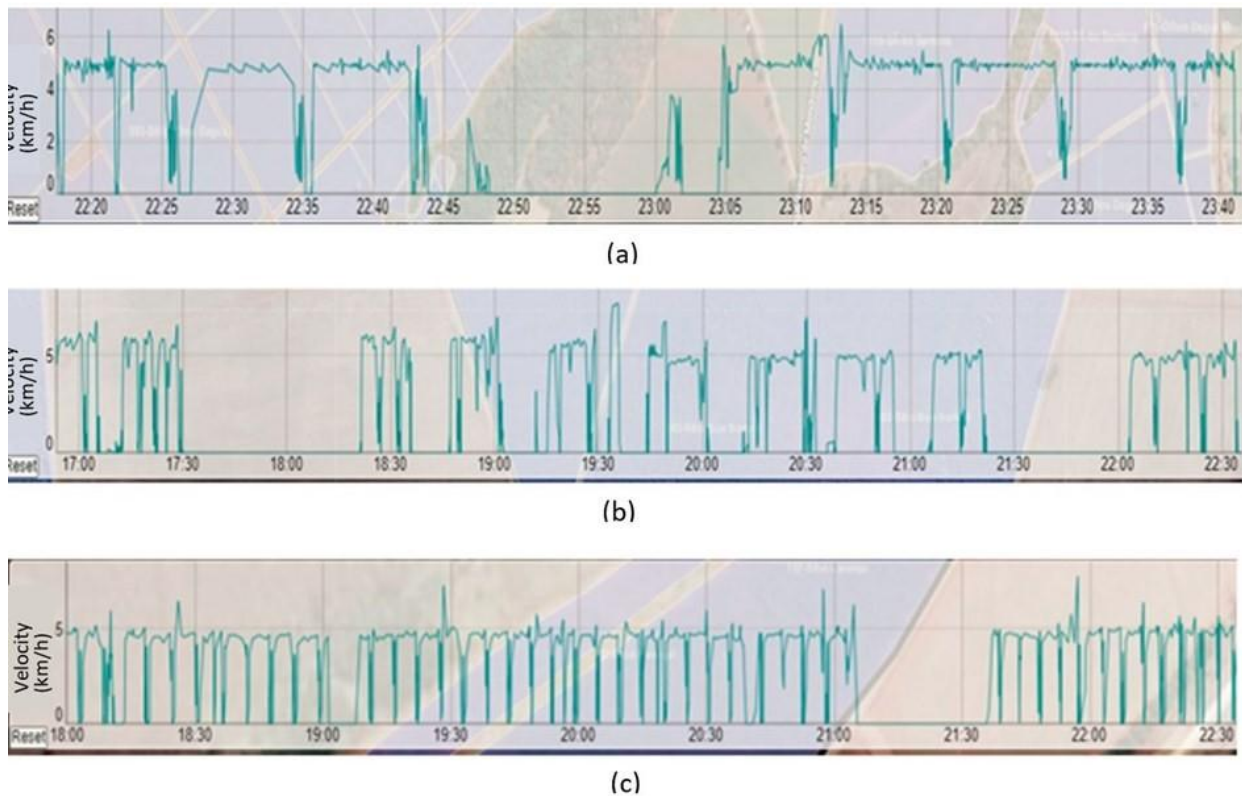


Figure 2 – Speed variations as a function of the time for treatments W1 (a), W2 (b), and W3 (c)

To analyze the normality of data, the symmetry and kurtosis test was performed for each of the analyzed variables since these tests are the ones that best represent the variability found in the field. The symmetry and kurtosis value must be between -2 and 2 for all variables, attesting to data normality treatment W1 (Figure 2A) is the one with the lowest speed variation, followed by W2 (Figure 2B) and W3 (Figure 2C), with higher variations.

Thus, the larger the size of the plot, the greater the harvest distance, so the machine will maintain the speed for a more extended period since the number of maneuvers will be smaller. Table 2 shows the p-values. Considering that all values were inferior to 0.05 , it is understood that there is a significant difference between treatments for all analyzed variables. Thus, our null hypothesis was rejected. Then, the Nemenyi test was performed to compare the means.

The coefficients of variation obtained for the 4798 (W2) and 4797 (W1) harvesters correspond to 6.5% and 11.5%. Machine 4797 shows the highest consumption because it was used in plots with better harvesting conditions than treatment W2.

References

1. Hrynkyv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3 (5(105)). P. 19-29. doi:10.15587/1729-4061.2020.206073.
2. Voinalovych O., Hnatiuk O., Rogovskii I., Pokutnii O. Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. *Engineering for Rural Development*. 2019. Vol. 18. P. 563-269. doi:10.22616/ERDev2019.18. N245.
3. Rogovskii I. L., Titova L. L., Voinash S. A., Sokolova V. A., Tarandin G. S., Polyanskaya O. A. Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines. [IOP Conference Series: Earth and Environmental Science](#). 2021. Vol. 677. P. 022100. doi:10.1088/1755-1315/677/2/022100.
4. Rogovskii I. L. Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 137-146.
5. Rogovskii I. L. Analyticality of complex criteria for estimating grain production in agricultural enterprises by intensification of engineering management. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 4. P. 129-138.
6. Rogovskii I. L., Palamarchuk I. P., Kiurchev S. V., Verkholtantseva V. O., Voinash S. A., Sokolova V. A., Gogolevski A. S. Mathematical modeling of the impulse bubbling process of bulk mass by the coolant flow. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 919. P. 052026. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/919/5/052026>.

MODEL OF DETERMINING THE POSITIONS OF MINIMIZING GROUP CONNECTIONS OF COMPLEX SYSTEM OF RESTORATION OF WORKING CAPACITY OF AGRICULTURAL MACHINERY

I.L. Rogovskii, DS, Professor

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, c. Kyiv, Ukraine

During development complex system of restoring the operational efficiency of agricultural machines [1], there is a problem of justifying a strategy that would allow obtaining the maximum possible effect from the operation of machines [2].

Usually [3], when setting the task of prevention, given characteristics of the reliability of agricultural machines are assumed: the function of the time distribution of the system's fault-free operation $P(x)$ or its separate parts and the distribution function of the time of independent manifestation of failure $\Phi(v)$ and maintainability characteristics: time distribution functions of various restoration works that can be carried out in the system [4]. These characteristics, as well as the strategy, according to which the terms of restoration work are assigned [5], determine the state of the system and the evolution of these states over time [6].

Let's assume that there are many E possible states of the system is finite $E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$. In this case, the process trajectories $x(t)$, describing the evolution of system states over time, are step functions. On the trajectories of this random process, we will define a functional which, with fixed reliability characteristics, will characterize the service strategy of the studied system. For a finite period of time $[0, t]$ process trajectory $x(t)$ given by the number of transitions m , moments of transitions $t_0=0 < t_1 < t_2 \dots < t_m \leq t$ and $E_{i_0}, E_{i_1}, \dots, E_{i_m}$, in which the process is between moments of transition. Then we define the functional as a mathematical expectation:

$$M\{\sum_{k=0}^{m-1} c_{ik} \cdot (t_{k+1} - t_k) + c_{im} \cdot (t - t_m)\}, \quad (1)$$

where are constants c_i can be interpreted as the income received per unit of time spent in the state E_i . With long-term use ($t \rightarrow \infty$) functional (1) tends to infinity. It is also necessary to consider the specific income, i.e.:

$$I = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} M\{\sum_{k=0}^{m-1} c_{ik} \cdot (t_{k+1} - t_k) + c_{im} \cdot (t - t_m)\}, \quad (2)$$

Functional for the regenerating process I can be defined as:

$$I = \sum_{i=1}^n c_i \cdot k_i = \sum_{i=1}^n c_{ik} \cdot \frac{M_i}{M} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \cdot M_i}{M}, \quad (3)$$

where k_i is the average time ratio M_i , held in the state E_i during the regeneration period, until the middle of the duration of this period M .

Process behavior $x(t)$ depends on the distribution function of the system uptime $P(t)$. Time sharing function ξ independent manifestation of refusal $\Phi(x)$ and characteristics that determine the timing of regenerating factors (precautionary prophylaxis is scheduled after a random time η , distributed by law $G(x)$). Therefore, average durations also depend on these functions M and M_i ($i = \overrightarrow{1, n}$). We consider, that the regeneration period begins at the moment of complete system renewal and at the same time another prophylaxis is prescribed. The studied functional (3) can be written as a fraction linear functional of the species:

$$I = I(G, \Phi, P) = \frac{A(x, v, y) dG(x) d\Phi(v) dP(y)}{B(x, v, y) dG(x) d\Phi(v) dP(y)}. \quad (3)$$

If the process $x(t)$, which describes the evolution of system states over time, takes a finite set of values and is regenerative, then the functional that characterizes the quality of system operation has the form of a fractional-linear functional (4) with respect to the time distribution function of fault-free operation $P(t)$, distribution functions of the time of independent manifestation of failure $\Phi(x)$ and distribution functions $G(x)$, which determines the periodicity of preventive measures.

In expression (4) is a function $A(x,v,y)$ and $B(x,v,y)$ have the meaning of conditional mathematical expectations, provided that the event $\{\xi=y, \eta=x, \zeta=v\}$. Strategy restoring the efficiency of agricultural machines should be laid at the level of formation of the management system. An important problem is also the division of functions between the project and organizational subsystems, which is why some of the management functions (for example, determining the implementation terms, resource allocation) remain the prerogative of the center, which is not always effective. This type of structure is advisable to use in large systems for restoring the efficiency of agricultural machines, whose implementation conditions are not fully defined. Thus, in its pure form, none of the existing structures is ideal.

Let the total amount of work be determined a complex system of restoring the efficiency of agricultural machines, on the basis of which we develop a work schedule. In general, such a schedule can be presented in the form of a system consisting of objects of three types.

We will use the graph-theoretic description of the system: $\Sigma = (Q, U, \varepsilon)$, where Q is a set of peaks, U is the set of edges, ε is the incidence ratio that assigns y to each edge of U conformity a pair of vertices from Q :

$$u \in U \Rightarrow (\exists! \langle p, q \rangle \in Q \times Q) (u \varepsilon \langle p, q \rangle). \quad (5)$$

Functions describe the behavior of system elements and are represented by a set of sets: $F = \{R, f\}$, where $R = (A_i)_{i \in I}$ is a family of some basic sets A_i (signals, trajectories, resources, i.e. plurals, on which the functions are defined), f is the set of all representations

$$\prod_{i \in I_1} A_i \rightarrow \prod_{i \in I_2} A_i, I_1 I_2 \subset I \quad (6)$$

that is, functions that reproduce certain implementation tasks of a complex system of restoration of operational efficiency of agricultural machines. This is due to the consumption of resources. In this case, it is necessary to take into account the connections caused by the presence of type restrictions

$$\varphi_k [f_k(\prod_{i \in I} A_i)] \leq u_k. \quad (7)$$

where u_k is the limit of resources allocated for the implementation of the k -th function, φ_k – consumption of resources for the implementation of the f_k function.

Thus, the work schedule is a structure, the vertices of which are matched to functions, and the edges are the basis sets on which these sets are defined. Each vertex is characterized by the amount of resources consumed, the time it takes to perform its functions, and each edge can be characterized, for example, by bandwidth.

To build an effective control system, it is necessary to optimize the distribution of functions f on the nodes of the system Q . One of the following functionals can be taken as the target function of the model of the distribution of functions on nodes:

- minimization of the total cost of tasks;
- minimization of the total time of tasks;
- minimizing the maximum time for solving tasks.

Depending on the features of management a complex system of restoring the efficiency of agricultural machines, an integer optimization model for the distribution of individual tasks of a complex system of restoration of operational efficiency of agricultural machines by nodes is composed of the given target functions and constraints. To form a strategy restoring the efficiency of agricultural machines and building an effective management structure a complex system of restoring the efficiency of agricultural machines it is necessary to separate into groups the elements most

strongly connected with each other and at the same time weakly connected with other elements. Such groups are called sets of works.

Conclusion. The considered model is an optimization problem and allows combining structural elements of a complex system of restoration of operational efficiency of agricultural machines in groups that are optimal from the point of view of minimizing intergroup connections. As a result, the two lower levels of the hierarchy are combined of a complex system of restoration of operational efficiency of agricultural machines, each of which is headed by a system that controls the functioning of the complex.

References

1. Hrynkyv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3 (5(105)). P. 19-29. doi:10.15587/1729-4061.2020.206073.
2. Rogovskii I. L., Titova L. L., Voinash S. A., Sokolova V. A., Tarandin G. S., Polyanskaya O. A. Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines. [*IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*](#). 2021. Vol. 677. P. 022100. doi:10.1088/1755-1315/677/2/022100.
3. Voinalovych O., Hnatiuk O., Rogovskii I., Pokutnii O. Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. *Engineering for Rural Development*. 2019. Vol. 18. P. 563-269. doi:10.22616/ERDev2019.18. N245.
4. Rogovskii I. L. Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 137-146.
5. Rogovskii I. L. Analyticality of complex criteria for estimating grain production in agricultural enterprises by intensification of engineering management. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 4. P. 129-138.
6. Rogovskii I. L., Palamarchuk I. P., Kiurchev S. V., Verkholtantseva V. O., Voinash S. A., Sokolova V. A., Gogolevski A. S. Mathematical modeling of the impulse bubbling process of bulk mass by the coolant flow. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 919. P. 052026. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/919/5/052026>.

ПОКАЗНИКИ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ТА ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ

Д.С. Погорлецький, доц., канд. техн. наук

І.В. Грицук, проф., д-р техн. наук

І.В. Худяков, доц., канд. техн. наук

Херсонська державна морська академія, м. Херсон, Україна

Покращення паливної економічності та екологічних показників транспортного засобу (ТЗ) в умовах експлуатації, зменшення шкідливого впливу на оточуюче середовище, що є необхідним для зьогорення, можливе за допомогою обладнання ТЗ екологічно чистою системою теплової підготовки (СТП).

Основою для досліджень стало визначення паливної економічності та екологічних показників двигуна ТЗ, переобладнаного для роботи на зрідженому газовому паливі, і додатково оснащеного системою передпускової та після пускової теплової підготовки, на основі теплового акумулятора фазового переходу (ТАФП) під час експлуатації.

Під час дослідження ставилося завдання визначення витрати палива за різними варіантами режимів прогріву для ТЗ, обладнаного СТП. Реєстрація параметрів технічного стану двигуна ТЗ, і параметрів теплової підготовки фіксувалися з допомогою системи дистанційного моніторингу (СДМ) [1-5]. Визначення викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах (ВГ), пов'язано з особливостями системи моніторингу ТЗ, а саме визначення викидів у ВГ ТЗ можливе тільки під час руху, для зупиненого ТЗ це виконати неможливо. У зв'язку з цим виникла потреба визначити експериментально об'єм шкідливих викидів у ВГ, в режимах їздових циклів та режимах навантаження з використання їздових барабанів [2].

Результати моніторингу параметрів технічного стану ТЗ у процесах дослідження передпускового і післяпускового прогріву ТЗ в умовах експлуатації приведені в роботах [1-5]. Реєстрація технічних параметрів під час роботи на зрідженому газовому паливі проводилася аналогічно вимірюванням на рідкому паливі (бензин). Фрагменти звітів двох системи моніторингу ТЗ KIA CEE'D 2.0 5MT2, які входять до єдиної СДМ параметрів технічного стану двигуна ТЗ в умовах експлуатації та підсумковий звіт після розшифровування інформації з системи моніторингу на основі ліній системи стандарту OBD-II, адаптер (ELM327) приведені в [2-4]. На (рис.1) показано витрату рідкого палива (бензин) залежно від режиму теплової підготовки двигуна ТЗ та значень температури оточуючого середовища (ОС) до температури охолоджувальної рідини у системі охолодження 50 °С для різних режимів прогріву за різних температур. Найменша витрата палива спостерігається для прогріву ТЗ до температури охолоджуючої рідини 50 °С у режимі прогрів зупиненого ТЗ у режимі холостого ходу. Але робити висновок про кращий варіант теплової підготовки двигуна ТЗ зарано. Потрібно оцінити прогрів ТЗ за параметрами часу теплової підготовки та пробігу ТЗ у процесах прогріву. Буде цікавим, отримати показники викидів шкідливих речовин ТЗ у ВГ двигуна ТЗ. Останнє питання вирішується, після використання розрахунково-аналітичного дослідження.

Система моніторингу [1-3], відображає значення викидів шкідливих речовин тільки в процесі руху ТЗ. При зупиненому ТЗ отримувати ці значення неможливо. Результати зміни витрати палива (бензин-газ) залежно від температури охолоджувальної рідини у системі охолодження двигуна ТЗ в діапазоні від 50 °С до 85 °С, продемонстрували що найменша витрата палива, як і в попередніх випадках для всіх температур діапазону -20...+20 °С, спостерігається для прогріву ТЗ у діапазоні температури охолоджувальної рідини від 50 °С

до 85 °С – у режимі теплової підготовки двигуна ТЗ, прогрів зупиненого ТЗ у режимі холостого ходу. Знову підтверджується, що робити висновок про кращий варіант теплової підготовки двигуна ТЗ зарано. Потрібно оцінити прогрів ТЗ за параметрами часу теплової підготовки, наявності пробігу ТЗ у процесах прогріву і викидів шкідливих речовин.

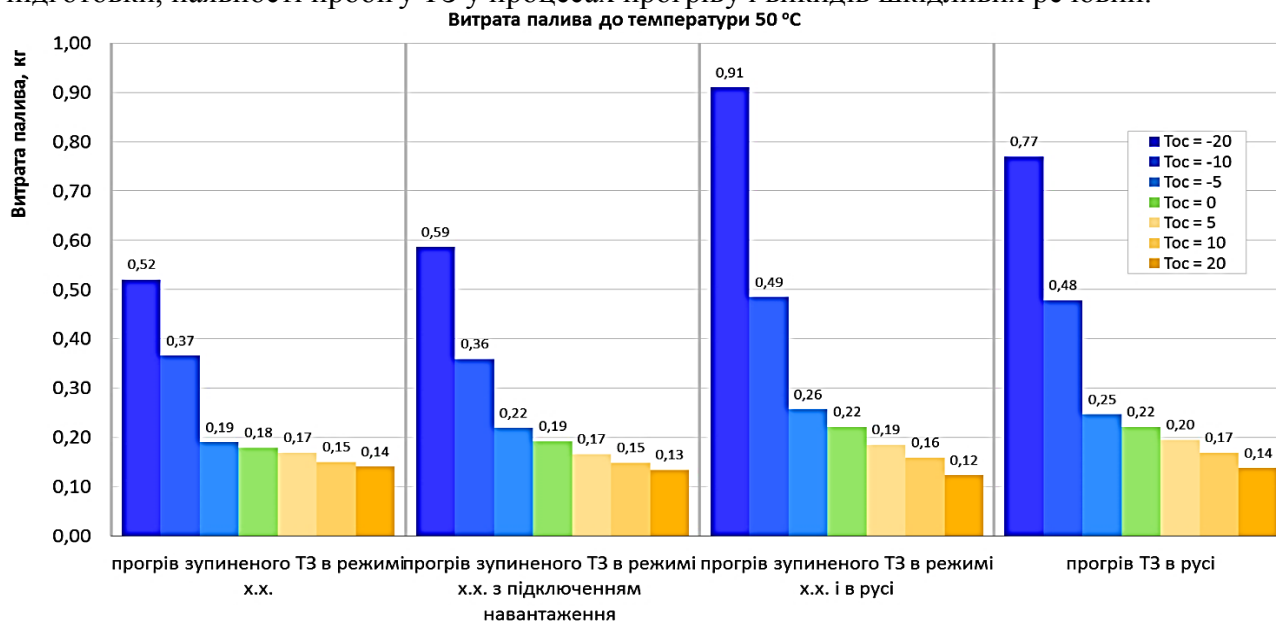


Рисунок 1 – Результати зміни витрати палива (бензин) від значень температури оточуючого середовища до температури системи охолодження 50 °С залежно від режиму теплової підготовки двигуна ТЗ

Методика проведення досліджень у частині визначення показників витрати палива, терміну прогріву двигуна ТЗ та викидів шкідливих речовин містить фіксацію процесів теплової підготовки двигуна ТЗ у змінних умовах експлуатації за варіантами режимів прогріву ТЗ [1-4]. Вимірювання температурних параметрів проводилося за допомогою розробленої системи дистанційного моніторингу [1-5]. На етапі дослідження ставилося завдання визначення показників витрати палива (бензин, газ) та кількості шкідливих речовин у викидах ВГ в оточуюче середовище під час використання СТП на основі ТАФП.

Дослідження проводились у випробувальному центрі колісних транспортних засобів ДП "ДержавтотрансНДІпроект" (у лабораторіях: "Лабораторія випробувань та діагностики дорожніх транспортних засобів", "Лабораторія дослідження використання палив та екології" та випробувальна лабораторія "Технічна служба з випробувань ДТЗ"), згідно New European Driving Cycle (NEDC), (URL: <https://www.transportpolicy.net/standard/eu-light-duty-new-european-driving-cycle>). Дослідження проводили з використанням ТЗ KIA Ceed 2.0 5МКПП із двигуном G4GC, обладнаним системою живлення зрідженим газовим паливом та СТП з ТАФП. Випробування автомобіля KIA Ceed 2.0 у ДП "ДержавтотрансНДІпроект" проводилися на роликовому стенді з імітацією режимів Європейського міського їздового циклу [5]. Для визначення екологічних показників прогріву ТЗ, переобладнаних для роботи на газовому паливі, оснащених СТП на основі ТАФП дослідження виконувалося в режимі за змодельованим Європейським міським їздовим циклом. На (рис. 2) показані деякі окремі результати експериментального дослідження, проведеного у випробувальному центрі колісних транспортних засобів ДП "ДержавтотрансНДІпроект", що були отримані за змодельованим Європейським міським їздовим циклом ТЗ для KIA CEE'D 2.0 5MT2 на бігових барабанах. Отримані змінні значення в широкому діапазоні параметрів технічного стану ТЗ, на (рис. 2) деякі з них, а саме зміна швидкості руху км/год, концентрація викидів вуглекислого газу CO₂, викиди оксидів азоту NO_x та загальна кількість вуглеводнів THC у викидах шкідливих речовин двигуна ТЗ. Під час проведення досліджень у ДП "ДержавтотрансНДІпроект" на бігових барабанах, експериментальним шляхом були отримані навантажувальні характеристики у широкому діапазоні частот обертання колінчастого валу двигуна ТЗ [1-5], вони були використані для опису поліноміальних

залежностей, що необхідні для визначення закономірностей зміни витрати палива та викидів шкідливих речовин [2-5].

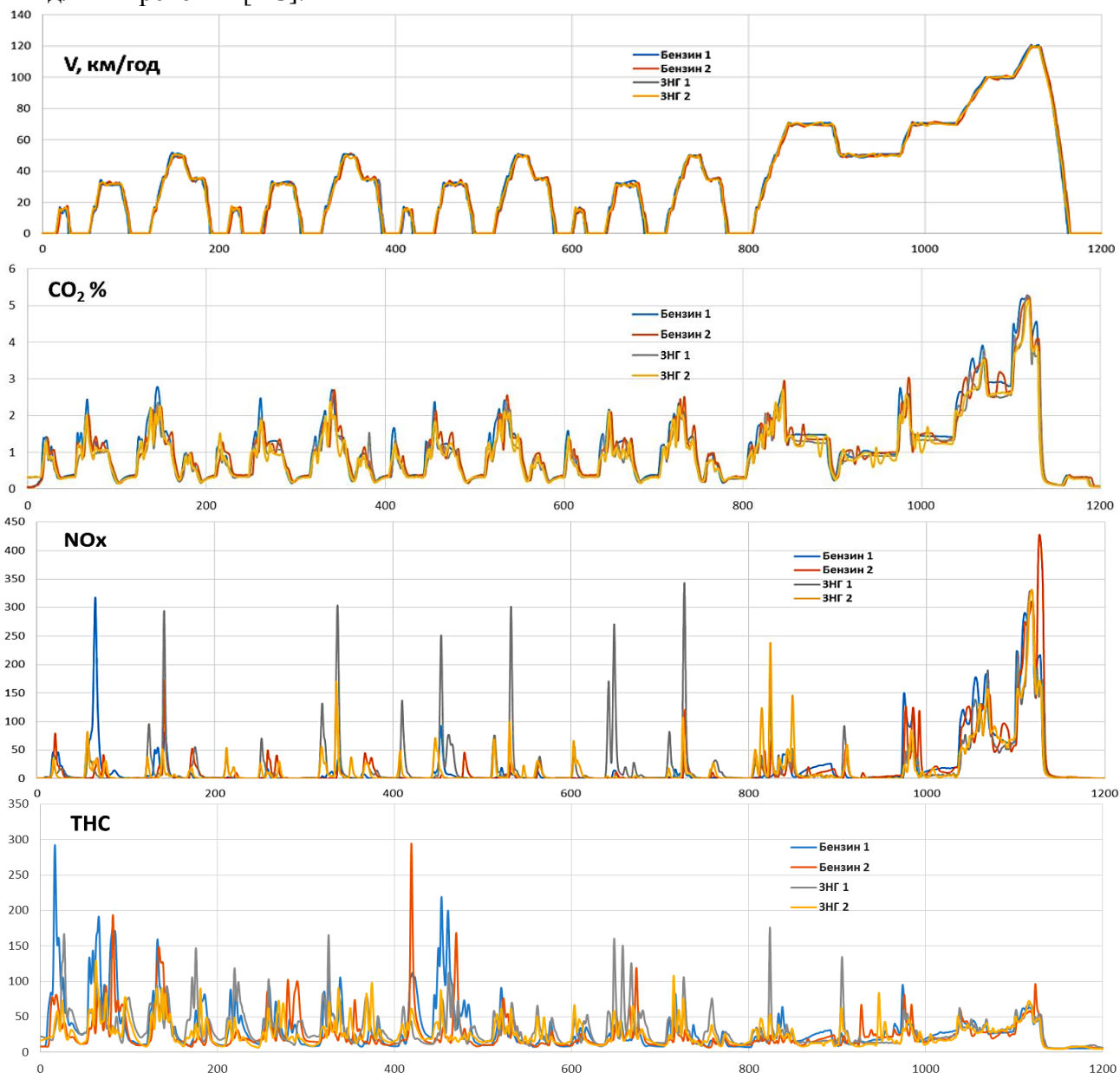


Рисунок 2 – Результати дослідження за змодельованим Європейським міським їздовим циклом ТЗ KIA CEE'D 2.0 5MT2, переобладнаним для роботи на газовому паливі, відповідно для значень: швидкість руху; викиди вуглекислого газу CO_2 ; викиди оксидів азоту; загальна кількість вуглеводнів

Досягнуті позитивні ефекти пояснюються тим, що нагрівання охолоджуючої рідини перед запуском двигуна ТЗ здійснюється за допомогою СТП обладнаної тепловим акумулятором фазового переходу, встановленим у контурі системи охолодження [6]. Завдяки використанню СТП з ТАФП на ТЗ, який працює на рідкому паливі, знижуються викиди шкідливих речовин: CO – 49 %; CH – 35 %; NO_x – 29 %; CO_2 – 28 % аналогічно на ТЗ, що працює на зрідженому газовому паливі, знижуються викиди шкідливих речовин: CO – 9,7 %; CH – 20 %; NO_x – 7 %; CO_2 – 18 %. Зниження сумарних шкідливих викидів завдяки використанню системи теплової підготовки обладнаної ТАФП, зведених до рівня агресивності CO на рідкому паливі, складає 39 %, на газовому – 20 % [3-6].

У результаті проведеного дослідження встановлено вплив СТП на основі теплового акумулятору фазового переходу ТЗ з двигуном, переобладнаним для роботи на зрідженому газовому паливі, на показники паливної економічності та викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище з відпрацьованими газами ТЗ в процесах передпускового і

післяпускового прогріву та приведено можливості для зменшення витрати палива двигуна ТЗ у межах від 62,8 до 33,1 %, в експлуатації та зниження сумарних шкідливих викидів, зведених до рівня агресивності СО, на рідкому паливі 39 %, а на газовому – 20 % .

Список використаних джерел

1. Погорлецький Д.С., Волков В.П., Волкова Т.В., Грицук І.В., Аппазов Е.С., Володарець М.В., Саравас В.С. Особливості вимірювального комплексу для дослідження роботи газомоторного транспортного засобу з системою теплової підготовки в умовах експлуатації. Науковий журнал: Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. - №13. Харків, 2018.
2. Погорлецький Д.С., Грицук І.В., Адров Д.А., Матейчик П.В., Черненко В.В. Дослідження роботи транспортного засобу, обладнаного газобалонною системою живлення 4-го покоління, в умовах експлуатації. Міжнародна науково-практична конференція. "Сучасні технології на автомобільному транспорті та в машинобудуванні" ХНАДУ, м. Харків 15 – 18 жовтня 2019 року.
3. Gritsuk, I., Pohorletskyi, D., Mateichyk, V., Symonenko, R. et al., "Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems)," SAE Technical Paper 2020-01-2031, 2020, doi:10.4271/2020-01-2031.
4. Погорлецький Д.С. Структура вимірювального комплексу для дослідження роботи транспортного засобу з двигуном, обладнаним системою впорскування газового палива, в умовах експлуатації засобами ITS. Монографія /за наук. ред. проф. Грицука І.В. Херсон: ХДМА, 2019. – 442 с. ISBN: 978-966-2245-53-0. Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і діагностики.
5. Науково-виробнича лабораторія енергетики та екології транспорту науково-дослідного центру – технічної служби з випробувань транспортних засобів. Перелік виробничих підрозділів ДП "Державтотранс НДІпроект": вебсайт. URL : <https://www.insat.org.ua/phpfiles/otdel/>.
6. Д.С. Погорлецький, І.В. Грицук, Д.С. Адров, А.В. Білай. Особливості визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин двигунів транспортних засобів, що працюють на газовому паливі. Двигуни внутрішнього згоряння // Науково-технічний журнал. Харків: НТУ "ХПІ". – 2021. – №1.

INCREASING THE EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL SUPPORT FOR TRANSPORT OPERATIONS

R.V. Khudobei, *graduate student,*

S.A. Bakan, *st.gr. MHM-61,*

Yu. Ya. Vovk, *associate professor, candidate technical science*

Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyu, c. Ternopil, Ukraine

The transportation sector has been an essential aspect of economic growth and development for several decades. Technological advancements have greatly improved the efficiency of transport operations, reducing costs, and increasing productivity. This article aims to explore the various technological tools that can be utilized to increase the efficiency of transport operations, such as GPS tracking, fleet management systems, and automated scheduling software. The article also highlights the advantages and challenges of these technologies, as well as the potential solutions to overcome these challenges.

The transportation sector plays a vital role in the economy, as it provides a means of moving goods and people from one location to another. The efficient operation of the transport system is critical to ensuring economic growth and development. Technological advancements have significantly improved the efficiency of transport operations by reducing costs, increasing productivity, and improving safety. This article will discuss the different technologies that can be employed to improve the efficiency of transport operations.

Global Positioning System (GPS) technology has revolutionized the way that transportation operates. GPS tracking systems provide real-time information on the location of vehicles, enabling efficient route planning and reducing fuel consumption. A study by Li et al. (2019) found that GPS tracking technology reduced the average distance traveled by trucks by 16.6%, resulting in a significant reduction in fuel consumption and operating costs. Additionally, GPS tracking technology improves the safety of transport operations by enabling real-time monitoring of driver behavior and vehicle speed.

Fleet management systems (FMS) are another technology that can be utilized to improve the efficiency of transport operations. FMS provides a centralized system for monitoring and managing a fleet of vehicles. These systems collect data on vehicle performance, maintenance schedules, and driver behavior, enabling fleet managers to optimize routes, reduce fuel consumption, and ensure timely maintenance. A study by Gulyani et al. (2016) found that the implementation of FMS resulted in a 15% reduction in fuel consumption and a 20% reduction in maintenance costs.

Real-time monitoring systems can provide businesses with up-to-date information on the location and status of their vehicles, enabling them to optimize routes and schedules. This technology can also improve safety by allowing businesses to monitor driver behavior and vehicle performance in real-time. A study by Shen et al. (2018) found that the implementation of real-time monitoring systems resulted in a 10-15% reduction in fuel consumption and a 20-30% reduction in maintenance costs.

Route optimization software can be used to optimize the delivery routes of transport vehicles, taking into account factors such as traffic conditions, delivery times, and fuel consumption. This technology can also enable businesses to reduce their carbon footprint by minimizing the distance traveled and fuel consumption. A study by Hassan et al. (2021) found that the implementation of route optimization software resulted in a 20-30% reduction in delivery time and a 10-20% reduction in fuel consumption.

Automation systems can be employed to automate various aspects of transport operations, including loading and unloading, inventory management, and scheduling. This technology can improve efficiency by reducing manual labor and increasing the speed of operations. A study by Ma

et al. (2018) found that the implementation of automation systems resulted in a 25-30% reduction in labor costs and a 20-25% increase in productivity.

The utilization of these technologies can bring numerous advantages, including increased efficiency, reduced costs, and improved safety. However, there are also challenges that need to be addressed to fully realize the benefits of these technologies. For example, the integration of these technologies into existing operations can be challenging and may require significant changes in organizational processes and culture. Additionally, the cost of implementing these technologies can be a significant barrier for small and medium-sized businesses.

To overcome these challenges, businesses can invest in training programs to ensure that employees have the necessary skills to operate and maintain these technologies effectively. Additionally, policymakers can provide incentives for businesses to invest in these technologies, such as tax credits or subsidies. Industry-wide collaboration and standardization can also facilitate the integration of these technologies into existing operations.

Automated scheduling software is another technology that can be used to improve the efficiency of transport operations. This software utilizes algorithms to optimize scheduling and routing, taking into account factors such as traffic, weather conditions, and delivery deadlines. A study by Chow et al. (2017) found that the implementation of automated scheduling software resulted in a 24% reduction in operating costs and a 15% increase in productivity.

The utilization of these technologies can bring numerous advantages, including increased efficiency, reduced costs, and improved safety. However, there are also challenges that need to be addressed to fully realize the benefits of these technologies. For example, the cost of implementing these technologies can be a significant barrier for small and medium-sized businesses. Additionally, the integration of these technologies into existing operations can be challenging and may require significant changes in organizational processes and culture.

To overcome these challenges, policymakers can provide incentives for businesses to invest in these technologies, such as tax credits or subsidies. Additionally, industry-wide collaboration and standardization can facilitate the integration of these technologies into existing operations. Finally, businesses can invest in training programs to ensure that employees have the necessary skills to operate and maintain these technologies effectively.

In conclusion, the utilization of GPS tracking, fleet management systems, and automated scheduling software can significantly improve the efficiency of transport operations. These technologies provide real-time information on vehicle location, enable efficient route planning, and optimize scheduling and routing. The implementation of these technologies can bring numerous benefits, including increased efficiency, reduced costs, and improved safety. However, there are also challenges that need to be addressed, such as the cost of implementation and the need for organizational change. Policymakers, industry leaders, and businesses can work together to overcome these challenges and fully realize the benefits of these technologies. By providing incentives, promoting collaboration and standardization, and investing in training programs, businesses can ensure that they are well-positioned to leverage these technologies to improve their operations.

References

1. Chow, H., Wong, K. Y., Zhang, J., & Huang, H. C. (2017). Optimization of truck scheduling and routing with time windows and carrier selection by a two-stage heuristic algorithm. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 98, 90-109.
2. Gulyani, S., Talley, W. K., & Zein, R. (2016). The impacts of technology on freight transportation: an overview. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 8(4), 399-417.
3. Li, Y., Liu, X., Zhang, Y., & Sun, Y. (2019). Optimization of vehicle routing and scheduling with real-time vehicle tracking in city logistics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 123, 69-90.

КОНЦЕПЦІЯ ФІЗИЧНОГО ІНТЕРНЕТУ ДЛЯ СПІЛЬНОЇ ДИСТРИБУЦІЇ ТАРНО-ШТУЧНОГО ВАНТАЖУ

O. Hriekova, PhD student, assistant,

A. Galkin, Prof., Dr. Tech. of science

O. M. Beketov National University of Urban Economy, c. Kharkiv, Ukraine

На сьогоднішній день гострим питанням для планувальників та міського муніципалітету є пошук рішень для покращення життя мешканців у містах та забезпечення стійкості транспортних і логістичних систем спричинених воєними діями в Україні. Стійкість та якість життя у містах стала головним напрямком у країнах Європейського Союзу та Україні.

Також важливим напрямком досліджень і трансформації економіки є діджиталізація та цифровізація [1]. Вже сьогодні, багато сфер життя полегшено використанням інноваційних технологій [2]. На сьогоднішній день логістика міст розглядає не так багато технологій в умовах воєнного стану. Тому ана робота спрямована на розробку комплексу заходів у сфері міської логістики для забезпечення довгострокової життєздатності міст. Іншим важливим аспектом таких заходів є зменшення забруднення навколишнього середовища. В країнах Європейського Союзу та Україні це актуальне та важливе питання. Існують теоретичні напрямки та підходи покращення ситуації, які ще не мають практичного підґрунтя [3]. Зацікавлені сторони міської логістики та особливо перевізники не несуть відповідальності за негативний вплив на навколишнє середовище спричинені дистрибуцією тарно-штучних вантажів. Оскільки ані на державному рівні, ані муніципальна влада не вводить правил та обмежень для покращення стану логістичної системи міст. Дослідження зосереджено на стійкості та стійких способах покращення забезпечення довгострокової життєздатності міст за допомогою фізичного Інтернету [4-6].

Розглядаючи методику організації розподілу тарно-штучних вантажів, вчені спираються на чотирьох крокову модель [7-8]. Оцінка існуючого попиту всіх споживачів дозволяє встановити обсяги доставки/дистрибуції та поповнення продукції від роздрібних мереж і магазинів та інших зацікавлених сторін. Перший етап побудови – Створення поїздки (Trip Generation), який передбачає збір даних для побудови та розробки маршрутів дистрибуції тарно-штучних одиниць вантажу. Далі оцінюються витрати побудованих маршрутів (Trip Distribution) з використанням різних видів вантажних транспортних засобів (місткість, тип палива, викиди двигуна за євростандартизацією та цнше). Третій крок (Model Split) передбачає вибір режиму поїздки. Та завершуючий четвертий крок досліджуваної моделі – призначення поїздки (Trip Assignment). Метою якого є виокремлення заданого набору пересадок для заздалегідь визначеної транспортної мережі або системи з урахуванням мети переміщення. У даному випадку дистрибуції тарно-штучного вантажу. При вирішенні етапу Створення поїздки, вперше пропонується використовувати метод аукціонів на фізичного інтеренту.

Використання технології аукціонів [9], як частини концепції фізичного Інтернету, у міській логістиці передбачає співпрацю різних залучених зацікавлених сторін. Використання транспортних засобів, складів та іншої інфраструктури для спільних цілей доставки дозволяє більш раціонально використовувати наявні ресурси, підвищити ефективність та стійкість особливо в умовах воєнного стану. В той же час суспільне використання логістичної інфраструктури різними стейкхолдерами ставить питання про методи та показники сумісної оцінки такої взаємодії. Оскільки задіяно групи стейкхолдерів і кожний з них прагне добитися власних цілей при реалізації доставки. Розглядаючи різні сценарії закріплення постачальників за споживачами з використанням методу аукціонів можливо знайти оптимальні параметри

роботи дистрибуції тарно-штучних вантажів для всіх стейкхолдерів. Таким чином досягти максимального ефекту для системи розподілу.

Список використаних джерел

1. Трушкіна Н. В. Цифрова логістика як механізм розвитку регіональної транспортно-логістичної системи (на прикладі карпатського економічного району) Digital logistics as a mechanism for the development of regional transport and logistics system //Економічні студії. – 2019. – С. 161.
2. ДАВІДІЧ Ю. и др. Інформаційний підхід щодо визначення закономірностей вибору водіями маршрутів руху //Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – 2020. – Т. 2. – №. 15. – С. 11-19.
3. Hriekova O. Analysis of Urban Freight Distribution Management Methods on the Principles of “Green logistics” //Smart Technologies in Urban Engineering: Proceedings of STUE-2022. – Cham : Springer International Publishing, 2022. – С. 820-830.
4. Kozak Y. Програмні методи організації транспортних потоків у рамках концепції Internet of Vehicles //Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production. – 2021. – №. 44. – С. 94-100.
5. Peng, X., Ji, S., Thompson, R. G. & Zhang, L. (2021). Resilience planning for Physical Internet enabled hyperconnected production-inventory-distribution systems. Computers & industrial engineering, 158 pp. 25-. Doi:10.1016/j.cie.2021.107413Доценко С. І. Комп’ютерні мережі інтернет та хмарні сервіси. – 2020.
6. Crainic T. G., Montreuil B. Physical internet enabled hyperconnected city logistics //Transportation Research Procedia. – 2016. – Т. 12. – С. 383-398.
7. S Eisa M. et al. Benefits of Replacement Public Transportation Fleet With Electrical Buses in An Urban Area in Egypt //MEJ. Mansoura Engineering Journal. – 2022. – Т. 47. – №. 4. – С. 9-19.
8. Kaunda S. C., Kuotcha W., Kachali N. Travel Demand Modelling for the City of Lilongwe, Malawi.
9. Acocella A., Caplice C. Research on truckload transportation procurement: A review, framework, and future research agenda //Journal of Business Logistics. – 2023.

ВПЛИВ СТУПЕНЯ РОЗРІДЖЕННЯ У ВАКУУМНІЙ КАМЕРІ ПНЕВМОМЕХАНІЧНОГО ВИСІВНОГО АПАРАТА НА ПРОПУСКИ ПРИ ВИСІВІ НАСІННЯ ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР

П.С. Попик, доц., канд. техн. наук,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна, E-mail: PSPopyk@nubip.edu.ua

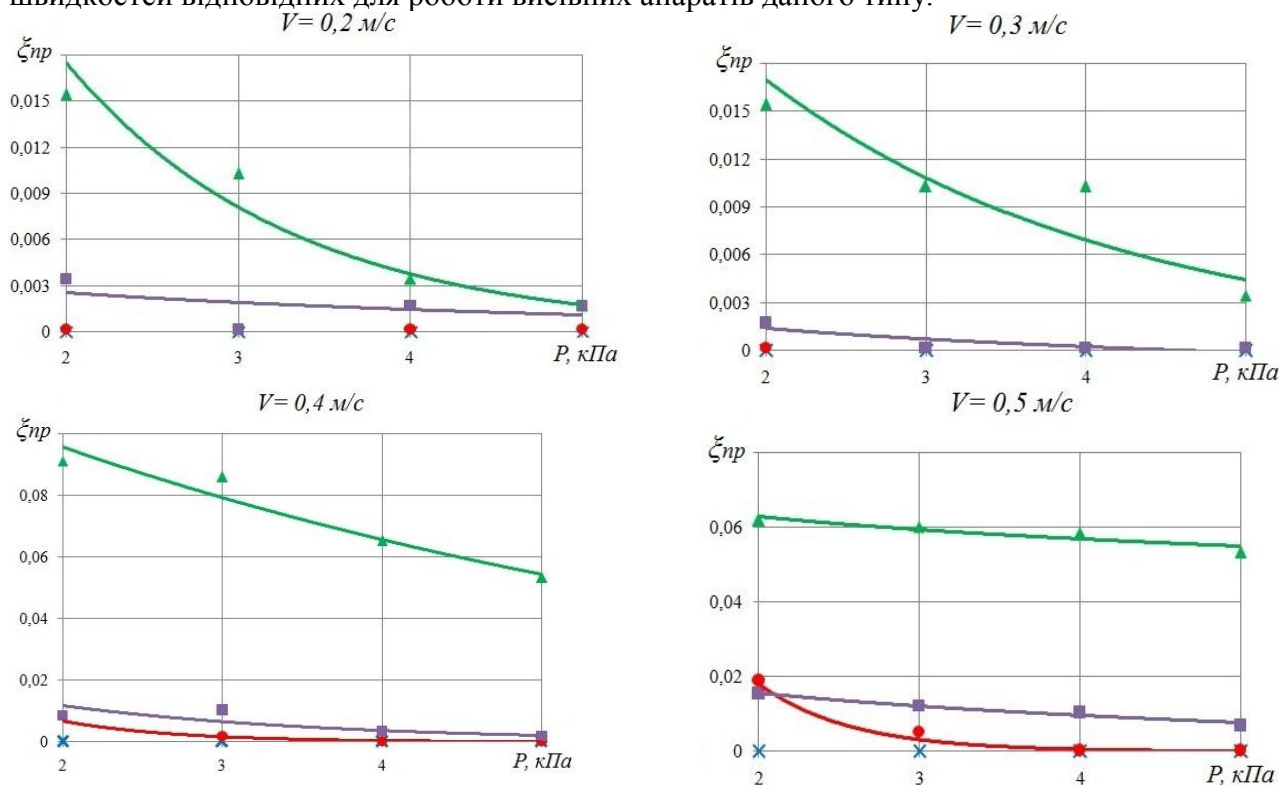
Розглянувши і проаналізувавши конструкції та особливості сучасних висівних апаратів очевидним є, що найбільш придатним та перспективним для удосконалень являється висівний апарат вакуумного типу сівалки СТБТ-12М виробництва ПАТ "Тодак" (Україна). Саме тому, сівалка СТБТ-12М з пневмомеханічними висівними апаратами, може працювати навіть на підвищених швидкостях до 9 км/год. без втрат якості і точності висіву.

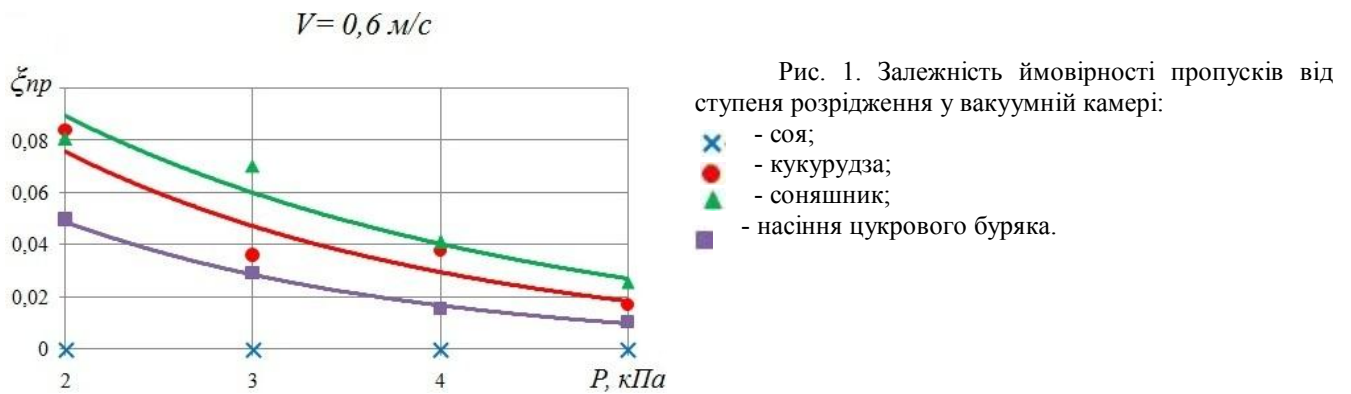
В роботі висівних апаратів проявляють себе три основні недоліки: пропуски в формуванні однозернового потоку; наявність двійників (одночасний висів двох і більше насінин) і травмування окремих насінин. Травмування насінин для пневмомеханічних апаратів нехарактерно, тому цим недоліком в даному дослідженні можна знехтувати [1].

У роботі пневмомеханічних апаратів пропуски обумовлені конструктивними особливостями самих апаратів і режимами їх експлуатації. Одним із суттєвих факторів, що впливає на пропуски є ступінь розрідження у вакуумній камері. Так як, від ступеня розрідження залежить присмоктуюча сила, то і ефективність захвату насінин також залежить від величини вакууму [2].

Основними технічними культурами для яких важливо виконання точного рядкового висіву є соя, кукурудза, соняшник і цукровий буряк. Насінини цих культур суттєво відрізняються як по фізико-механічним властивостям, так і по геометричним параметрам, і стану зовнішніх поверхонь.

На рис. 1. представлені такі залежності для насінин різних культур в інтервалі швидкостей відповідних для роботи висівних апаратів даного типу.





Як видно з графіків для всіх культур і швидкостей переміщення характерні спадаючі залежності, що вказують на зменшення ймовірності пропусків при збільшенні ступеня розрідження.

Найбільше цей зв'язок проявляється для насінин соняшника особливо на невеликій швидкості руху дозуючого елемента рівній $V = 0,2 \text{ м/с}$. Для інших культур цей перепад значно менший по величині і поступово знижується по мірі збільшення ступеня розрідження. Таким чином встановлено, що приріст розрідження зменшує різницю у ймовірностях пропусків між насінинами різних культур. Враховуючи, що насінини мають різну форму і стан поверхні в результаті чого по різному забезпечується щільність спряжень з коміркою, можна стверджувати, що приріст розрідження в деякій мірі компенсує при дозуванні різноманітність форм насінин [3, 4].

Відмічається відсутність пропусків для сої на низьких швидкостях руху $V < 0,4 \text{ м/с}$ і тільки при швидкості $V > 0,4 \text{ м/с}$ при виключеному розрідженні появляються окремі рідкі пропуски. Фізично пояснити це можна тим, що насінини сої як ніякі інші з досліджених, близькі по формі до сферичних. Вони легко захвачуються і ефективно утримуються коміркою конічної форми.

В протилежність цьому ведуть себе насіння соняшника. Для них ймовірність відмов у всьому інтервалі зміни швидкостей, сама висока серед досліджених культур. Так на швидкості $V = 0,4 \text{ м/с}$ ймовірність пропусків для соняшника досягає $\xi_{пр} \sim 0,1$, в той час як для інших культур вона на порядок менша. Це вказує на те, що крім форми насіння важливу роль в присмоктуванні і транспортуванні відіграє щільність матеріалу (маса насінини), яка впливає на розподіл зусиль при захваті її коміркою.

Список використаних джерел

1. Boiko A., Popyk P., Gerasymchuk I., Bannyi O., Gerasymchuk N. Application of the new structural solutions in the seeders for precision sowing as a resource saving direction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018, vol. 5, no. 1 (95). pp. 46-53.
2. Result of implementation of resource-saving system in agro-industrial complex. / I. Gerasymchuk, P. Popyk, N. Gerasymchuk, I. Shtuler, Y. Lisun // *Technology audit and production reserves*. 2018 - Vol. 2/5(40). P. 4-11.
3. Попик П.С. Адаптивність надійності висівного апарата з дозатором направленої дії як напрямок ресурсозбереження. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 3, 163-171.
4. Попик П.С. Вплив безвідмовності дозуючого елемента з комірками направленої дії пневмомеханічного висівного апарата на ймовірність точності висіву технічних культур. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 4, 41-47.

МОНІТОРИНГ СТАНУ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ СКЛАДНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

А. В. Новицький, доц., канд. техн. наук,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна, E-mail: Novytskyy@nubip.edu.ua

Для ефективного функціонування та забезпечення надійності складної сільськогосподарської техніки як складних технічних систем (СТС), необхідно володіти інформацією про основні показники її роботи. Проведений аналіз показує, що в сучасних складних сільськогосподарських машинах передбачається автономне обладнання, яке за допомогою відповідних датчиків надає інформацію про реальний стан системи та група датчиків, що передає інформацію на пульт керування [1]. Упорядкованість в роботі СТС досягається об'єднанням результатів постійного моніторингу про стан функціонування машини, її обробку і формування команд автоматизованого контролю за допомогою спеціального комп'ютерного обладнання.

Важливо, по-перше, володіти інформацією про технічний стан складної сільськогосподарської техніки для оцінки досягнутого рівня надійності та прийняття рішень виробником для його підвищення, а по-друге – для забезпечення працездатного стану при виконанні машиною технологічних операцій. Якщо в першому випадку може бути використано періодичний збір та аналіз інформації для умов машинобудівного виробництва, то в другому – ефективніше використовувати безперервний контроль параметрів техніки в процесі експлуатації, які визначають її справність або ж працездатність [1].

Машини та обладнання для тваринництва, розвивається в напрямку підвищення надійності машин, продуктивності і якості виконання технологічних операцій, активного використання в конструкціях досягнень інформаційних технологій [1-3]. Світовий ринок засобів для приготування і роздавання кормів (ЗПРК) за останні 10 років став одним з тих, що найбільш динамічно розвиваються [4, 5]. В останні десятиріччя в світі понад 120 компаній зайняті виробництвом ЗПРК, у тому числі організовано їх випуск чотирма машинобудівними підприємствами в Україні [5, 6].

Проведений аналіз літературних джерел [2-4] та власні дослідження авторів [5, 9, 10] показали, що на сьогоднішній день, для ефективного використання складної сільськогосподарської техніки закордонного виробництва використовуються способи і принципи інформаційного забезпечення систем контролю їх технічного стану. Вказані системи різні за технічним виконанням, можливостям та принципом роботи знайшли своє широке застосування в мобільних енергетичних засобах та складній сільськогосподарській техніці [7, 8].

Для вибору найбільш ефективної системи для кожного окремого прикладу необхідно чітко розуміння про їх призначення, споживчі властивості та функціональні можливості [12]. Це створює передумову до систематизації і структурування інформації про системи контролю технічного стану складної сільськогосподарської техніки з метою підвищення її надійності [10].

На основі аналізу наукової літератури і накопиченого фахівцями досвіду проведення ремонтно-профілактичних робіт на підприємствах технічного сервісу і ремонту, зроблено висновок про те, що в останні роки не в повному обсязі використовуються всі можливості технічного діагностування для якісного технічного обслуговування і ремонту (ТОР) ЗПРК [7-9]. Аналізом було встановлено, що недостатня наявність, а іноді і повна відсутність необхідної інформації, значно ускладнює, а в окремих випадках виключає можливість проведення якісного ТОР ЗПРК. Разом з тим, було встановлено, що для пошуку та обробки

вже наявної інформації витрачається багато часу, причому в силу ряду суб'єктивних ознак вона може бути спотворена, не повністю відображена або ж надходити несвоєчасно.

В останні роки ЗПРК розвивається в напрямку збільшення терміну служби та надійності машин, продуктивності та якості виконання технологічних операцій, активного використання в конструкціях досягнень електроніки, комп'ютерних та інформаційних технологій. Зазначені машини настільки різноманітні за конструктивним виконанням і функціональними можливостями, що дають широкі можливості з комплектування оптимального складу парку техніки з урахуванням усіх особливостей підприємства: розміру ферми, рівня розвитку інфраструктури та технічного оснащення, технології годівлі та раціонів, тощо [4-6].

Незважаючи на значну різноманітність конструктивного виконання ЗПРК, споживачів машин хвилює, в першу чергу, фактичний рівень надійності і тип робочих органів, відповідність кормової суміші зоотехнічним вимогам [12]. В останні роки окремі моделі самохідних ЗПРК оснащуються відеокамерами заднього виду, джойстиками управління, повнопривідними шасі, автоматизованими системами діагностики.

Для аналізу стану рівня техніки в галузі точного тваринництва, автоматизації та роботизації було проведено аналіз літературних джерел, в результаті якого підібрана відповідна інформація з метою систематизації і визначення тенденцій розвитку вказаного напрямку [1-3]. Було проведено аналіз статей в яких містяться елементи точного тваринництва, включаючи технології глобального позиціонування (GPS), географічні інформаційні системи (GIS), технології оцінки продуктивності тварин та інші, які отримали найбільший розвиток період 2010-2020 років [2, 3, 5].

Заслуговує на увагу при дослідженні ЗПРК система управління роботизованим кормороздавачем [6]. Серед розглянутих патентів та з метою аналізу ЗПРК та їх механізмів, заслуговує на увагу пристрій для контролю гостроти ріжучої крайки ножа [14]. Цікавою, з точки зору дослідження умов роботи, якості технологічного процесу подрібнення-змішування і технічного стану механізму подрібнення-змішування ЗПРК є пристрій для перемішування і різання кормів для тварин [15]. Також було проаналізовано ряд наукових праць авторів, в яких представлені класифікація робочих органів ЗПРК [11] та дослідження робочих органів кормодробарок з використанням технологій комп'ютерної голографії [1]. Систематичне проведення операцій контролю на різних стадіях технологічного процесу і статистична обробка результатів дозволяє визначити періоди, на яких виникають дефекти, встановити і усунути причини виникнення браку.

Важливими і актуальними в напрямі подальших досліджень є підвищення надійності складної сільськогосподарської техніки як складних технічних систем, відображення аспектів їх інформаційного забезпечення та відповідності інженерно-психологічним вимогам до машин.

Список використаних джерел

1. Novitskiy A., Karabinhosh S. Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 2. 241. P. 106–121.
2. Morrone, S.; Dimauro, C.; Gambella, F.; Cappai, M.G. Industry 4.0 and Precision Livestock Farming (PLF): An up to Date Overview across Animal Productions. *Sensors* 2022, 22, 4319. <https://doi.org/10.3390/s22124319>.
3. Norton, T.; Chen, C.; Larsen, M.L.V.; Berckmans, D. Review: Precision livestock farming: Building “digital representations” to bring the animals closer to the farmer. *Animal* 2019, 13, pp. 3009–3017.
4. Viatcheslav Loveikin, Vasyl Khmelovskyi, Vasyl Lukach, Vasyl Achkevych. Improving efficiency of mobile combined feed mixer. *Engineering for rural development*. 25-27.05.2022 Jelgava. 2022. pp. 853–859.
5. Zinoviy Ruzhlyo, Andriy Novitskii, Dmytro Milko, Volodymyr Bulgakov, Ivan Beloev, Adolfs Rucins. Mathematical model for reliability assessment of device for preparation and distribution of animal feed as “Man-Machine”. *Engineering for rural development*. 25-27.05.2022 Jelgava, 2022. pp. 911–917.
6. Fuyang T., Yuhua C., Zhanhua S., Yinfa Y. Finite Element Simulation and Performance Test of Loading and Mixing Characteristics of Self-Propelled Total Mixed Ration Mixer. *Journal of Engineering*, 2020, vol. 12, pp. 1–15.

7. Aulin, V., Hryniv, A., Lyashuk, O., Vovk, Y., Lysenko, S., Holub, D., Zamota, T., Pankov, A., Sokol, M., Ratynskiy, V., Lavrentieva, O. Increasing the functioning efficiency of the working warehouse of the "Uvk Ukraine" company transport and logistics center (2020) Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 22 (2), pp. 3–14.
8. Аулін В. В., Лисенко С. В., Голуб Д. В., Гриньків А. В., Мартиненко О. Д. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. Харків. 2015. Вип. 158. С. 252–262.
9. Новицький А. В. Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування складних технічних систем у тваринництві. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. К., 2016. Вип. 254, ч. 3. С. 334–338.
10. Новицький А. В., Банний О. О., Бистрий О. М. Дослідження впливу експлуатаційних факторів на технічний стан сільськогосподарської техніки. 2021, Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 4. P. 39–46.
11. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Класифікація робочих органів типу "ніж" засобів для приготування і роздавання кормів. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2017. Вип. 262 (2017). С. 287–296.
12. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Технічна оцінка споживчих якостей сільськогосподарської техніки. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 264 (2017). С. 293–303.
13. Новицький А. В. Моніторинг матеріально-технічного забезпечення та надійності техніки АПК в системі розвитку інноваційних процесів. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, P. 87–94.
14. Устройство для контроля остроты режущей кромки ножа CLAAS AG-ROSYSTEMS KGAA MBH & CO KG [DE], Германия, 2014 г., A01D41/127 G06K9/46.
15. Устройство для перемешивания и резки кормов для животных LELY PATENT NV [NL], Нидерланды, 2015 г., A01K5/00 A23K1/00 B02C25/00.

ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА ТЕХНІЧНИЙ СТАН І НАДІЙНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

А. В. Новицький, доц., канд. техн. наук,

О. М. Бистрий, старший викладач

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

м. Київ, Україна, E-mail: Novytskyi@nubip.edu.ua

Аналіз сучасного рівня технічного забезпечення аграрного виробництва вказує на відсутність можливостей швидкого оновлення зношеного парку сільськогосподарської техніки, включаючи машини та обладнання для тваринництва [8, 9]. Залишається важливим та актуальним завданням підвищення технічної готовності та ефективності використання сільськогосподарської техніки, включаючи такий важливий сектор машин та обладнання тваринництва, як засоби для приготування і роздавання кормів (ЗПРК) [3, 7, 8].

Одним з основних напрямків вирішення зазначеної задачі є вивчення технічної готовності при плануванні основних етапів, об'єктів та обсягів робіт з технічного обслуговування і ремонту (ТОР) сільськогосподарської техніки [1, 2, 9]. При плануванні етапів ТОР актуальним є удосконалення методів оцінки технічного стану, моніторингу умов експлуатації сільськогосподарської техніки, розробка методів їх обліку, аналізу та корегування. Підвищення конкурентоспроможності аграрних підприємств нерозривно пов'язане з необхідністю широкого впровадження ресурсощадних технологій.

Для приготування кормових сумішей тваринам використовують машини, що потребують використання значної частки ручних операцій, включаючи завантаження, подрібнення, змішування, дозування та роздавання [3, 7, 8]. Виходячи з цього, в наукових статтях останніх років визначився комплекс досліджень, що включає вивчення та удосконалення конструкцій ЗПРК [3, 5, 6], підвищення ефективності їх використання [2, 5, 6] та техніко-економічне обґрунтування забезпечення якості продукції [8, 9]. В існуючих літературних джерелах, теоретичних та експериментальних дослідженнях недостатньо уваги приділено вивченню надійності техніки як складних технічних систем (СТС), із врахуванням умов експлуатації, впливу людського фактору, організації роботи інженерно-технічної служби, формування системи технічного обслуговування і ремонту (СТОР) [1, 12, 13].

У випадках виникнення складності введення методів контролю основних техніко-експлуатаційних характеристик ЗПРК та складності реалізації безпосередньої системи діагностування, доцільним є використання методів опосередкованого контролю їх технічного стану.

Одним із напрямів реалізації досліджень впливу експлуатаційних факторів на технічний стан сільськогосподарської техніки можуть бути використані методи експертних оцінок [4, 8, 9]. Методи експертних оцінок є важливим інструментом визначення загальних тенденцій розвитку, параметрів і технічного рівня складних технічних систем СТС "Людина-Машина" [12, 13]. Методика проведення експертної оцінки детально описана в статті [9], з вивченням питань формування експертних груп, компетентності експертів, форм роботи з експертами, формуванням анкет і таблиць експертних оцінок, а також аналізу і проведення експертної оцінки, в тому числі з урахуванням узгодженості думок окремих експертів.

В основу методу експертних оцінок покладені знання фахівців і накопичений ними досвід при проведенні науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, інформація з науково-технічної літератури та патентної документації в конкретній галузі в поєднанні з сучасними математичними методами обробки даних. Основними факторами при проведенні експертних оцінок, що визначають надійність і точність оцінки, є підбір експертів і їх

компетентність. В проведенні опитування прийняли участь десять експертів, що займаються експлуатацією і підтриманням працездатності ЗПРК.

Нами визначена класифікація умов експлуатації, з огляду їх впливу на зміну технічного стану ЗПРК. Представлена класифікація включає десять характерних умов експлуатації ЗПРК. Кожна із зазначених умов визначається відповідними факторами:

- умови використання: на площадці з твердим покриттям; в кормоцеху;
- кліматичні умови: температура навколишнього середовища; вологість; кількість опадів; агресивність середовища; запиленість повітря;
- інтенсивність експлуатації та навантаження на робоче обладнання: інтенсивність експлуатації; рівень навантаження; навантаження на робоче обладнання;
- категорії кормів і їх забрудненість: категорії кормів; забрудненість кормів;
- характер і прийоми управління: характер управління засобом; прийоми управління засобом;
- надійність конструкції засобу: надійність конструкції засобу; довговічність робочих органів;
- система ТО і ремонту: своєчасність проведення ТО і ремонту; якість проведення ТО і ремонту; повнота проведення ТО і ремонту; інфраструктура ремонтно-обслуговуючої бази;
- стан контролю інженерно-технічної служби: стан контролю інженерно-технічної служби;
- організаційно-технологічні чинники: різномарочність машин; організаційно-технологічна документація; відповідність зоотехнічним вимогам; короткочасне зберігання; міжзмінне зберігання;
- професійно-важливі якості працівників: стаж роботи оператора; кваліфікація оператора; стаж роботи ремонтного працівника; кваліфікація ремонтного працівника.

Виходячи із представленого вище, використання методу експертних оцінок для оцінки надійності машин допомагає формалізувати процедури збирання, обробки та аналізу досвіду спеціалістів з метою перетворення їх у форму, найбільш зручну для прийняття обґрунтованого рішення.

Список використаних джерел

1. Aulin, V., Hryniv, A., Lyashuk, O., Vovk, Y., Lysenko, S., Holub, D., Zamota, T., Pankov, A., Sokol, M., Ratynskiy, V., Lavrentieva, O. Increasing the functioning efficiency of the working warehouse of the "Uvk Ukraine" company transport and logistics center (2020) Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 22 (2), pp. 3–14.
2. Aulin, V., Hryniv, A., Lysenko, S., Dykha, A., Zamota, T., Dzyura, V. (2019). Exploring a possibility to control the stressed/strained state of cylinder liners in diesel engines by the tribotechnology of alignment. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (12 (99)), 6–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.171619>.
3. Fuyang T., Yuhua C., Zhanhua S., Yinfa Y. Finite Element Simulation and Performance Test of Loading and Mixing Characteristics of Self-Propelled Total Mixed Ration Mixer. Journal of Engineering, 2020, vol. 12, pp. 1–15.
4. Novitskiy A., Karabinhosh S. Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. Machinery & Energetics. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 2. 241. P. 106–121.
5. Pylypaka S. F., Klendii M. B., Trokhaniak V. I., Pastushenko A. S., Novitskiy A. V. Movement of a material particle on an inclined plane all the points of which describe circles in oscillatory motion in the same plane. Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. №1 (97) / 2020. Karaganda, 2020. pp. 122–131. Scopus. WoS.
6. Vasyl Khmelovskiy, Volodymyr Otchenashko, Semen Voloshyn, Olena Pinchevska. Providing processes of preparation and distribution of feed for cattle on animal husbandry farms. Proceedings of 18th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 20–22, 2020. pp. 778–783. Scopus. WoS.
7. Viatcheslav Loveikin, Vasyl Khmelovskiy, Vasyl Lukach, Vasyl Achkevych. Improving efficiency of mobile combined feed mixer. Engineering for rural development. 25-27.05.2022 Jelgava. 2022. pp. 853–859.

8. Zinoviy Ruzhylo, Andriy Novitskii, Dmytro Milko, Volodymyr Bulgakov, Ivan Beloev, Adolfs Rucins. Mathematical model for reliability assessment of device for preparation and distribution of animal feed as “Man-Machine”. Engineering for rural development. 25-27.05.2022 Jelgava, 2022. pp. 911–917.
9. Новицький А. В., Банний О. О., Бистрий О. М. Дослідження впливу експлуатаційних факторів на технічний стан сільськогосподарської техніки. 2021, Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 4. P. 39–46
10. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Класифікація робочих органів типу "ніж" засобів для приготування і роздавання кормів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. К., 2017. Вип. 262. С. 287-296.
11. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Технічна оцінка споживчих якостей сільськогосподарської техніки. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. К., 2017. Вип. 264. С. 293–303.
12. Новицький А. В., Ружи́ло З. В. Визначення функції готовності систем "людина – машина" при зростанні інтенсивностей відмов. Machinery & energetics. Journal of Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No. 2. P. 89–96.
13. Новицький А. В. Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування складних технічних систем у тваринництві. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. К., 2016. Вип. 254, ч. 3. С. 334-338.

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАМОВЛЕНЬ СКЛАДСЬКОЮ СИСТЕМОЮ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

Д.О. Каменєв, *ст. гр. Т-52-22,*

О.В. Павленко, *доц., канд. техн. наук*

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна

Збільшення прибутковості в діяльності виробничого підприємства передбачає оптимізацію всіх складових процесів, які пов'язані з виробництвом готової продукції починаючи з моменту замовлення сировини, напівфабрикатів, комплектуючих до безпосереднього виробництва продукції [1]. Одним з таких процесів є функціонування складської системи. За визначенням склад є територією, приміщенням (також їх комплекс), яке призначене для зберігання матеріальних цінностей і надання складських послуг [2].

У логістиці складська система виконує функцію акумулювання резервів матеріальних ресурсів, необхідних для демпфірування коливань обсягів поставок і попиту, а також синхронізації швидкостей потоків товарів в системах просування від виробників до споживачів або потоків матеріалів в технологічних виробничих системах [3].

Наявність складської системи будь-якого виробничого підприємства – важливий фактор логістики товару, саме тому потрібно здійснювати перебудову та модернізацію складів [4]. Від цього залежить ефективність управління запасами. На етапі розвитку логістичної галузі сучасних складських приміщень, як і раніше, не вистачає. На підприємстві логістика охоплює багато сфер діяльності, таких, як постачання, виробництво та збут продукції. Найважливіші процеси складського господарства – це зберігання та складування продукції [5]. Для забезпечення найменших витрат, пов'язаних із потоком ресурсів через указані сфери діяльності від постачальника до споживачів, є основним завданням, що вирішує процесу доставки вантажів різного типу [6].

Найбільші вісім логістичних компаній, які працюють в сфері надання послуг з складського зберігання, за обсягом власної та орендованої площі, концентрують увагу на якість надання послуг та постійних пошук стійких рішень по оптимізації використання майданчиків (табл.1).

Таблиця 1 – Найбільші логістичні оператори, які надають складські послуги в Україні.

Назва підприємства	Площа, тис.м ²	Тип обслуговування
"ZAMMLER"	75	Локальне
"Kuehne+Nagel"	67	Міжнародне
"Raben"	53	Міжнародне
"Ekol"	58	Міжнародне
"FM Logistic"	55	Міжнародне
"УБК"	50	Локальне
"Logistic Plus"	27	Локальне
"НП Логистик"	27	Локальне

Компанію "ZAMMLER" визнано найбільшим логістичним оператором за обсягом складських площ в Україні в 2021 році. Про це свідчать дані консалтингової компанії у сфері

нерухомості "CBRE Ukraine". Згідно оприлюдненого рейтингу, "ZAMMLER" – на першому місці серед логістичних операторів, які здійснюють логістичні операції на власних та орендованих площах. "ZAMMLER", у зв'язку із співпрацею з новими клієнтами, в 2020 році розширила складські площі на 12500 м² і тепер загальний обсяг їх сягає 75000 м² [7].

До основних проблем, що виникають на складі виробничих підприємств та мають вплив на розмір витрат на його функціонування, відносять [1]: 1. Відсутність погоджених дій між структурними підрозділами підприємства. 2. Великі витрати часу на виконання більшості операцій. 3. Крадіжка матеріальних цінностей. 4. Нераціональне або неповне використання складського приміщення. 5. Втрати товарів, або їх псування через неправильний процес видачі товарів. 6. Неможливо забезпечити повний набір послуг [1].

Аналіз наукових розробок та публікацій вчених, які досліджували удосконалення роботи складських систем та побудови ефективного функціонування складів в логістиці постачання, дозволяє визначити основні результати та напрямки розвитку:

- формування стійких систем постачання продукції з урахуванням раціонального використання: елеваторів, шляхів, залізничних станцій та складської інфраструктури на основі сучасних методів моделювання [8-12];

- визначення ефективних технологій обслуговування замовлень різними системами з урахуванням стохастичності попиту на транспортні, складські послуги [13-16];

- впровадження сучасних термінальних систем та логістичних центрів при організації доставки та обслуговування замовлень [17-19];

- розробка логістичних ланцюгів постачання відповідних видів вантажів з урахуванням рівня замовлень, втрат при виконанні технологічних та складських операцій [20-22].

Таким чином, аналіз сучасного стану та наукові роботи вчених, як в Україні та і за кордоном показав, що була приділена значна увага розвитку інфраструктурної складової, рішень оптимізаційних задач щодо процесу завезення-вивезення вантажів в складську систему різних типів підприємств, але без визначення оптимальних значень технологічних параметрів функціонування складських систем виробничого підприємства.

Список використаних джерел

1. Карінцева О.І., Харченко М.О., Пономарьова Г.С. Підвищення ефективності бізнес-процесів на виробничому підприємстві // Механізм регулювання економіки. 2020. № 4. С. 58-69.
2. Павленко О.В., Великодний Д.О. Побудова ефективної складської системи підприємства при переробці сільськогосподарських вантажів. Комунальне господарство міст. 2021. № 166. С. 217-226
3. Pavlenko O., Kopytkov D. An approach to determine the rational scheme of delivery for the international consolidated shipments. Комунальне господарство міст, 2019. № 147. С.35-41
4. Тиранський І.П. Складське підприємство у сучасних умовах. Вісник НУ "Львівська політехніка". 2009. № 446. С. 95–96.
5. Aulin V., Lyashuk O., Pavlenko O., Velykodnyi D., Hryniv A., Lysenko S., Holub D., Vovk Y., Dzyura V., Sokol M. Realization of the logistic approach in the international cargo delivery system. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 2019, № 21(2), pp. 3-12.
6. Волкова Т.В., Павленко О.В. Удосконалення управління якістю доставки зерна автомобільним транспортом на території України. Комунальне господарство міст. 2020. №154 (1). С.216-222.
7. ZAMMLER – лідер серед складських операторів України. <https://www.zammler.com.ua/ua/zammler-lider-sered-skladskih-operatoriv-ukrayini/>
8. Okyere S., Yang J.Q., Aning K.S., Zhan B. Review of Sustainable Multimodal Freight Transportation System in African Developing Countries: Evidence from Ghana. International Journal of Engineering Research in Africa, 2019. №41, pp. 155-174.
9. Shramenko N., Pavlenko O., Muzylyov D. Logistics Optimization of Agricultural Products Supply to the European Union Based on Modeling by Petri Nets. In: Karabegović I. (eds) New Technologies, Development and Application III. NT 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, 128. Springer, Cham, 2020, pp. 596-604.
10. Музильов Д.О., Павленко О.В. Модель функціонування системи доставки насіння зернових культур у контейнерах з США до України. Комунальне господарство міст. 2022, № 171 (4), С. 179-184.
11. Aulin V., Velykodnyi D., Dyachenko V. Concept of development and formation of transport-logistic systems in the agroindustrial complex. Modern Management: Logistics and Education. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2018. pp.165-169.

12. Olskevych M., Taran I., Volkova T., Klymenko I. Simulation of cargo delivery by road carrier: case study of the transportation company. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2022, № 2, pp. 118-123.
13. Muzylyov D., Shramenko N., Karnaukh M. Choice of Carrier Behavior Strategy According to Industry 4.0. In: Ivanov V., Trojanowska J., Pavlenko I., Zajac J., Peraković D. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2021. Pp. 213-222.
14. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Розв'язання проблеми надійності технологічних процесів вантажних перевезень підприємствами агропромислового виробництва. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. Вип. 1(32). С.36-45.
15. Aulin V., Pavlenko O., Velikodnyy D., Kalinichenko O., Zielinska A., Hrinkiv A., Diychenko V., Dzyura V. Methodological approach to estimating the efficiency of the stock complex facing of transport and logistic centers in Ukraine. *Proceedings Paper 1st International Scientific Conference on Current Problems of Transport (ICCPT)*, 2019. pp. 120-132.
16. Альошинський Є.С., Мещеряков В.В., Бондаренко А.В. Підвищення рівня обслуговування систем управління запасами шляхом інтеграції процесів транспортної логістики. *Вісник НТУ "ХП"*. 2017. №44(1266). С. 47-52.
17. Shramenko N., Shramenko V. Simulation model of the process of delivering small consignments in international traffic through the terminal system. *CEUR Workshop Proceedings*, 2020, Vol. 2711, pp. 443-454.
18. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортнологістичній системі АПК // *Міжвузівський збірник "Наукові нотатки"*. Луцьк: Луцький НТУ, 2018. №62. С.8-11
19. Kopytkov D., Pavlenko O., Kalinichenko O. A technique to determine the optimum package of logistic services provided by the transport and logistics centre. *Modern Management: Logistics and Education. Monograph*. 2018, pp. 150-157.
20. Hashemi-Amiri O., Ghorbani F., Ji R. Integrated supplier selection, scheduling, and routing problem for perishable product supply chain: A distributionally robust approach, *Computers & Industrial Engineering*. 2023. № 175, 108845.
21. Pavlenko O., Muzylyov D., Shramenko N., Cagáňová D., Ivanov, V. Mathematical Modeling as a Tool for Selecting a Rational Logistical Route in Multimodal Transport Systems. In: Cagáňová, D., Horňáková, N. (eds) *Industry 4.0 Challenges in Smart Cities. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*. Springer, Cham., 2023, pp. 23-37.
22. Павленко О.В., Музыльов Д.О. Стабільна модель функціонування логістики для постачання швидкопсувних продуктів маршрутами Україна – Польща. *Комунальне господарство міст*, 2023. Т. 1, Вип. 175, С. 237-242.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ РОЗРОБОК ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ ПОСТАЧАННЯ ПРОДУКЦІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ НА МАРШРУТАХ УКРАЇНА – ЄС

О.В. Павленко, доц., канд. техн. наук

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна

Сучасні виробники потребують раціонального логістичного обслуговування систем доставки продукції машинобудування транспортними компаніями на різних видах сполучень. Цей факт дає хорошу можливість для їх успішного розвитку. Це також певним чином впливає на фінансовий стан і конкурентоспроможність компанії, підвищуючи рівень задоволеності клієнтів. Проте формування постачання продукції машинобудування потребує розробки системної методології управління та організації таких технологій [1], розробка яких неможлива без вивчення особливостей виконання. Особливої уваги потребує система організації постачання з точки зору мінімізації збоїв [2], причинно-наслідкових зв'язків для оцінки ризиків [3], забезпечення синхронізації технології постачання [4], створення простежуваності логістики розподілу продукції [5].

Розвиток технології постачання товарів між Україною та Європейським Союзом (ЄС) відбувається завдяки збільшенню торгових відносин. Протягом останніх років (2018-2021 рр.) експорт товарів почав збільшуватися (рис. 1) до країн Європи за вартісними показниками [6]. Хоча під впливом пандемії коронавірусу відбулося уповільнення розвитку торгівлі, ця тенденція була по всьому світу. Обсяг експорту до п'яти європейських країн зріс з \$11,343 млн. до \$15,447 млн. США за статистику з 2018 по 2021 рік, що відповідає збільшенню в 1,36 рази.

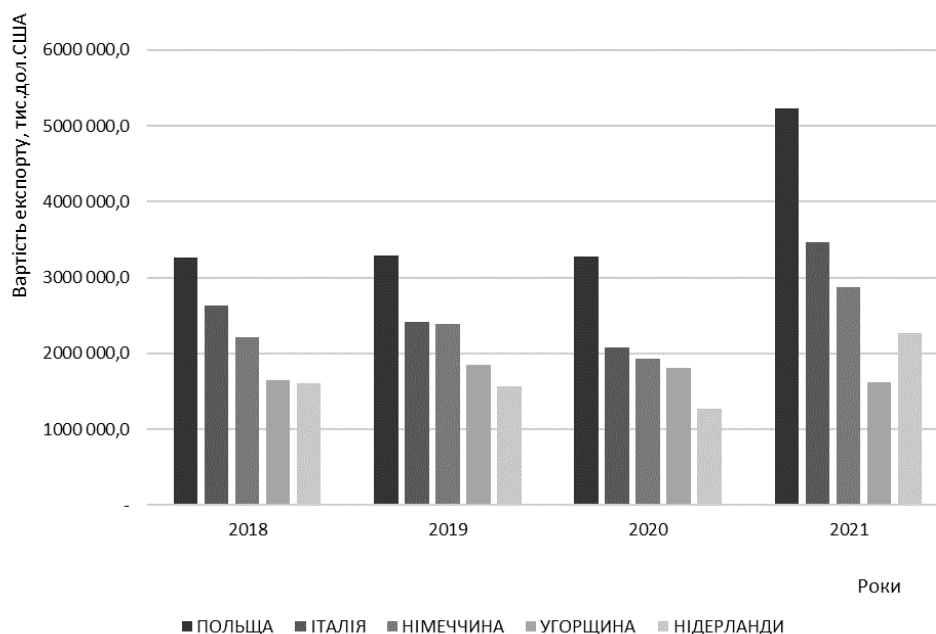


Рисунок 1 – Вартісний обсяг українського експорту до п'яти європейських країн у 2018-2021 рр.

Для побудови раціональної організації постачання продукції машинобудування в Європу з України необхідно використовувати світовий досвід на основі технологій "Industry 4.0" [7, 8, 9], впровадження "SMART-рішень" [10,11], комплексного підходу в управлінні [12,13]. Також дуже важливо враховувати ефективне використання ресурсів і зниження витрат для кожного учасника ланцюга поставок [14]. Актуальні рішення в галузях логістичного ринку важливі для створення раціонального постачання товарів на

міжнародних напрямках з урахуванням часу кожної операції та можливості формування консолідованих відправлень.

Проблема створення структури технології постачання з найменшими витратами на її функціонування є однією з найважливіших [15]. Це особливо актуально для компаній, які мають намір експортувати спеціалізовані товари [16, 17]. Пошук рішень вимагає значних досліджень у сферах пошуку відмінних рис для бізнес-моделей логістичних і транспортних компаній та їх трансформації в цифрову економіку [18]. Створення нових цифрових технологій в рамках "Industry 4.0" забезпечило більш ефективне управління ланцюгом поставок. Цифрова трансформація вважається ключовим засобом досягнення гнучкості ланцюга поставок [19, 20]. Використання інтелектуальних технологій для управління існуючими ланцюгами поставок і розробки відповідних бізнес-стратегій для транспортних компаній вимагає визначення використовуваного рівня цифровізації [21]. Дуже важливо розуміти, як можна досягти оптимальних відносин між постачальниками та одержувачами, а також яку роль у цьому відіграють логістичні компанії. Усе це розширить можливості для оптимізації стратегій планування. Питання проектування раціональної логістики доставки на основі цифрових рішень вимагає визначення динаміки ланцюгів поставок і складу послуг [22, 23]. Такі умови створюють невизначеність серед споживачів логістичних послуг, тому виникає необхідність використання сучасних базових цифрових рішень (IoT, хмарні обчислення, великі дані, штучний інтелект і блокчейн) [24, 25, 26].

Таким чином, аналіз сучасних розробок щодо організації постачання продукції машинобудування на маршрутах Україна – ЄС в показав, що була приділена значна увага розвитку та впровадженню сучасних рішень з цифровізації, зменшенню ризиків, створенню стійких систем. Тому для розробки методики з раціоналізації організації постачання потрібно визначити нові варіанти технології доставки з урахуванням нових тенденцій.

Список використаних джерел

1. Galkin A., Yemchenko I., Lysa S., Tarasiuk M., Chortok Y., Khvesyk Y. Exploring the relationships between demand attitudes and the supply amount in consumer-driven supply chain for FMCG. *Acta Logistica*. 2022. № 9(1), pp 1-12.
2. Nimmy S.F., Hussain O.K., Chakraborty R.K., Hussain F.K., Saberi M. Explainability in supply chain operational risk management: A systematic literature review. *Knowledge-Based Systems*. 2022. 235, 107587.
3. Shafiee M., Zare-Mehrjerdi Y., Govindan K., Dastgoshade S. A causality analysis of risks to perishable product supply chain networks during the COVID-19 outbreak era: An extended DEMATEL method under Pythagorean fuzzy environment. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2022. № 163, 102759.
4. Wu Y., Zhang Y. An integrated framework for blockchain-enabled supply chain trust management towards smart manufacturing. *Advanced Engineering Informatics*. 2022. № 51, 101522.
5. Anastasiadis F., Manikas I., Apostolidou I., Wahbeh S. The role of traceability in end-to-end circular agri-food supply chains, *Industrial Marketing Management*. 2022. № 104, pp. 196-211.
6. Офіційний сайт Державної митної служби України. <https://cabinet.customs.gov.ua/>
7. Rad F.F., Oghazi P., Palmié M., Chirumalla K., Pashkevich N., Patel P.C., Sattari S. Industry 4.0 and supply chain performance: A systematic literature review of the benefits, challenges, and critical success factors of 11 core technologies, *Industrial Marketing Management*. 2022 № 105, pp.268-293.
8. Muzylyov D., Shramenko N., Karnaukh M. Choice of Carrier Behavior Strategy According to Industry 4.0. In: Ivanov V., Trojanowska J., Pavlenko I., Zajac J., Peraković D. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2021. Pp. 213-222.
9. Pavlenko O., Muzylyov D., Shramenko N., Cagánová D., Ivanov V. Mathematical Modeling as a Tool for Selecting a Rational Logistical Route in Multimodal Transport Systems. In: Cagánová, D., Horňáková, N. (eds) *Industry 4.0 Challenges in Smart Cities. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*. Springer, Cham., 2023, pp. 23-37.
10. Woschank M., Steinwiedder D., Kaiblinger A., Miklautsch P., Pacher C., Zsifkovits H. The Integration of Smart Systems in the Context of Industrial Logistics in Manufacturing Enterprises, *Procedia Computer Science*. 2022. № 200, pp. 727-737.
11. Павленко О.В., Музыльов Д.О. Стабільна модель функціонування логістики для постачання швидкопсувних продуктів маршрутами Україна – Польща. *Комунальне господарство міст*, 2023. Т. 1, Вип. 175, С. 237-242.
12. Pavlenko O., Kopytkov D. An approach to determine the rational scheme of delivery for the international consolidated shipments. *Комунальне господарство міст*, 2019. № 147. С.35-41

13. Aulin V., Velykodnyi D., Dyachenko V. Concept of development and formation of transport-logistic systems in the agroindustrial complex. *Modern Management: Logistics and Education. Monograph.* Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2018. pp.165-169.
14. Aulin V., Lyashuk O., Pavlenko O., Velykodnyi D., Hryniv A., Lysenko S., Holub D., Vovk Y., Dzyura V., Sokol M. Realization of the logistic approach in the international cargo delivery system. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 2019, № 21(2), pp. 3-12.
15. Naumov V., Zhumatayeva G., Taran I., Bazarbekova M., Kenzhegaliev B. Selecting a Rational Scheme of Delivery by Road Transport: A Case Study of Goods Deliveries from China to Russia through Kazakhstan 2022. №14(9), 4954.
16. Kopytkov D., Pavlenko O., Kalinichenko O. A technique to determine the optimum package of logistic services provided by the transport and logistics centre. *Modern Management: Logistics and Education. Monograph.* 2018, pp. 150-157.
17. Palkina E. Transformation of business models of logistics and transportation companies in digital economy, *Transportation Research Procedia*. 2022. № 63, pp. 2130-2137.
18. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Розв'язання проблеми надійності технологічних процесів вантажних перевезень підприємствами агропромислового виробництва. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Кропивницький: ЦНТУ*, 2019. Вип. 1(32). С.36-45.
19. Музильов Д.О., Павленко О.В. Модель функціонування системи доставки насіння зернових культур у контейнерах з США до України. *Комунальне господарство міст*. 2022, № 171 (4), С. 179-184.
20. Shramenko N., Pavlenko O., Muzylyov D. Logistics Optimization of Agricultural Products Supply to the European Union Based on Modeling by Petri Nets. In: Karabegović I. (eds) *New Technologies, Development and Application III. NT 2020. Lecture Notes in Networks and Systems*, 128. Springer, Cham, 2020, pp. 596-604.
21. Yang M., Fu M., Zhang Z. The adoption of digital technologies in supply chains: Drivers, process and impact, *Technological Forecasting and Social Change*. 2021. № 169, 120795.
22. Aulin V., Pavlenko O., Velikodnyy D., Kalinichenko O., Zielinska A., Hryniv A., Dyachenko V., Dzyura V. Methodological approach to estimating the efficiency of the stock complex facing of transport and logistic centers in Ukraine. *Proceedings Paper 1st International Scientific Conference on Current Problems of Transport (ICCPT)*, 2019. pp. 120-132.
23. Shramenko N., Shramenko V. Simulation model of the process of delivering small consignments in international traffic through the terminal system. *CEUR Workshop Proceedings*, 2020, Vol. 2711, pp. 443-454.
24. Oliskevych M., Taran I., Volkova T., Klymenko I. Simulation of cargo delivery by road carrier: case study of the transportation company. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2022, № 2, pp. 118-123.
25. Muzylyov D., Shramenko N., Ivanov V. Management Decision-Making for Logistics Systems Using a Fuzzy-Neural Simulation. In: Cagáňová D., Horňáková N., Pusca A., Cunha P.F. (eds) *Advances in Industrial Internet of Things, Engineering and Management. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*. Springer, Cham. 2021. pp. 175-192.
26. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортнологістичній системі АПК // *Міжвузівський збірник "Наукові нотатки"*. Луцьк: Луцький НТУ, 2018. №62. С.8-11

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОБЛЕМНИХ ПИТАНЬ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ ЕФЕКТИВНИХ ВАРІАНТІВ ОБОРОТУ КОНТЕЙНЕРІВ НА МАРШРУТАХ УКРАЇНА – ЄС – УКРАЇНА

О.В. Шматько, ст. гр. Т-41-19,
О.В. Павленко, доц., канд. техн. наук

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна

Доставка вантажів у контейнерах визнана найбільш сучасним та якісним способом транспортування вантажів у міжнародному сполученні. Використання контейнерів підвищує ефективність перевезень, оскільки істотно знижуються витрати, пов'язані з переміщенням, зберіганням і перевалкою вантажів. Так, застосування контейнерних технологій дозволяє знизити частку транспортної складової в кінцевій ціні товару від 2% до 11%. Підбір раціональної технології обслуговування замовлень і як результат, зниження витрат на доставку - пріоритетне завдання для багатьох компаній, основною метою яких є надання потрібного товару в потрібній кількості, потрібної якості і в потрібний час [1].

На теперішній час актуальність контейнерних міжнародних перевезень зростає, про це свідчить існування та створення нових великих, сучасних компаній, які спеціалізуються саме на цьому виді організації доставки вантажу [2]. Вони конкурують між собою, пропонуючи клієнтам все кращі, економніші, швидші, якісніші способи обробки замовлень і доставки у контейнерах у міжнародному сполученні та можливість доставляти вантаж у будь-яку точку світу, що в свою чергу, свідчить про те, що необхідно розробляти ефективні технології.

Обсяги торгівлі між країнами Європейського Союзу (ЄС) та Україною в 2021 році були нерівномірними [3]. Вартість експорту десяти перших країн ЄС складає 21997 млн. дол. США (рис.1), а вартість імпорту цих країн – 21542 млн. дол. США (рис.2). Різниця складає 454,951 млн. дол. США з негативним сальдо для України. Це говорить про нерівномірне завантаження транспортних засобів на різних видах транспорту, в тому числі при контейнерних перевезеннях. Напрямок до країн ЄС залишається єдиним для відправлення контейнерних вантажів. Достатня велика кількість вантажів прибуває з країн ЄС в контейнерах. Тому виникає питання ефективного завантаження контейнерів в обох напрямках.

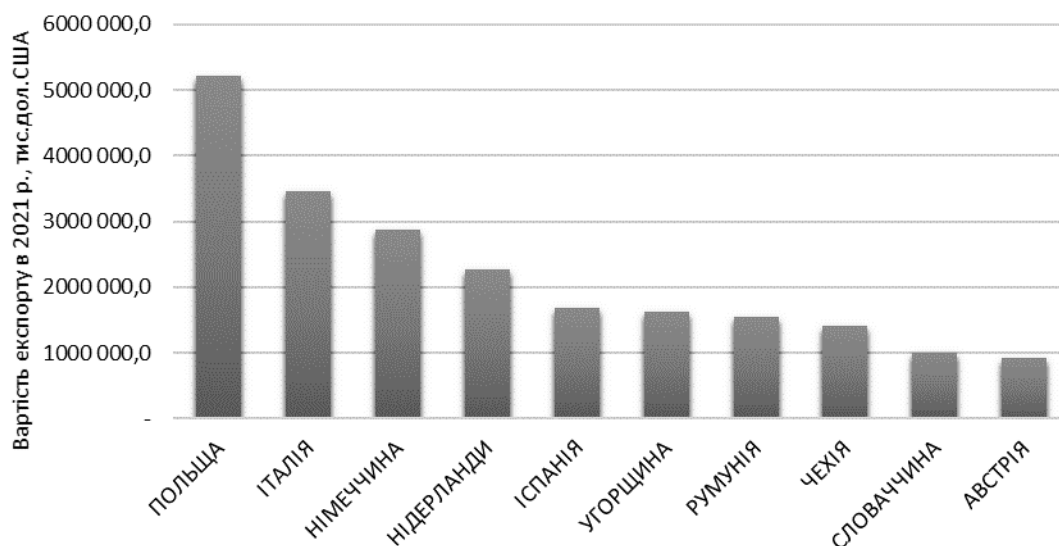


Рисунок 1 – Вартість експорту з України в десять країн ЄС за 2021 рік

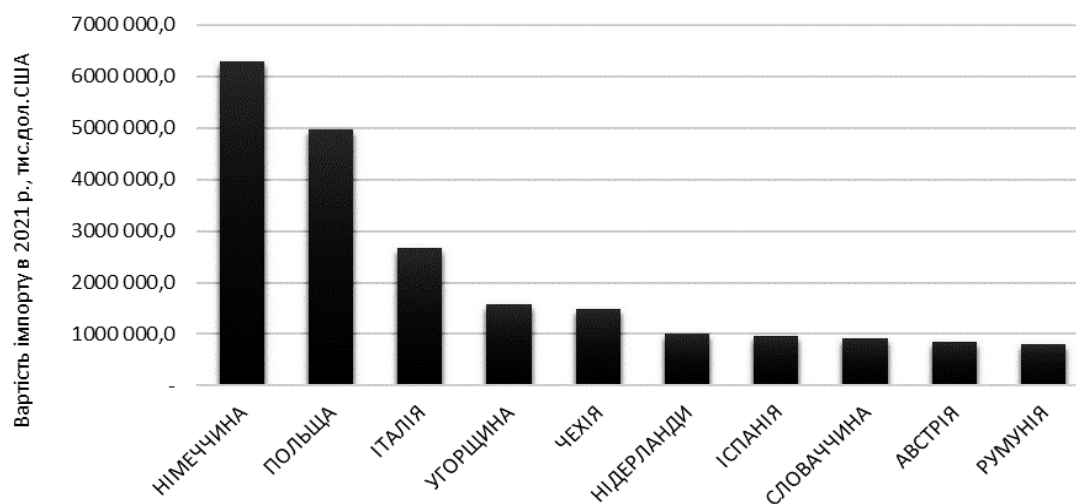


Рисунок 2 – Вартість імпорту в Україну з десяти країн ЄС за 2021 рік

Всі регіони України потребують постійних поставок із-за кордону різноманітних ресурсів і товарів, що вимагає доставки обладнання, матеріалів, промислових товарів та інших ресурсів різними обсягами партій вантажів. Перевезення штучних вантажів займає важливе місце в транспортному обслуговуванні економік всього світу. Ці види автотранспорту забезпечують усі галузі економіки необхідними ресурсами, сировиною та матеріалами [4, 5, 6]. В Україні є багато компаній, які не мають власної розгалуженої мережі в країні, але займаються постачанням товарів з-за кордону, в тому числі з країн ЄС. При цьому використовуються автомобільний, річковий та залізничний транспорт [7, 8, 9].

Використання контейнерів підвищує ефективність перевезень, оскільки істотно знижуються витрати, пов'язані з переміщенням, зберіганням і перевалкою вантажів. Так, застосування контейнерних технологій дозволяє знизити частку транспортної складової в кінцевій ціні товару від 2 % до 11 %. Підбір раціональної технології обслуговування замовлень і як результат, зниження витрат на доставку – пріоритетне завдання для багатьох компаній, основною метою яких є надання потрібного товару в потрібній кількості, потрібної якості і в потрібний час [10, 11].

У зв'язку з бурхливим розвитком ринку контейнерних міжнародних перевезень ускладнилися завдання планування ефективності використання контейнерів [12]. Особливо зі збільшенням кількості мега-контейнеровозов, експлуатованих великими операторами контейнерних перевезень [13].

Аналіз фахових статей та публікацій вчених, які досліджували підходи щодо організації ефективних варіантів обороту контейнерів, дозволяє встановити результати та плани подальших досліджень:

- формування надійних систем доставки вантажів з урахуванням раціонального використання інфраструктури на основі сучасних методів моделювання [14-16];
- визначення раціональних технологій доставки вантажів на основі сучасних цифрових рішень [17, 18];
- побудова моделей визначення ефективних рішень в сфері організації доставки вантажів у контейнерах, які побудовані на різних сучасних методах [19, 20].

Визначення проблемних питань щодо організації ефективних варіантів обороту контейнерів на маршрутах Україна – ЄС –Україна показало, що на сьогоднішній день необхідно будувати нові маршрути руху вантажів, використовуючи переваги існуючої інфраструктури різних видів транспорту, рівномірно завантажувати існуючі напрямки руху, використовувати сучасні методи організації та управління за допомогою цифрових технологій та здобутків закордонних вчених.

Список використаних джерел

1. Kopytkov D., Pavlenko O., Kalinichenko O. A technique to determine the optimum package of logistic services provided by the transport and logistics centre. *Modern Management: Logistics and Education. Monograph.* 2018, pp. 150-157.
2. Aulin V., Lyashuk O., Pavlenko O., Velykodnyi D., Hryniv A., Lysenko S., Holub D., Vovk Y., Dzyura V., Sokol M. Realization of the logistic approach in the international cargo delivery system. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 2019, № 21(2), pp. 3-12.
3. Офіційний сайт Державної митної служби України. <https://cabinet.customs.gov.ua>
4. Konovalenko, I., Ludwig, A.: Event processing in supply chain management – The status quo and research outlook. *Computers in Industry*. 2019. Vol. 105, pp. 229-249.
5. Музильов Д.О., Павленко О.В. Модель функціонування системи доставки насіння зернових культур у контейнерах з США до України. *Комунальне господарство міст*. 2022, № 171 (4), С. 179-184.
6. Aulin V., Velykodnyi D., Dyachenko V. Concept of development and formation of transport-logistic systems in the agroindustrial complex. *Modern Management: Logistics and Education. Monograph.* Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2018. pp.165-169.
7. Kundu T., Sheu J.-B. Analyzing the effect of government subsidy on shippers' mode switching behavior in the Belt and Road strategic context. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2019. Vol. 129, pp. 175-202.
8. Pavlenko O., Kopytkov D. An approach to determine the rational scheme of delivery for the international consolidated shipments. *Комунальне господарство міст*, 2019. № 147. С.35-41.
9. Muzylyov D., Shramenko N., Karnaukh M. Choice of Carrier Behavior Strategy According to Industry 4.0. In: Ivanov V., Trojanowska J., Pavlenko I., Zajac J., Peraković D. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2021. Pp. 213-222.
10. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Розв'язання проблеми надійності технологічних процесів вантажних перевезень підприємствами агропромислового виробництва. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Кропивницький: ЦНТУ*, 2019. Вип. 1(32). С.36-45.
11. Павленко О.В., Музильов Д.О. Модель функціонування системи доставки насіння зернових культур у контейнерах з США до України. *Комунальне господарство міст*. 2022, № 171 (4), С. 179-184.
12. Luo T., Chang D., Xu, Z. Forwarder's empty container ordering and coordination considering option trading in the container transportation service chain, *Computers & Industrial Engineering*, 2021, № 156, 107251.
13. Kurt I., Aymelek M., Boulougouris E., Turan, O. Operational cost analysis for a container shipping network integrated with offshore container port system: A case study on the West Coast of North America, *Marine Policy*, 2021. № 126, 104400.
14. Pavlenko O., Muzylyov D., Shramenko N., Cagaňová D., Ivanov, V. Mathematical Modeling as a Tool for Selecting a Rational Logistical Route in Multimodal Transport Systems. In: Cagaňová, D., Horňáková, N. (eds) *Industry 4.0 Challenges in Smart Cities. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*. Springer, Cham., 2023, pp. 23-37.
15. Liu X., Zhang K., Chen B., Zhou J., Miao L. Analysis of logistics service supply chain for the One Belt and One Road initiative of China. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2018. Vol. 117, pp. 23-39.
16. Shramenko N., Pavlenko O., Muzylyov D. Logistics Optimization of Agricultural Products Supply to the European Union Based on Modeling by Petri Nets. In: Karabegović I. (eds) *New Technologies, Development and Application III. NT 2020. Lecture Notes in Networks and Systems*, 128. Springer, Cham, 2020, pp. 596-604.
17. Okyere, S., Yang, J.Q., Aning, K.S., Zhan, B. Review of Sustainable Multimodal Freight Transportation System in African Developing Countries: Evidence from Ghana. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 2019. №41, pp. 155-174.
18. Oliskevych M., Taran I., Volkova T., Klymenko I. Simulation of cargo delivery by road carrier: case study of the transportation company. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2022, № 2, pp. 118-123.
19. Павленко О.В., Музильов Д.О. Стабільна модель функціонування логістики для постачання швидкопсувних продуктів маршрутами Україна – Польща. *Комунальне господарство міст*, 2023. Т. 1, Вип. 175, С. 237-242.
20. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортнологістичній системі АПК // *Міжвузівський збірник "Наукові нотатки"*. Луцьк: Луцький НТУ, 2018. №62. С.8-11

ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БІОМАСТИЛ НА БАЗІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ КУЛІНАРНИХ ОЛІЙ

**М.М. Гетьман, аспірант,
О. В. Диха, проф., д-р техн. наук**
Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна

Занепокоєння в усьому світі масовим використанням продуктів на основі нафти впливає таким чином, що виробництво мастильних матеріалів потребує також пошуку нових безпечних технологій. В теперешній час вимоги щодо збереження навколишнього середовища [1-6] перетворили здатність до біологічного розкладу в один із основних параметрів з точки зору вибору базових олій і покращувачів змащувальних властивостей матеріалів. Відомо, що, що різні рослинні олії придатні як базові олії для мастил. Однак великі посівні площі, відведені під олійні культури промислового призначення конкурують із використанням земель для виробництва продуктів харчування, і це є великим суперечливим питанням. Таким чином, виробництво біомастильних матеріалів на основі харчових рослинних олій останнім часом вважається нежиттєздатною практикою. Крім того, мастильні матеріали на основі рослинної олії на 20% дорожчі за звичайні мастильні матеріали на основі мінеральних олій.

Харчові рослинні олії широко використовуються для смаження, яке зазвичай здійснюється при температурі від 160 до 180 °C в присутності повітря і вологи. При цьому відбуваються хімічні зміни, як наслідок термоокислювальних і гідролітичних реакцій, ізомеризації подвійних зв'язків, олігомеризації та деградації тригліцеридів. Таким чином, олія після смаження за хімічним складом відрізняється від вихідної свіжої олії, зазнає небажаних фізико-хімічних змін (серед іншого, колір, запах, в'язкість, кислотність, загальні полярні сполуки). Протягом останніх десятиліть кількість відходів кулінарної олії (WCO), що утворюється в харчовій промисловості, ресторанах, закладах швидкого харчування та вдома, безперервно зростає, зі швидкістю до 2% на рік, через збільшення продуктів харчування та, перш за все споживання населенням фастфуду.

Існує неадекватна утилізація WCO через каналізаційну систему, що спричиняє як економічні проблеми, так і забруднення річок і ґрунтів. З одного боку, нераціональна утилізація відпрацьованої кулінарної олії в каналізацію створює проблеми з експлуатацією та обслуговуванням муніципальних очисних споруд, що значно збільшує витрати на їх очищення. З іншого боку, один літр відпрацьованої рослинної олії, вилитий у навколишнє середовище, може забруднити 0,5 мільйона літрів води, що спричинить серйозні екологічні проблеми [1-4]. Таким чином, належне поводження з WCO є обов'язковим для зменшення його впливу на глобальне навколишнє середовище та покращення їх доступності з метою їх повторного використання в різних промислових процесах, таких як біомастила, біодизель, добавки для асфальту та інших. Використання WCO як сировини на заводах з виробництва біодизеля є усталеною практикою. Однак попит на біодизель наразі знижується заради зменшення шкідливих викидів, і багато заводів з виробництва біодизеля закриваються по всьому світу. Тому необхідно досліджувати інші способи повторного використання, щоб зменшити негативний вплив WCO на навколишнє середовище та викиди парникових газів. Зважаючи на це, біомастила можуть стати способом використання відходів кулінарної олії з подвійною метою. По-перше, це може запобігти нехарчовому використанню земель; по-друге, це може запобігти їх потенційному впливу у разі утилізації в навколишнє середовище.

Загалом більшість дослідницьких робіт, пов'язаних із відпрацьованими кулінарними оліями, зосереджуються на використанні їхніх метилових ефірів жирних кислот для виробництва молекул, похідних від WCO, і розглядають їх фізико-хімічні характеристики

[1-3]. Недостатньо інформації про повну фізико-хімічну характеристику використовуваного WCO і взаємозв'язок між його фізико-хімічними властивостями та трибологічними характеристиками.

Отже потрібна порівняльна оцінка відходів кулінарної олії з різних харчових підприємств та аналіз впливу їх фізико-хімічних властивостей на трибологічну поведінку.

Було досліджено декілька типів відходів кулінарної олії з різноманітних харчових підприємств: звичайний ресторан, ресторан швидкого харчування, заклад смаженої їжі, суміш використаних кулінарних олій різного невстановленого походження, без сегрегації [1].

Масла пройшло молекулярну дистиляцію. Дистиляція WCO не вимагає надто багато енергії, тому її можна вважати здійсненою з економічної точки зору. Молекулярна дистиляція дає дві фракції: більш легку фракцію, збагачену вільними жирними кислотами, і більш важку фракцію, що включає найбільш полярні сполуки, і низьку фракцію недистильованих вільних жирних кислот. Обидві фракції є рідкими при кімнатній температурі.

Дослідження WCO показали помітні варіації їхнього хімічного складу, пов'язані з декількома змінними, залученими до різних досліджуваних процесів смаження. Високосмажені олії показали високий вміст вільних жирних кислот і дигліцеридів, внаслідок гідролізу тригліцеридів [1]. Навпаки слабосмажений WCO показав досить низьку кислотність, що вказує на нижчий ступінь гідролізу. Варіації хімічного складу по-різному впливали на досліджувані властивості. WCO з найвищим вмістом молекул (олігомерів, димерів і полімерів) показав найвищу кінематичну в'язкість. WCO з найвищими значеннями загальних полярних сполук і кислотності показали найнижчі значення індексу в'язкості, тоді як WCO з найнижчими значеннями кислотності показали найвищі значення індексу в'язкості і були менш чутливими до температури. Виявлено, що кислотність також впливає на текучість масел при низькій температурі, так найкращою плинністю при низькій температурі володіють олії з найнижчими значеннями кислотності. Отримано, що висока кислотність і велике співвідношення ненасичених і насичених жирних кислот олій наділили ці WCO найбільшою змащувальною здатністю [1].

Показано, що молекулярна дистиляція дала дві фракції, легку та важку, із значно покращеними трибологічними властивостями порівняно з їхніми вихідними відходами кулінарної олії. Таким чином, низька в'язкість і висока полярність легких фракцій, збагачених вільними жирними кислотами, забезпечують покращені змащувальні характеристики як при граничному, так і при змішаному режимах тертя.

Список використаних джерел

1. S.D. Fernández-Silva, M.A. Delgado, M.V. Ruiz-Méndez, I. Giráldez, M. García-Morales, Potential valorization of waste cooking oils into sustainable bio-lubricants, *Industrial Crops and Products*, Volume 185, 2022, 115109, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115109>.
2. Bouchet, M.I.B., Martin, J.M., Forest, C., Le Mogne, T., Mazarin, M., Avila, J., Asensio, M. C., Fisher, G.L., 2017. Tribochemistry of unsaturated fatty acids as friction modifiers in (bio)diesel fuel. *RSC Adv.* 7, 33120–33131. <https://doi.org/10.1039/C7RA02926H>.
3. Chatzilazarou, A., Gortzi, O., Lalas, S., Zoidis, E., Tsaknis, J., 2006. Physicochemical changes of olive oil and selected vegetable oils during frying. *J. Food Lipids* 13, 27–35. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2006.00032.x>.
4. Chowdhury, A., Mitra, D., Biswas, D., 2013. Biolubricant synthesis from waste cooking oil via enzymatic hydrolysis followed by chemical esterification. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 88, 139–144. <https://doi.org/10.1002/jctb.3874>.
5. Rajvanshi, A., Pandey, P.K., 2016. Lubricating grease from waste cooking oil and waste motor sludge. *Int. J. Chem. Mol. Eng.* 10, 1220–1223. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1126898>.
6. Ruiz-Méndez, M.V., Marmesat, S., Liotta, A., Dobarganes, M.C., 2008. Analysis of used frying fats for the production of biodiesel. *Grasas Aceites* 59, 45–50. <https://doi.org/10.3989/gya.2008.v59.i1.489>.

ОГЛЯД ІНЖЕНЕРНИХ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПІДШИПНИКІВ

І. В. Віштак, доц., канд. техн. наук

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

Детальний аналіз літературних джерел може допомогти розширити знання про гідродинамічні підшипники та їх розрахунок, а також вирішити практичні завдання у цій галузі.

Однією з інженерних методик розрахунку гідродинамічних підшипників є методика, розроблена Альфредом Рейномольдсом у 1886 році, відома як теорія Рейнольдса.

Ця методика базується на моделюванні гідродинамічного підшипника як тонкого шару рідини між двома поверхнями. При цьому припускається, що рух рідини у підшипнику не залежить від зміни в часі та досить малі швидкості руху. Також припускається, що рух рідини у підшипнику є ламінарним.

Для розрахунку гідродинамічного підшипника за теорією Рейнольдса використовуються такі параметри, як діаметр підшипника, висота шару рідини, в'язкість рідини, швидкість руху, а також фізичні характеристики поверхонь підшипника та валу.

Основним результатом розрахунку за теорією Рейнольдса є значення питомого тиску в гідродинамічному шарі рідини. За допомогою цього значення можна визначити висоту гідродинамічного шару, а також силу, що діє на вал у підшипнику.

Хоча теорія Рейнольдса була розроблена понад століття тому, вона все ще застосовується в інженерних розрахунках гідродинамічних підшипників, особливо в поєднанні з більш сучасними методиками. Ця методика вважається базовою для розуміння гідродинамічних процесів, що відбуваються в підшипниках.

Розрахунок конічних гідростатичних підшипників на стійкість полягає у визначенні можливості підшипника витримати задані навантаження та забезпечити надійну роботу на тривалій період часу без пошкодження.

Один з можливих підходів до розрахунку конічних гідростатичних підшипників на стійкість полягає в наступних кроках:

1. Визначення величини допустимого тиску в підшипнику. Для цього використовуються дані про фізичні властивості матеріалів, з яких виготовлений підшипник, та зовнішніх факторів, таких як температура, швидкість обертання і тиск робочої рідини.

2. Визначення розподілу тиску в гідростатичному шарі. Для цього використовуються формули, що описують гідродинамічні процеси, що відбуваються в підшипнику, в тому числі закони руху рідини в підшипнику, розмір та форма підшипника та рідини, в'язкість рідини та рівень насичення поверхні підшипника.

3. Визначення величини коефіцієнта стійкості підшипника. Для цього використовуються спеціальні формули, що описують зв'язок між параметрами підшипника та стійкістю.

4. Перевірка допустимості отриманих результатів. Перевірка виконується на основі порівняння отриманих значень з допустимими значеннями. Якщо отримані значення менші за допустимі, необхідно змінити конструкцію підшипника або використовувати матеріали з вищими характеристиками.

Таким чином, розрахунок конічних гідростатичних підшипників на стійкість дозволяє визначити можливість безпечної експлуатації підшипника в умовах дії зовнішніх навантажень. Це дозволяє підібрати оптимальну конструкцію підшипника, визначити допустимі межі робочих параметрів та встановити необхідні системи контролю та діагностики для забезпечення безперебійної роботи підшипника.

Приклад розрахунку конічного гідростатичного підшипника на стійкість може включати в себе визначення параметрів підшипника, таких як радіуси внутрішнього та зовнішнього кілець, кут нахилу конусу, коефіцієнти в'язкості та тиск робочої рідини.

Далі, використовуючи відповідні математичні формули, розраховують розподіл тиску в підшипнику та коефіцієнт стійкості. Наприклад, для конічного гідростатичного підшипника можна використовувати формули, що базуються на рівняннях Нав'є-Стокса та теорії еластичності.

Для перевірки отриманих результатів використовуються допустимі межі для параметрів підшипника, такі як максимальне значення тиску, максимальний кут нахилу конусу та інші. Якщо отримані значення в межах допустимих, то конструкція підшипника вважається стійкою і може бути використана в робочих умовах.

Розрахунок конічного гідростатичного підшипника на стійкість є складним і технічно вимогливим процесом, який вимагає знання фізичних принципів та математичних методів. Проте, він дозволяє забезпечити безперебійну роботу підшипника та зменшити ризики виникнення аварійних ситуацій, що може привести до значних економічних втрат та негативного впливу на безпеку працівників та користувачів обладнання.

Інженерна методика розрахунку гідродинамічних підшипників, зокрема конічних гідростатичних підшипників, є важливим інструментом для розробки та вдосконалення різних видів техніки. На основі цієї методики інженери можуть визначити оптимальні параметри підшипника, які забезпечать його безперебійну роботу та максимальну стійкість.

Важливою складовою розрахунку конічного гідростатичного підшипника на стійкість є визначення рівня навантаження та розподілу тиску в підшипнику. Для цього використовуються різні математичні моделі, які враховують різні фізичні фактори, такі як швидкість обертання, розміри та форма підшипника, в'язкість мастила та інші параметри.

Після визначення рівня навантаження та розподілу тиску в підшипнику, інженери можуть визначити коефіцієнти стійкості та безпеки підшипника. Для цього використовуються різні методи, такі як метод скінченних елементів, аналітичні методи та експериментальні дослідження.

Отже, розрахунок конічного гідростатичного підшипника на стійкість є важливим етапом в процесі розробки техніки, що дозволяє забезпечити безперебійну та безпечну роботу обладнання, а також зменшити ризики аварій та економічних втрат.

Список використаних джерел

1. A. F. Sharko and I. A. Makhovik, Hydrodynamic Lubrication: Bearings and Thrust Bearings. Boca Raton, FL: CRC Press, 2019.
2. B. S. Harvey, Hydrodynamic Bearings. New York, NY: Springer, 2017.
3. I. D. Wright, Hydrodynamic Lubrication: A Practical Guide to Bearings. Hoboken, NJ: Wiley, 2006.
4. T.G. Meglio, Thrust Bearings. New York, NY: Nova Science Publishers, 2012.
5. G.V. Beyer and D.D. Dalgleish, Engineering Tribology. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2013.

ВДОСКОНАЛЕННЯ РОТОРА КИДАЛКИ КОСАРКИ-ПОДРІБНЮВАЧА "РОСЬ-2"

В.Ф. Кузьменко, канд. техн. наук, с.н.с.,

Інститут механіки та автоматики АПВ НААН,

смт. Глеваха, Київська область, Україна

Онщенко В.Б., доц., канд. техн. наук,

Національний університет біоресурсів та природокористування, м. Київ, Україна

Холодюк О.В., доц., канд. техн. наук,

Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна

Для годівлі ВРХ широко використовується косарка-подрібнювач "Рось-2". Завдяки використанню в роторі, яким скошується рослина, ножів з комбінованим відхиленням леза на 45° забезпечується подрібнення зеленої маси на частки до 10 – 15 см. Однак, крім годівлі, косарка-подрібнювач може використовуватися і з іншою метою, наприклад, підбирання валків соломи для подальшої переробки, де потрібне більш якісне подрібнення сировини. Запропоновано вдосконалення ротора кидалки косарки-подрібнювача шляхом дообладнання його різальними ножами.

Для проведення виробничої перевірки розроблено документацію та встановлено додаткові ножі на ротор косарки - подрібнювача "Рось-2" (рис.1).



Рисунок 1 – Зразок з додатковими ножами модернізованої кидалки

Кидалка для взаємозамінності з серійною кидалкою косарки – подрібнювача доопрацьовувалася шляхом встановлення додаткових деталей. На модернізованій кидалці (рис.1) на кожній з шести лопатей замість відсічної кромки, яка формувалася на лопаті, кріпляться двома болтами двосторонні короткі ножі. Вони закріплені з можливістю регулювати зазор між кожухом та протирізальною крайкою. Поміж лопатей з ножами встановлено 6 призматичних опор додаткових ножів. Кожна з опор кріпиться до диска ротора трьома болтами М16. До опор через притискні пластини 4-ма болтами М12 кріпляться основні ножі. Як і короткі, так і основні ножі в місці кріплення болтами мають пази, що дозволяє встановлювати їх в одній площині. Таким чином на кидалці встановлюється 12 ножів. Для забезпечення опорного різання на лотку подачі сировини кріпиться протиріз, що складався з двох пластин. В процесі виготовлення деталі кидалки (лопаті, короткі ножі, опори ножів, основні ножі, пластини притискні) доводилися до однакової маси. Після встановлення деталей на кидалку остання балансувалася.

Роботи по дообладнанню кидалки косарки-подрібнювача проводилися з її демонтажем, для чого частину деталей косарки-подрібнювача необхідно було демонтувати.

Робота модернізованої косарки – подрібнювача "Рось-2М" була перевірена на обертах ВВП трактора 540 та 1000 об/хв. Встановлено, що середньозважена довжина різання на обертах 1000 об/хв в 1,25 – 1,50 рази менша, ніж на 540 об/хв. Перевірка проводилася шляхом підбирання валків соломи пшениці та сої та скошування стебел кукурудзи.

Криві розподілу довжини фракцій різних за жорсткістю стебел культур мають однаковий характер (рис.2.). Слід відзначити для досліджуваних культур підйом вмісту фракції понад 160 мм, що характерно для роботи роторних скошувальних апаратів.

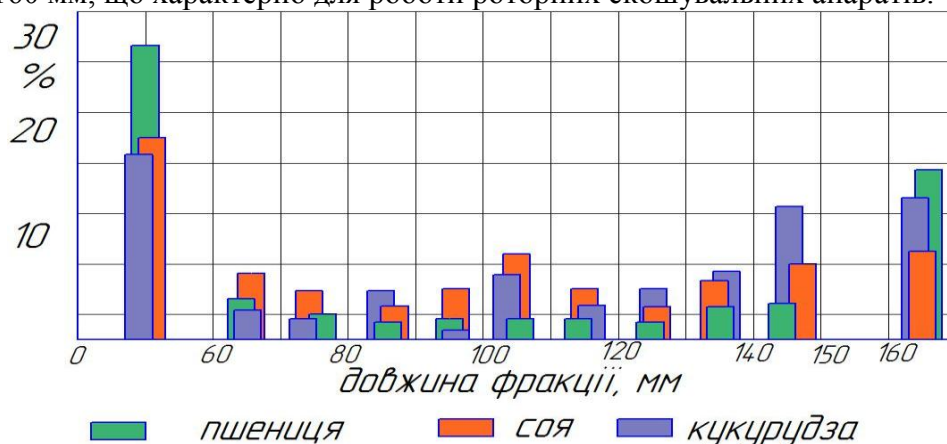


Рисунок 2 – Розподіл проб різних культур після їх додаткового подрібнення ножами модернізованої кидалки

Середньозважена довжина різання для різних культур коливалася в межах 56 – 98 мм, що суттєво менше в порівнянні з подрібненням сировини немодернізованою косаркою-подрібнювачем. Слід відзначити, що менші значення середньозваженої довжини характерні для більш вологої сировини.

Результати перевірки підтвердили, що модернізована косарка-подрібнювач забезпечує вимоги до маси при заготівлі сінажу, а відповідно створюється можливість використання модернізованої косарки подрібнювача "Рось-2М" для заготівлі сінажу в господарствах з поголів'ям до 20 – 60 голів ВРХ.

КОНСТРУКТИВНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ І ДОВГОВІЧНОСТІ ШНЕКОВИХ МЕХАНІЗМІВ

В.В.Аулін, проф., д-р техн. наук,

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

О.Л.Ляшук, проф., д-р техн. наук,

А.Б.Гупка, доц., канд. техн. наук,

Р.Я.Лещук, доц., канд. техн. наук,

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

Інтенсивність зношування робочих поверхонь деталей машин, спряжень, агрегатів та механізмів в цілому суттєво впливає на їх експлуатаційний ресурс. Дана проблема особливо актуальна для важко навантажених пар тертя шнекових механізмів. Ефективне управління процесами тертя та зношування, вибір та розробка комплексних методів та заходів по підвищенню зносостійкості трибо технічних систем є актуальними для всіх галузей техніки. Для ефективного їх вирішення трибо логічну надійність та довговічність пар тертя необхідно закладати ще на етапах конструювання та виготовлення машин і механізмів. [1].

Основними робочими і розвантажувальн—навантажувальними елементами машин та механізмів являються шнекові механізми, які становлять значну питому вагу у транспортних машинах. В машинобудуванні гвинтові подаючі пристрої широко використовуються як транспортні робочі органи технологічних систем, автоматичних ліній, потоково-механізованих та інших комплексів при виготовленні та складанні різноманітних деталей та вузлів. Найбільш відповідальними конструктивними елементами транспортно-технологічних систем являються спіралі шнеків. Особливості технологічних процесів виготовлення гвинтових деталей зумовлені їх геометричною формою, співвідношенням розмірів, засобів механізації та автоматизації. Поверхня гвинтової заготовки відноситься до складних гелікоїдальних поверхонь і на площину без деформації не проектується У зв'язку з цим актуальним є питання відпрацювання на технологічність конструкцій гвинтових стрічок, які пов'язані з їх надійністю та довговічністю.

В процесі експлуатації механізмів із шнековими робочими органами, як правило, найбільш інтенсивно зношується периферійна частина гвинтової стрічки, яка активно взаємодіє із транспортуємим матеріалом і зазнає найбільшої деформації в процесі виготовлення. До основних шляхів підвищення надійності і довговічності шнекових механізмів піднімально-транспортних, сільськогосподарських, дорожньо-будівельних та інших машин відносяться: механічна, термічна, хіміко-термічна обробка, наварювання, напilenня робочих поверхонь; використання змінних або накладних елементів периферії спіралі; виготовлення спіралей шнеків з мінімальною деформацією її периферійної зони; збільшення товщини спіралі шнека по зовнішньому діаметру; збільшення жорсткості спіралі шнека. Основним напрямком при створенні конструкцій із шнековими елементами являється комплексний підхід із врахуванням особливостей даних механізмів ще на етапах конструювання та виготовлення [2].

При механічній обробці периферії спіралі шнека видаляється периферійний розрихлений шар металу (обточування - рис. 1а), та ущільнюється її периферії гладкими або фасонними роликми із утворенням потовщення на периферії спіралі (рис. 1б).

Використання змінних елементів периферії спіралі шнека дає змогу використовувати матеріали з необхідними фізико-механічними, технологічними характеристиками, а також змінювати зношені деталі на нові. Важливим фактором, який визначає трибологічну надійність і довговічність спіралі шнека є різниця у товщині зовнішньої та внутрішньої кромок. Для великогабаритних шнекових механізмів, які зазнають значних навантажень по

вертикальній твірній спіралі приварюються опорні ребра жорсткості з певним інтервалом (рис. 2)

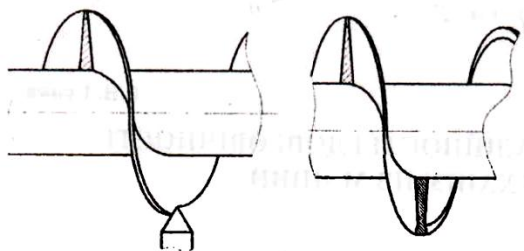


Рисунок 1 – Проточування периферії спіралі шнека (рис. 1,а) та її ущільнення (рис. 1,б)

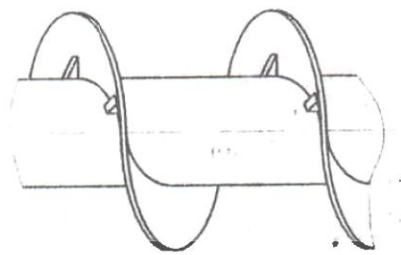


Рисунок 2 – Встановлення ребер жорсткості для великогабаритних шнекових механізмів

З метою зменшення процесу розрихлення матеріалу спіралі шнека по зовнішньому діаметру використовують процес навивання спіралей шнеків із мінімальною деформацією на її периферії. Для цього із внутрішньої сторони заготовки спіралі шнека формують клинові вирізи (рис. 3а), або розрізають заготовку на певну висоту (рис. 3б). Серед можливих шляхів підвищення зносостійкості та жорсткості периферійної частини спіралі шнеків є покриття її поверхні гумою або пластмасою а також формування вигнутого профілю (полочки.) Рис. 4 [3].

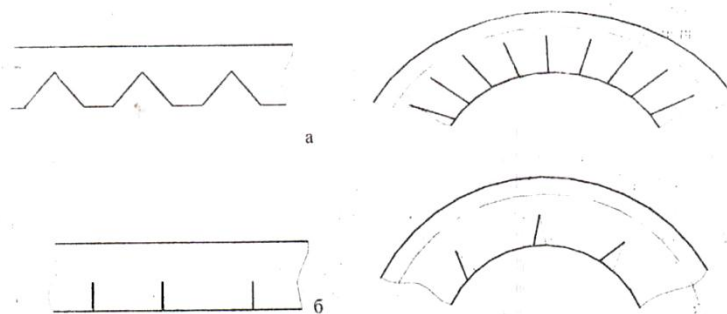


Рисунок 3 – Формування клинових вирізів та розрізання спіралі шнека для великогабаритних шнекових механізмів

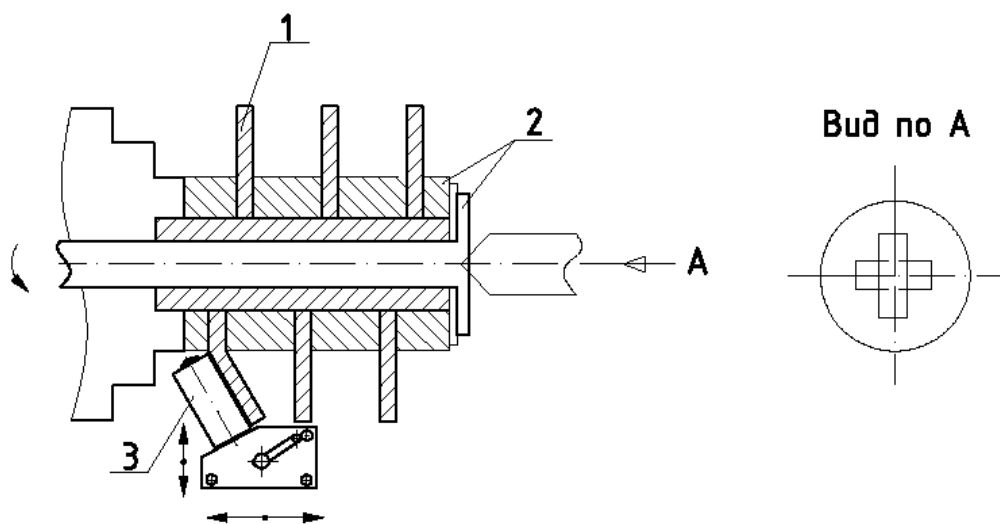


Рисунок 4 – Конструктивна схема пристрою для виготовлення вигнутого профілю на гвинтових заготовках: 1 – ГЗ; 2 - система кріплення ГЗ; 3 - формувальний інструмент

Порівняльні дослідження зносостійкості робочих поверхонь спіралей шнекових механізмів з використанням запропонованих конструктивних методів проводились на спеціальному стенді (рис.5).

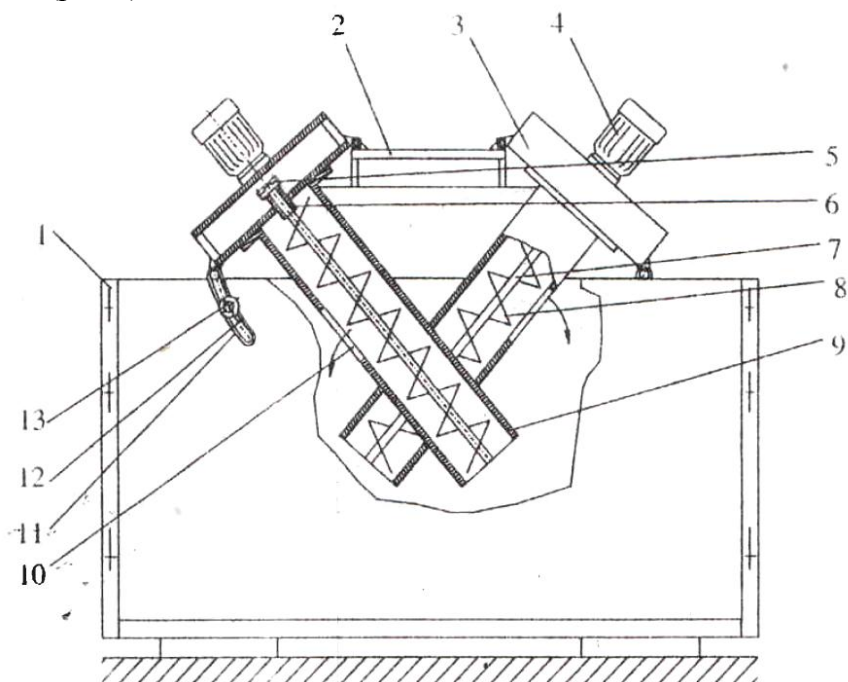


Рисунок 5 – Стенд для дослідження зносостійкості спіралей шнеків

Стенд складається із корпуса 1 до якого приварена опорна плита 2, з якою шарнірно з'єднані поворотні кронштейни 3. На кронштейнах розміщені електродвигуни 4, муфти 5,6, які з'єднані із валами 7 на яких змонтовані спіралі шнеків 8, які в свою чергу розміщені в циліндричних трубах 9, жорстко прикріплених до поворотних кронштейнів. В трубах 9 розміщені навантажувальні вікна 10. Налаштування даних конвеєрів на необхідний робочий кут здійснюється за допомогою відповідних механізмів 11,12,13.

Запропоновані конструктивні методи підвищення трибологічної надійності шнекових механізмів зреалізовані при виготовленні їх експериментальних зразків. Які пройшли дослідження на спеціальному стенді (рис. 5). Практика експлуатації даних механізмів підтвердила ефективність запропонованих конструктивних методів тільки в сукупності із якісним їх технологічним виконанням та підбором оптимальних режимів експлуатації.

Список використаних джерел

1. Аулін В.В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: Монографія / В.В. Аулін. – Кіровоград : Видавець Лисенко В.Ф., 2014. – 370 С.
2. Пилипець М.І., Гевко І.Б., Лещук Р.Я. Дослідження неперервного процесу профілювання гвинтових стрічок / Автоматизація технологічних процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Український міжвідомчий науково-технічний збірник, Львів, вип. №36, 2001. – 36-42 с.
3. OlegLyashuk, MariaSokil, YuriyVovk, AnnaTson, AndriiGupka, OleksandrMarunych. (2018). [Torsional oscillations of a auger multifunctional conveyor's screw working body with consideration of the dynamics of a processed medium continuous flow](#). UkrainianFoodJournal, 7(3), 499-510.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВІДНИХ ТЯГАЧІВ НА ТРАНСПОРТНИХ ТА РІЛЬНИЧИХ РОБОТАХ

М. С. Олісевич, проф., д-р техн. наук,

А. О. Шарібура, доц., канд. техн. наук

Львівський національний університет природокористування, м. Львів, Україна

Енергетична криза та забруднення навколишнього середовища стають дедалі очевиднішими, а транспортні засоби на традиційному вуглеводневому паливі неминуче будуть переобладнані на новий вид енергії. Серед різноманітних видів мобільної сільськогосподарської техніки трактор є одним із найбільш потужних споживачів видобувного палива, внаслідок чого він став головним об'єктом досліджень. Електричні транспортні засоби використовують акумуляторні батареї та електричний двигун як основне джерело енергії [1, 2] і електричну енергію – як рушійну енергію [3]. Це не тільки зручно для переробки енергії, але також може досягти низьких або навіть нульових викидів. Крім того, електричну енергію можна отримувати більш ощадними, дешевими і доступними способами. Порівняно з тягачами з двигунами внутрішнього згоряння електротрактори мають такі переваги, як низький рівень шуму, нульові викиди забруднень в довкілля, низькі витрати на технічне обслуговування. Керування електропривідною технікою відкриває нові можливості для автоматизації процесів [4]. На даному етапі застосування електротракторів слід відмітити і їх недоліки: мала потужність, що обумовлює їх використання лише на деяких легких роботах; обмежена ємність акумуляторів, що знижує загальну продуктивність техніки; режими руху та параметри трансмісії мають значний вплив на тягові та економічні характеристики електротрактора. Вказані недоліки можуть бути нівельовані при відповідно проведених дослідженнях, оскільки відомі прототипи конструкцій електротракторів – це лише переобладнання серійних моделей з дизельними двигунами. Особливістю досліджень сільськогосподарської техніки з електричним приводом є складні та змінні умови роботи. Трактори тягових класів 1,4, 2, 3, 4, як правило, мають відповідати універсальним вимогам експлуатації, включаючи оранку, ротаційний обробіток ґрунту, сівбу транспортування вантажів та переміщення між полями тощо. При цьому вимоги до енергоощадності агрегатів зростають. Поки що машинобудівникам не вдалось подолати проблему універсальності електротракторів, особливо тягових класу 2,0 і більше. Відомі лише окремі конструкції гібридних електричних тракторів, де ця проблема розв'язана. Однак, ми вивчали "чистий" електричний трактор для досягнення нульових викидів забруднень. На сучасному етапі чисто електричний тягач з декількома двигунами має певні техніко-економічні переваги в ціні, енергоспоживанні, передачі потужності, ефективності системи тощо, порівняно з одномоторним та гібридним трактором [3]. Сформувались два основних типи суто електричних транспортних засобів за типом приводу: розподілений незалежний і централізований сполучний. У роботі [4] та інших було запропоновано нову схему незалежного приводу яка має на меті надати повнопривідному електричному трактору кращі тягові характеристики в робочому стані тягової роботи. В роботі [5] вчені провели моделювання характеристик електричних тракторів із колісним приводом у важких умовах роботи на низькій швидкості та в умовах роботи з невеликим навантаженням на високій швидкості, внаслідок чого запропонували загальну структурну схему електричних тракторів із подвійним приводом (два задні ведучі колеса незалежно приводяться в рух двома двигунами) і перевірили тягові характеристики, пуск під навантаженням і робочі умови під час транспортування за допомогою стендових випробувань. Також відомо багато інших схем здвоєних двигунів силової муфти на основі планетарної передачі.

На основі проведеного огляду опублікованих досліджень нами було оцінено електричні трактори з двигунами постійного струму, причому основна частина досліджень

включала аналіз взаємозв'язку між продуктивністю тягача та енергоспоживанням, а також компонуванням акумуляторів. Було зібрано базові емпіричні дані про споживання електроенергії та інші фактори, а також за розрахунками проаналізовано потужність двигуна, необхідну для практичного використання. Нарешті, були оцінені практичні аспекти продуктивності електричної системи, такі як досяжний час безперервної роботи та площа з використанням одного зарядженого акумулятора. Внаслідок проведеного аналізу нами встановлено, що системи передачі енергії та керування енергетичними потоками мають вирішальний вплив на ефективність споживання електроенергії трактором. Тому правильний підбір електродвигунів, дослідження їх характеристик на основі моделювання мають велике значення і необхідність. Однак наразі мало досліджень з моделювання характеристик моторної ефективності мультипривідних тягачів. Більшість дослідників використовували евристичні регресійні моделі. Нами ж проведено це дослідження як базову оцінку для визначення майбутніх напрямків розвитку та використання електричних тракторів. Згідно з різними умовами роботи (у складі орного агрегату і транспортний), електричний трактор, оснащений системою приводу з подвійним двигуном, має загальну оптимальну економічну ефективність (найвищий повний ККД транспортного засобу). Виходячи з результатів аналізу умов оранки та ротаційного обробітку ґрунту, конструкція системи приводу електричного трактора повинна мати можливість перемикання між декількома режимами водіння (повний привід, задні колеса та привід зчеплення), щоб максимізувати ефективність трактора за різних умов. умови праці.

При виконанні попередніх досліджень ми виявили, що використовуючи лише електричну сільськогосподарську техніку, споживання енергії в рілльництві можна зменшити до 70%. Оскільки вага трактора з електродвигуном більша, його очікуваний опір коченню на горбистій місцевості буде більшим, а пробуксовування – значно меншим, що в цілому призведе до ефективності перетворення енергії понад 80%. Найбільшою перевагою електрифікації в цьому випадку є усунення прямих викидів випускних газів. Конструктивна схема електротрактора, що пропонується нами, базується на двомоторному приводі з планетарним диференціалом, який має дві степені свободи, два бортові шестеренні редуктори і головний редуктор. На основі звичайного механізму планетарної передачі, використовуючи сонячну шестірню як додатковий вхід, планетарний редуктор можна перетворити на планетарний диференціал, таким чином потужність двох двигунів може виводитись як окремими, так і спільним потоком.

Щоб досягти оптимальної миттєвої ефективності системи приводу з подвійною силовою муфтою, розроблено стратегію керування для вибору режиму приводу та комбінації швидкості обертання двигуна з оптимальною ефективністю відповідно до поточного навантаження на машину та необхідної швидкості тягача. ККД приводу максимізується. Таким чином, втрати енергії та вартість компонентів електричного трактора можуть бути знижені при всебічному розгляді та оптимізації параметрів конструкції його мультиприводу.

Список використаних джерел

1. Chen Y. N., Xie B., Du Y. F., Mao E. R. Powertrain parameter matching and optimal design of dual-motor driven electric tractor. *Int J. Agric. & Biol. Eng.* 2019. Vol. 12. Issue 1. P. 33-41.
2. Ueka Yuko, et al. Study on the development of the electric tractor: specifications and traveling and tilling performance of a prototype electric tractor. *Engineering in agriculture, environment and food.* 2013. Vol 6. Issue 4. P.160-164.
3. Cheng Z., Zhou H., Lu, Zhixiong. A. Novel 10-parameter motor efficiency model based on I-SA and its comparative application of energy utilization efficiency in different driving modes for electric tractor. *Agriculture.* 2022. Vol 12. Issue 3. P. 362.
4. De Melo R., et al. Wheel Slip Control Applied to an Electric Tractor for Improving Tractive Efficiency and Reducing Energy Consumption. *Sensors.* 2022. Vol 22. Issue 12. P.15-27.
5. Mocera F., Somà A. Analysis of a parallel hybrid electric tractor for agricultural applications. *Energies.* 2020. Vol 13. Issue 12. 30-55.

СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ФЕРМСЬКОЇ ТЕХНІКИ

В.І. Ребенко, доц., канд. техн. наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

Рівень надійності роботи фермських машин і обладнання, закладений при проектуванні, повинен бути витриманий при виготовленні, монтажі і пусконаладженні, а також підтримуватись в процесі експлуатації. Технічне обслуговування – це комплекс операцій по підтриманню роботоздатності або справності технічного виробу при його експлуатації, зберіганні і транспортуванні.

В Україні найпоширенішою є планово-запобіжна система технічного обслуговування відповідно до норм та вимог, передбачених правилами експлуатації машин та обладнання.

Враховуючи умови роботи машин, їх циклічність, наявність матеріально-технічної бази для проведення ТО в деяких господарствах використовують адаптивну систему технічного обслуговування.

Удосконалення конструкцій і підвищення сучасної техніки сприяли тому, що в останні роки все частіше впроваджується комбінована система технічного обслуговування. При цьому частина операцій та заходів обов'язково здійснюється в передбачені нормативами строки, а інша частина (стосовно вузлів та механізмів із більшою періодичністю ТО) буде виконуватись згідно з фактичним станом машини, визначеним під час її технічного огляду із використанням засобів контролю і діагностики.

У зв'язку з широким поширенням комп'ютерних засобів контролю та управління робочих процесів в техніці набирає оберти нова прецизійна (точна, керована) система технічного обслуговування машин і обладнання. В такій системі основний комп'ютер, встановлений на машині, за допомогою досконалих засобів контролю і діагностики повністю слідкує за технічним станом машини, а також визначає перелік і періодичність виконання необхідних видів робіт по технічному обслуговуванню машини. Крім того додатково ведеться історія умов та характеристик роботи машини, а також робиться прогнозування наступних операцій по ТО та залишкового ресурсу.

У сучасному тваринництві є три основні форми організації ТО машин та обладнання: 1 – всі технічні заходи виконуються власне господарством; 2 – частина заходів виконується господарством, частина – спеціалізованими підприємствами; 3 – гарантоване технічне обслуговування (сервісні підприємствами). Останні дві виникли у зв'язку з наявністю на фермах складних машин та систем автоматизації.

Досвід роботи служб ТО показує, що найбільш поширеною та ефективною є така форма організації ТО фермської техніки, в якій приблизно до 80% виконуваних операцій припадає на працівників господарства, а інші 20% – на ремонтно-обслуговуюче підприємство. Серед переваг такої форми – оперативність об'єднаної ремонтно-обслуговуючої служби при виконанні своїх виробничих функцій і наближеність ремонтно-обслуговуючої бази та персоналу до основного виробництва.

Досягнути зниження експлуатаційних витрат на одиницю тваринницької продукції при виборі організаційної технічного обслуговування і ремонту машин та обладнання конкретної ферми можна, в першу чергу, оптимальним поєднанням можливостей ремонтно-обслуговуючої бази господарства і спеціалізованих підприємств зони або району.

Список використаних джерел

1. Ревенко І.І., Заболотько О.О., Хмельовський В.С. Машиновикористання у тваринництві. - К.:ЦП "Компринт", 2016. – 260 с.
2. Ревенко І.І., Брагінець М.В., Роговий В.Д. та ін. Монтаж і пусконаладження фермської техніки / За ред. І.І. Ревенка. - К. : Кондор, 2004. - 400 с.
3. Науменко О.А., Войтюк В.Д., Денисенко М.І. та інші. Технічний сервіс машин у тваринництві. Навчальний посібник. – К.: Колос, 2008. - 196с.

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЗРАЗКІВ З ТИТАНОВОГО СПЛАВУ, ЩО МОДИФІКОВАНІ ВАКУУМНИМ ІОННИМ АЗОТУВАННЯМ В ІМПУЛЬСНОМУ РЕЖИМІ

В. І. Калініченко, *ст. наук. співр., канд. техн. наук,*
А. В. Рутковський, *ст. наук. співр., канд. техн. наук,*

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, м. Київ, Україна

С.І. Маркович, *доц., канд. техн. наук*

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

A metallographic study of the microstructure of the modified surfaces of titanium alloys was carried out with a specific structure and depth of the diffusion sphere filled with nitrogen. It has been established that nitriding (up to 900°C) in a hot discharge of titanium VT1-0 and VT1-00 allows significant increase in microhardness for nitrogen and other power levels with titanium, while maintaining mechanical power of the base material. Changing the parameters of the nitriding process (temperature, pressure, storage medium and nitriding hour) resulting in changes in the physical and mechanical characteristics, structure, composition, phase and chemical storage of the surface nitrided ball: surface microhardness up to 10500 MPa; thickness of the nitrided ball up to 500 microns; thickness of the nitride ball up to 25 microns; difference of phase shift TiN, Ti₂N, Ti₃N₂; different hardness gradient by depth, which allows optimizing the power of the surface ball in specific operating conditions.

microstructure, titanium alloys, modified surface, nitriding, microhardnes

Вступ

Механічна міцність та довговічність елементів конструкцій забезпечується правильним вибором матеріалів, із яких вони виготовлені, та спеціальними функціональними властивостями поверхневого шару, що забезпечуються шляхом нанесення покриттів або за рахунок зміни структурного стану поверхневих шарів матеріалу за допомогою їх модифікації.

Аналіз попередніх досліджень

Для зниження недоліків титанових сплавів використовують різноманітні технологічні процеси зміцнення шляхом модифікації поверхневих шарів [1,2]: імплантацією іонами різних металів [3]; поверхневою обробкою концентрованими потоками енергії [4]; плазовими потоками [5]; поверхнево-пластичним деформуванням [6]; ультразвуковою обробкою [7]; лазерною обробкою [8,9]; дифузійним насиченням [10] та хіміко-термічною обробкою [11]. З усіх методів модифікації найбільшого поширення набув такий метод ХТО як азотування однак цьому виникає тривалий високотемпературний нагрів, що викликає крихкість одержуваних азотованих шарів, призводить до зміни структури металу та зниження характеристик міцності. Актуальним є розвиток методів модифікації поверхні з мінімальним або низьким термічним впливом, зокрема, метода вакуумного іонного азотування в імпульсному режимі [12, 13, 14]. Така модифікація поверхні підвищує довговічність, границю витривалості та зносостійкість деталей, тому дослідження впливу параметрів процесу на мікроструктуру є актуальною задачею.

Мета та завдання

Провести металографічні дослідження мікроструктури модифікованих поверхонь з визначенням структури та глибини насичення дифузійного шару азотом

Результати вирішення основних завдань

Мікрошліфи (рис.1) для металографічних досліджень виготовлялись на установці “Alpha & Beta” (виробник ТМ BUEHLER) за стандартною методикою (не допускаючи

нагартування та перегріву) з подальшим виявленням мікроструктури методом хімічного травлення в травнику: $\text{HNO}_3 : \text{HF} : \text{H}_2\text{O}$ (7 мл. : 2 мл. : 50 мл.).

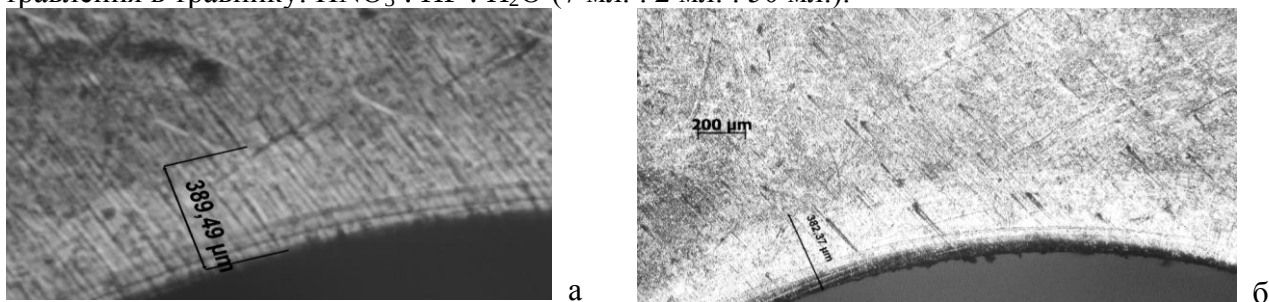


Рисунок 1 – Мікрошліфи (а, б) для металографічних досліджень виготовлялись на установці "Alpha & Beta" (виробник ТМ BUEHLER) за стандартною методикою

Металографічні дослідження зразків проводили в поздовжньому перетині по товщині на оптичному інвертованому мікроскопі "AXIOVERT 40 MAT" з фіксацією мікроструктур цифровою фотокамерою AXIOCAM 305 в програмі "ZEN core v3.1" при збільшеннях в діапазоні 100х...1000х. Типова макро- та мікроструктура зразка №1 із титатного сплаву BT1-0 в поздовжньому перетині по товщині листа представлена відповідно на рис. 2 та рис. 3. Досліджувані зразки характеризуються рівновісною поліедричною структурою α -фази з переважно дрібнодисперсними включеннями та незначною кількістю крупних включень розміром 5-7 мкм в зернах α -фази. В осевій зоні по товщині листа спостерігається ліквіаційна смуга (рис. 2).

Як показали дослідження (рис. 3), товщина нітридного шару при вакуумному іонному азотуванні в імпульсному режимі титанового сплаву BT1-0 складає не більше 15÷20 мкм, під яким знаходиться зона внутрішнього азотування меншої твердості, яка поступово зменшується по експоненційній залежності до твердості основи.

Структура матеріалу основи при низькотемпературному азотуванні не змінюються. На поверхні утворюється азотований шар з різною за товщиною нітридною зоною, яка залежить від режиму азотування і слабо травився травником.

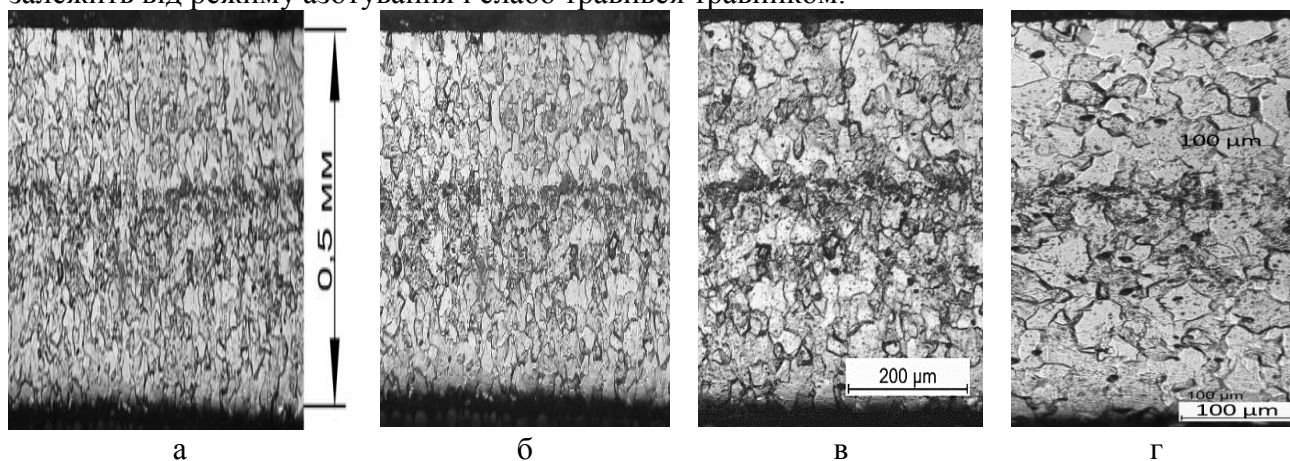


Рисунок 2 – Макроструктура зразка №1 із титатного сплаву BT1-0 в поздовжньому перетині по товщині листа

Типова мікроструктура зразка №2 в поздовжньому перетині по товщині листа при різних збільшеннях представлена на рис. 3.

Мікроструктура зразка №2 (рис. 4), як і зразка №1 (рис. 3), представляє собою рівновісну поліедричну структуру α -фази з ліквіаційною смугою в осевій зоні (по товщині листа), але, на відміну від зразка №1 (рис. 2), характеризується значно більшою щільністю дрібнодисперсних, і, особливо, крупних включень (розміром 15-20 мкм) в зернах α -фази.

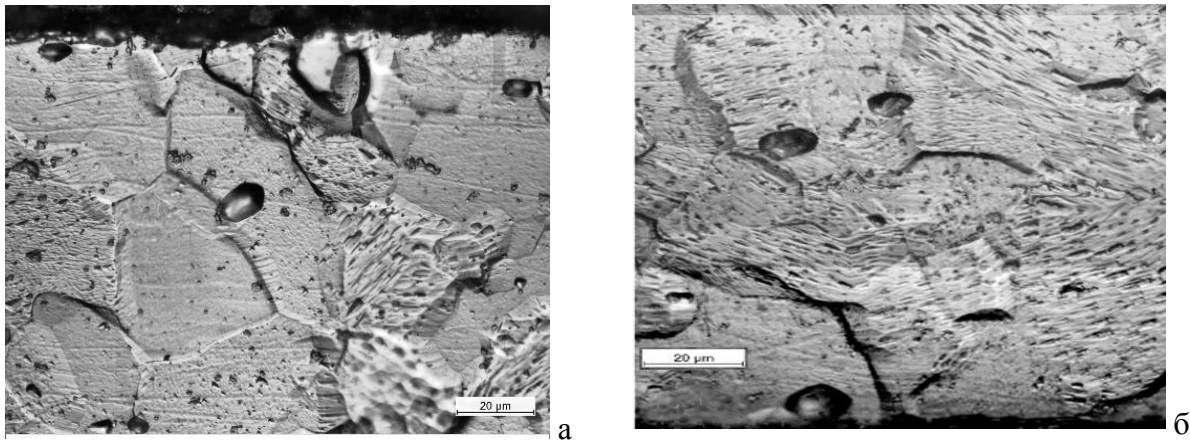


Рисунок 3 – Типова мікроструктура зразка №1 із титанового сплаву BT1-0 в поздовжньому перетині по товщині листа: а - мікроструктура біля лицьової поверхні листа; б - мікроструктура біля тильної поверхні листа.

Дослідження мікроструктури зразків із титанового сплаву BT1-0 та BT1-00 до азотування (рис. 5, рис.7) та після азотування (рис. 6, рис. 8) в тліючому розряді проводилося на мікроскопі "MeF-3" (фірма "Reichert", Австрія). Для більш детального порівняльного аналізу був проведений дюрметричний аналіз. Вимірювання мікротвердості покриттів проводили на мікротвердомірі "Micromet-II" (фірма Buchler, Швейцарія).

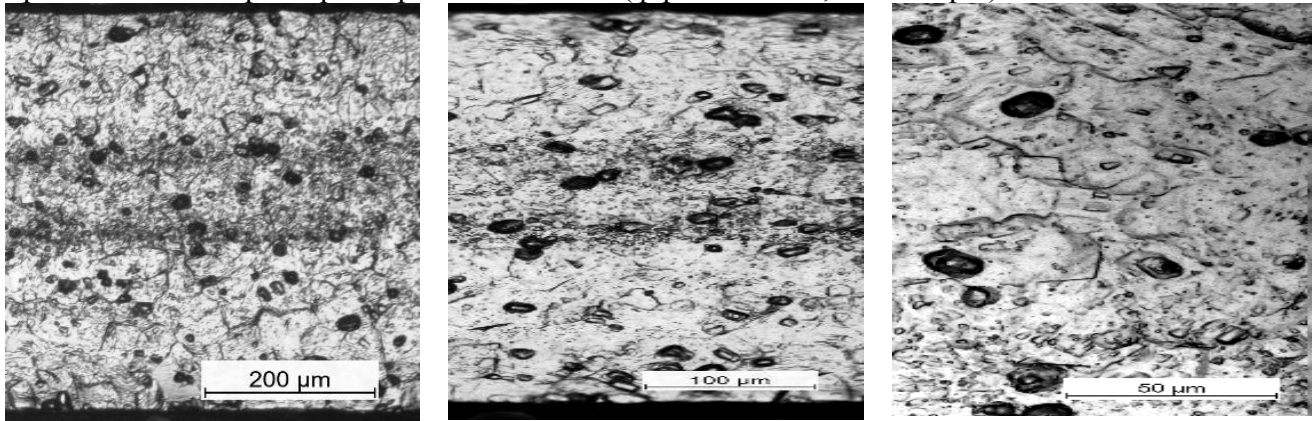


Рисунок 4 – Типова мікроструктура зразка №2 в поздовжньому перетині по товщині листа при різних збільшеннях

Мікротвердість визначали при навантаженні 50, 100 та 200 г. Час витримки під навантаженням 10 секунд. На шліфах мікротвердість вимірювалася у радіальному напрямку сегмента з кроком 0,05 мм. Навантаження залежало від дисперсності та товщини зміцненого шару.

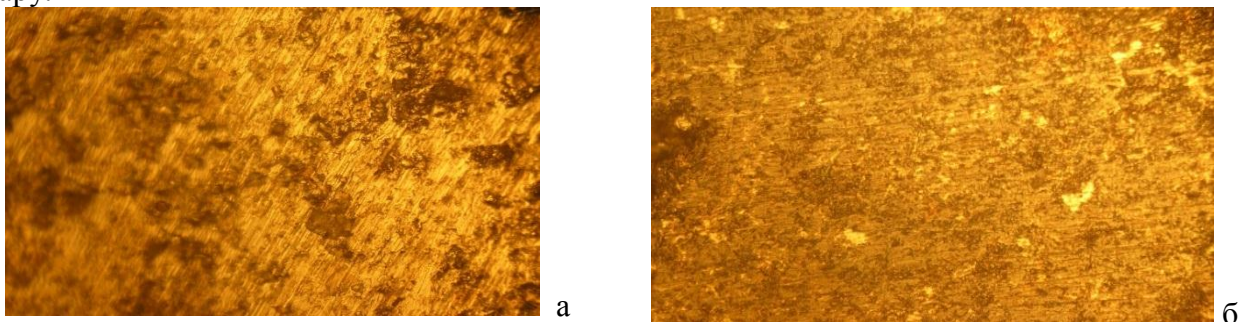
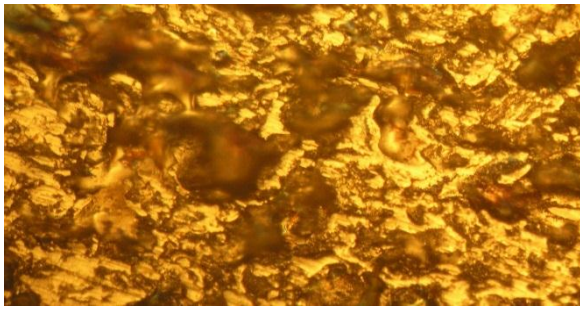
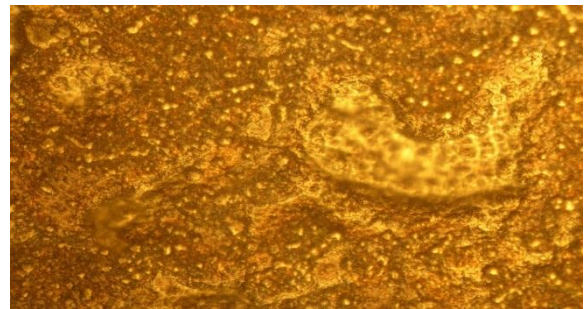


Рисунок 5 – Мікроструктура поверхні зразка №1 із титанового сплаву BT1-0 до азотування (а) та після (б) x 400

Товщина нітридного шару складає 100...150 мкм. Мікротвердість верхнього шару – HV0,05 10540±1000 МПа, нижнього і середнього – HV0,05 10510±1010 МПа



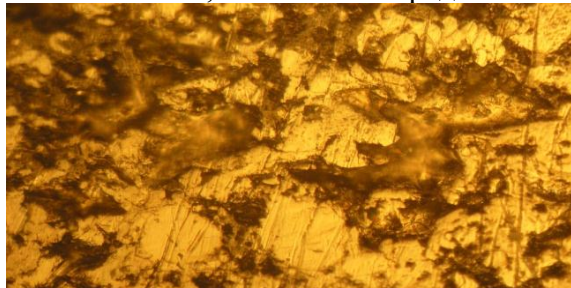
а



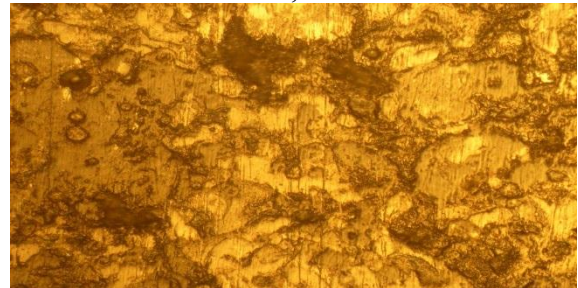
б

Рисунок 6 – Мікроструктура поверхні зразка №2 із титанового сплаву VT1-0 до азотування (а) та після (б) x 400

Товщина нітридного шару 90...120 мкм, Мікротвердість верхнього шару - HV0,05 12290±580 МПа, нижнього і середнього - HV0,05 9900±570 МПа HV0,05 9850±580



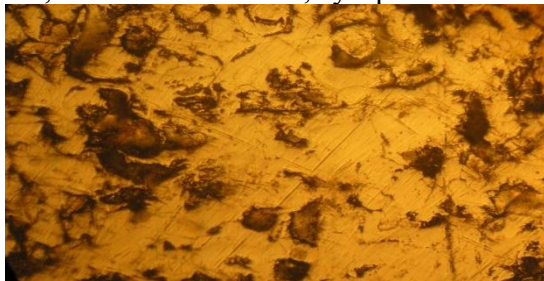
а



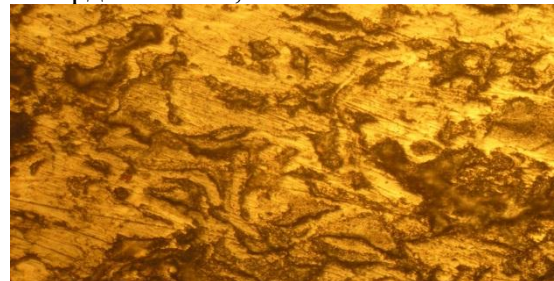
б

Рисунок 7 – Мікроструктура поверхні зразка №1 із титанового сплаву VT1-00 до азотування (а) та після (б) x400

Товщина нітридного шару 95...125 мкм. Мікротвердість поверхні після азотування HV0,05 8600±1340МПа, зустрічаються включення твердістю HV0,05 13000-20000 МПа.



а



б

Рисунок 8 – Мікроструктура поверхні зразка №2 із титанового сплаву VT1-00 до азотування (а) та після (б)

Товщина нітридного шару 85...105 мкм. Мікротвердість поверхні після азотування HV0,05 8500±1310МПа, зустрічаються включення твердістю HV0,05 12500-18000 МПа.

Висновки

1. Азотування (до 900⁰С) в тліючому розряді титану VT1-0 та VT1-00 дозволяє значно підвищити мікротвердість за рахунок властивостей азоту та його сполук з титаном, зберігаючи при цьому вихідні механічні властивості матеріалу основи.

2. Зміна параметрів процесу азотування (температура, тиску, складу насичуючого середовища і часу азотування) викликає зміну фізико-механічних характеристик, структури, товщини, фазового і хімічного складу поверхневого азотованого шару: мікротвердість поверхні до 10500 МПа; товщину азотованого шару до 500 мкм; товщину нітридного шару до 25 мкм; різне співвідношення фаз TiN, Ti₂N, Tiα(N); різний градієнт твердості по глибині, що дозволяє оптимізувати властивості поверхневого шару в конкретних умовах експлуатації.

Список використаних джерел

1. Ляшенко Б.А., Рутковский А.В., Мирненко В.И. Поверхностное упрочнение титановых сплавов для перспективных разработок. Артиллерийское и стрелковое вооружение. 2004. №2. С. 50–53.
2. Nazmy M., Staubli M. Alloy modification of γTiAl for improved mechanical properties (Поліпшення механічних властивостей сплаву γTiAl шляхом модифікації). Scr. met. Et mater. 1994. 31, №7. Р. 829-833.

3. Шаркеев Ю.П., Кукареко В.А., Ерошенко А.Ю. и др. Ионная имплантация как метод повышения циклической долговечности титана в крупнозернистом и ультрамелкозернистом состояниях. Перспективные материалы. 2011. №12. С. 136 – 142.
5. Иванов Ю.Ф., Тересов А.Д., Громов В.Е., Будовских Е.А., Клопотов А.А. Структурно-фазовые состояния наноструктурированных поверхностных слоев титана VT1-0 после комбинированной электронно-ионно-плазменной обработки. Решетневские чтения. 2014. Т. 1, С. 291-293.
6. Гогаєв К.О., Радченко О.К. Деформування титанових сплавів прокатуванням. Металознавство та обробка металів. 2001. №4. С. 25–29.
7. Багмутов В.П., Водопьянов В.И., Денисевич Д.С., Захаров И.Н., Захарова Е.Б. Структура и микротвердость титановых сплавов после электромеханической обработки и ультразвукового поверхностного легирования. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2015. 58(4), 272-276.
1. Шалапко Ю.І., Гончаров В.В. Підвищення антифрикційних властивостей титанового сплаву ОТ4 при лазерному опромінюванні поверхні. Вісн. Технол. ун-ту Поділля. 1999. № 6. С. 177–178.
2. Yue T.M., Cheung T.M., Man H.C. The effects of laser surface treatment on the corrosion properties of Ti-6Al-4V alloy in Hank's solution. J. Mater. Sci. Lett. 2000. 19, №3. P. 205–208.
8. Gurrappa I. Effect of aluminizing on the oxidation of the titanium alloy, IMI 834 (Влияние алюминирования на окисление титанового сплава IMI 834). Oxid. Metals. 2001. 56, №1-2. P. 73-87.
9. Федірко В., Яськів О., Притула А. Азотування і борування титанових сплавів - перспективи комбінованого оброблення. Машинознавство. 2003. №4. С. 23–26.
10. Федорак Р.М. Дифузійне залізнення та цементация титану. Металознавство та обробка металів. 1998. №4. С. 52–55.
11. Ляшенко Б.А. О достоинствах технологии вакуумного азотирования. Оборудование и инструмент. 2005. №12. С. 20-21.
12. Рутковский А. В., Маркович С.І., Михайлюта С.С. Аналіз напружено-деформованого стану іонноазотованих зразків із покриттям в умовах ізотермічної та термоциклічної повзучості. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Випуск 6(37) Частина І. Кропивницький, 2022. С. 3-9
13. Рутковський А.В., Маркович С.І., Михайлюта С.С. Теплостійкість іонноазотованих алюмінієвих сплавів при ізотермічному та термоциклічному впливі. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. м. Випуск 3(34), Кропивницький, 2020. С. 72-81

ВПЛИВ TEMПЕРАТУРИ ЕЛЕКТРОЛІТУ НА ВЛАСТИВОСТІ ІМПУЛЬСНО АНОДОВАНИХ ШАРІВ НА ТЕХНІЧНОМУ АЛЮМІНІЇ

В.М. Гвоздецький, *ст. наук. співр., канд. техн. наук,*
Фізико-механічний інститут НАН України, м. Львів, Україна,

С.І. Маркович, *доц., канд. техн. наук,*
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна,

Х.Р. Задорожна, *н.с. співр., канд. техн. наук,*
М.М. Студент, *пров. наук. співр., проф, док. техн. наук,*

Г.Г. Веселівська, *ст. наук. співр., канд. техн. наук,*
Фізико-механічний інститут НАН України, м. Львів, Україна

Pulse anodizing forms oxide layers on compact aluminum alloys, which allows to obtain surface layers with high hardness (up to 2000 HV), low coefficient of friction, high adhesion to the metal base and low environmental hazard. The influence of pulse anodizing temperature on the structure and wear resistance of anodized layers was studied. It was established that the more water and sulfur molecules in the anodized layer, the lower its microhardness and abrasive wear resistance. The minimum wear of the anodized layer, which means the highest wear resistance, was recorded for layers synthesized at an anodization temperature of -8°C , and the maximum wear and lowest wear resistance at an anodization temperature of -5°C . The high wear resistance of anodized layers synthesized at electrolyte temperatures from -8 to $+10^{\circ}\text{C}$ under conditions of friction without lubrication is due to the presence of crystalline water in the anodized layer.

aluminum alloys, pulse anodizing temperature, structure, hardness, wear resistance.

Вступ

Алюмінієві сплави широко використовують у промисловості завдяки їх високій конструкційній міцності та ливарним властивостям, низькій питомій вазі та температурі плавлення, проте алюмінієві сплави характеризуються низькою абразивною зносостійкістю, що суттєво стримує їх широке використання в технологічних середовищах, особливо за наявності в них абразивних часточок.

Аналіз попередніх досліджень

Для покращення твердості й абразивної зносостійкості застосовують методи гальванічного хромування, термічного напилення, плазово-електролітичного оксидування (ПЕО) [1-3] і твердого анодування (НА) [4]. Використання канцерогенних та екологічно шкідливих електролітів під час впровадження методу хромування робить його екологічно небезпечним [5]. Отримання алюмінієвих сплавів дозволяє зберегти поверхневі шари з високою твердістю (до 2000 HV), низьким коефіцієнтом тертя, високою адгезією до металевої основи та низькою екологічною небезпекою. Метод синтезу НАL досить дешевий і технологічно простий. Тому він широко використовується в промисловості. Однак через суттєві недоліки (низька твердість ≤ 500 HV і зносостійкість) його широке застосування для поверхневого зміцнення різних елементів обмежене [6, 7]. Тверде анодування, реалізоване в режимі імпульсних струмів, має суттєві переваги порівняно з твердим анодуванням за постійного струму. Суть методу імпульсного анодування полягає в періодичній зміні густини струму. Впродовж періоду з низькою густиною струму тепло, що утворюється на поверхні анодованого зразка, ефективно розсіюється, тоді як під час періоду високої густини струму інтенсифікується процес утворення оксиду. Тому підвищення міцності та стійкості до стирання анодованих шарів на алюмінієвих сплавах є актуальною проблемою [8, 9].

Мета та завдання

Мета роботи встановити вплив температури імпульсного анодування на структуру та зносостійкість анодованих шарів.

Результати вирішення основних завдань

Формування анодованого шару. Процес імпульсного жорсткого анодування проводили у 20% водному розчині H_2SO_4 за густини струму $1,4 \text{ A/дм}^2$ з частотою 100 Гц з шпаруватістю (СК) 75% (рис. 1).

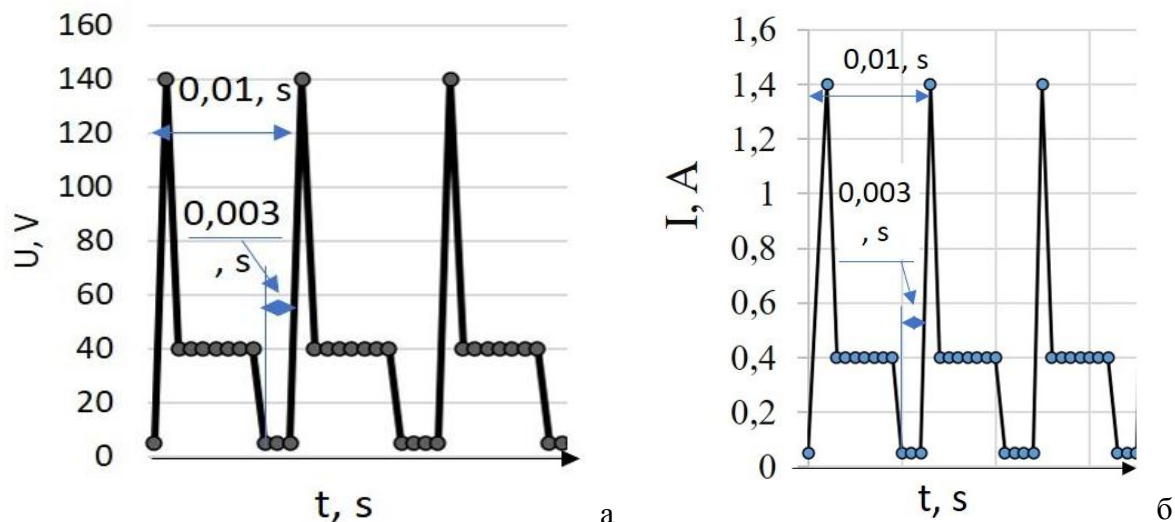


Рисунок 1 – Зміна густини струму (а) та напруги (б) робочого циклу (DC) в процесі імпульсного холодного анодування

Температуру електроліту під час формування шарів підтримували на рівні, $-5^\circ\pm 1^\circ\text{C}$, $0^\circ\text{C}\pm 1^\circ$, $+5^\circ\text{C}\pm 1^\circ$, $+10^\circ\text{C}\pm 1^\circ$. Тривалість синтезу становила 60 хв. Принципова схема установки для створення шарів наведена на рис. 2. З технічного алюмінію (0,05 Cu; 0,05 Mn; 0,05 Mg; 0,05 Ti; решта Al) виготовлено зразки для анодування у вигляді пластин розміром $20\times 20\times 5$ мм. Перед анодуванням зразки знежирювали у водному розчині суміші (CaO + MgO) і промивали холодною та теплою водою з наступним освітленням у водному розчині азотної кислоти (400 г/л HNO_3) протягом 30 с. та промиванням у дистильованій воді..

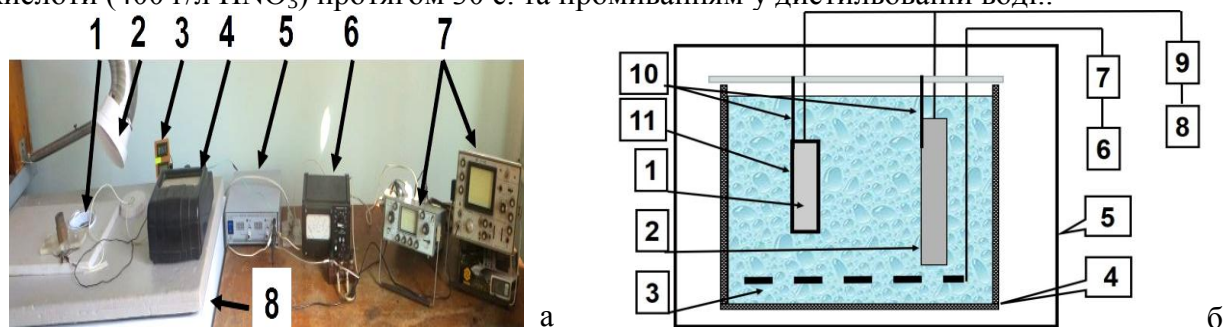


Рисунок 2 – Обладнання для анодування – (а) 1 - смінь з електролітом, 2 - витяжна, 3 – прилад контролю температури електроліту, 5 – джерело живлення для підтримання густини струму 5 A/дм^2 між зразком та електродом, 6 – блок регулювання частоти імпульсів, 7 – прилади контролю напруги та частоти імпульсів на зразку, 8 - камера для стабілізації температурного режиму процесу анодування у діапазоні $-4 \dots 0^\circ\text{C}$, та принципова схема установки (б) 1 – зразок для анодування; 2 – електрод; 3 – барботер; 4 – смінь з електролітом (20 % водний розчин H_2SO_4); 5 – камера для стабілізації температурного режиму процесу анодування у діапазоні $-4-0^\circ\text{C}$; 6 – компресор; 7 – блок регулювання продуктивності барботера та компресора; 8 – джерело живлення для підтримання густини струму 5 A/дм^2 між зразком та електродом; 9 – блок регулювання та контролю потужності джерела живлення, 10 – кріплення електрода та зразка, 11 – анодний шар

Для атестації шарів, отриманих методом анодування, використовували дві характеристики: мікротвердість HV, виміряну на приладі ПМТ-3 при навантаженні 50 г, та абразивну зносостійкість методом фіксованого абразиву 1/W, визначену за втратою маси W зразки, отримані на електронних аналітичних вагах типу KERN ABJ 220 4M з точністю $2\cdot 10^{-4} \text{ g}$.

Дослідження абразивної зносостійкості проводили згідно розробленої методики [10].

Структуру та мікрорентгено спектральний аналіз твердих анодованих шарів досліджували на електронному мікроскопі EVO 40 XVP із системою мікроаналізу INCA Energy 350. Для фазового аналізу синтезованих шарів використовували рентгенівський дифрактометр BRUKER D8 DISCOVER.

Результати досліджень. Анодовані шари містять у своєму складі молекули води і чим вища температура анодування, тим більша їх кількість. Очевидно, що верхні шари анодованого шару містять більше молекул води, внаслідок тривалішого контакту з електролітом.

За низьких температур менше -5°C внаслідок низької швидкості електрохімічних процесів синтезуються оксидні шари із пониженою мікротвердістю та товщиною. Фазовим аналізом при цьому зафіксовано синтез оксидного шару на основі алюмінію із вмістом двох фаз: синтез анодованого шару починається з утворення гідратованого оксиду алюмінію $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ зі структурою Pbnm, ($a=4.40 \text{ \AA}$, $b=9.39 \text{ \AA}$, $c=2.84 \text{ \AA}$) – беміту, яка містить одну молекулу води та фази $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ – зі структурою P21/n ($a=8.624 \text{ \AA}$, $b=5.060 \text{ \AA}$, $c=9.700 \text{ \AA}$) – гібситу, яка містить три молекули води.

Із підвищенням температури анодування швидкість електрохімічних процесів зростає, що зумовлює зростання товщини анодованого шару (рис. 3), так і його мікротвердості рис. 19. За температури 0°C , та -5°C анодований шар містять лише одну фазу - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, (беміт) з однією молекулою води. За температури анодування $+5^{\circ}\text{C}$ та -8°C анодований шар знову формується у вигляді двох фаз - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (гібситу). та $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (беміту) а за температури $+10^{\circ}\text{C}$ лише $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (гібситу).

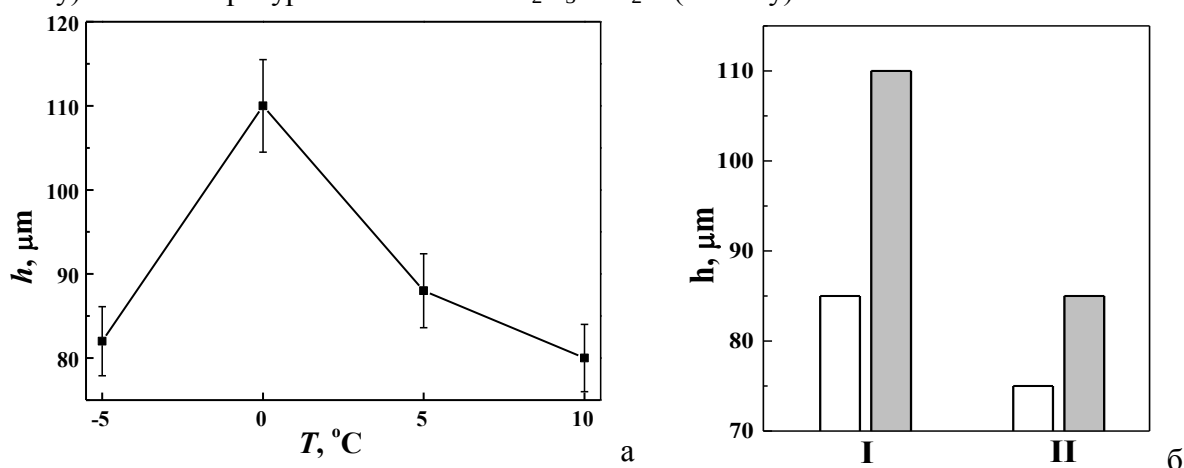


Рисунок 3 – (а) Вплив температури електроліту T під час імпульсного твердого анодування тривалістю 1 година на товщину h синтезованих ІТАШ та (б) вплив режиму синтезу твердого анодованих шарів (ТАШ) за постійного (білі стовпчики) та імпульсного (сірі стовпчики) струмів на товщину анодованих шарів h , отриманих за температури -5°C (I) та $+5^{\circ}\text{C}$ (II).

Результати оцінювання товщини імпульсним твердим анодуванням шару (ІТАШ) в залежності від температури електроліту T під час анодування, наведені на рисунку 4а. Оскільки за температури нижчої -10°C електроліт перетворюється в гелеподібну субстанцію, в якій електрохімічні реакції практично припиняються, то розпочали синтез ІТАШ за температури -5°C . Проте внаслідок синтезу за $T = -5^{\circ}\text{C}$ і потім і вищої (аж до 0°C) середнє значення товщини ІТАШ зростало від 83 мкм до 110 мкм. За подальшого підвищення температури електроліту товщина ІТАШ зменшувалася і за температури електроліту $+10^{\circ}\text{C}$ становила 80 мкм. Такий характер зміни товщини анодованого шару від температури синтезу пояснили двома протилежними процесами, які відбуваються під час анодування. Із зростанням температури електроліту перш за все інтенсифікується процес синтезу ІТАШ, а отже товщина отриманого шару мала би постійно зростати зі зростанням температури

синтезу. Проте зростання температури електроліту інтенсифікує також поверхневе розчинення анодованого шару, яке спрямоване на зменшення товщини анодованого шару. І коли швидкість розчинення анодованого шару починає перевищувати швидкість його синтезу, то його товщина починає зменшуватися.

Отримана закономірність зміни товщини ІТАШ від температури електроліту однозначно підтвердила закономірність зниження швидкості росту ІТАШ за температури понад 0°C через перевищення швидкості процесу електрохімічного розчинення синтезованого шару (внаслідок взаємодії з наявною в електроліті кислотою) над його швидкістю синтезу. Отже, оскільки чим нижча температура синтезу, тим менш інтенсивно анодовані шари розчиняються через взаємодію з кислотою, то і дослідники, і виробники віддають перевагу низькій температурі процесу анодування. Її вибір оптимізують таким чином, щоб температура синтезу, з одного боку, забезпечувала би все ще достатньо високу швидкість росту ІТАШ, а, з другого, – мінімізувала би шкідливий ефект розчинення синтезованого шару через його роз'їдання кислотою.

Застосування імпульсного твердого анодування дає змогу додаткове підвищити товщину синтезованого шару h відносно отриманого з використанням традиційного твердого анодування за стабільного струму. Як показано на рисунку 4 за імпульсного режиму синтезу анодованого шару його товщину можна підвищити на 15-20% за обох температур електроліту: і за пониженої, а саме -5°C , рисунок 4б (І), і за підвищеної, а саме $+5^{\circ}\text{C}$, рисунок 10б (ІІ). Але при цьому в обох синтезованих шарах (ТАШ та ІТАШ) підвищення температури електроліту зменшувало товщину анодованого шару (на 55 % за синтезу в режимі ТА, і на 75% за синтезу у режимі ІТА, рисунок 4, білі і сірі стовпчики відповідно).

Отже з підвищенням температури електроліту понад -5°C товщина анодованого шару зменшувалася незалежно від використаного режиму синтезу (за постійного чи за імпульсного струмів). В обох випадках попри інтенсифікацію обох електрохімічних процесів зменшення товщини анодованого шару за температури $+5^{\circ}\text{C}$ зумовлено його розчинення ніж синтезом.

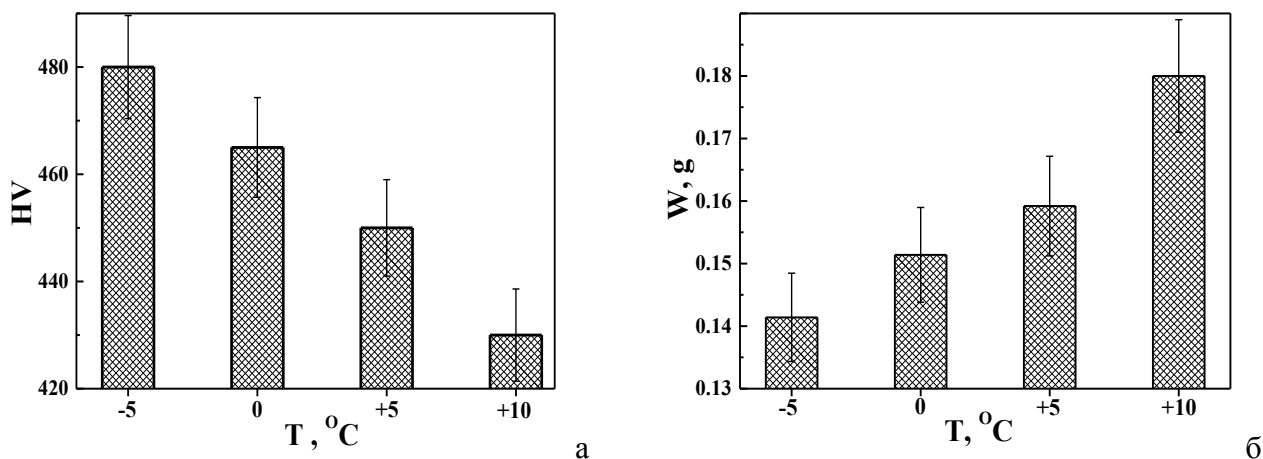


Рисунок 4 – Вплив температури електроліту під час синтезу імпульсно-анодованих шарів на поверхні алюмінієвого сплаву 1011 на їх (а) мікротвердість HV та (б) втрату маси W після випробувань на абразивну зносостійкість в умовах із закріпленим абразивом

Найвищу мікротвердість та, відповідно, абразивну зносостійкість $1/W$ зафіксували для ІТАШ із однією молекулою води $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (беміт), синтезованого за температури електроліту -5°C . Саме з її появою у структурі анодованого шару пов'язали максимальний ефект зміцнення. Однак, з підвищенням температури електроліту під час імпульсного анодування мікротвердість і абразивна зносостійкість ІТАШ знижувалися. Це пов'язали з формуванням в анодованих шарах оксиду алюмінію $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ з більшою кількістю молекул води та структурою гібситу.

На основі представлених на рисунку 4 результатів вважали, що встановлені закономірності зміни мікротвердості та абразивної зносостійкості ІТАШ, пов'язані з

особливостями дегідратації анодованих шарів, синтезованих за різної температури електроліту. Крім того відзначили, що закономірність зміни обох цих показників від температури синтезу корелює також із зміною вмісту сірки в анодованих шарах, як це показано на рисунку 5 за результатами оцінювання вмісту сірки в анодованих шарах на основі їх рентгенофазового аналізу.

Визначено зростання вмісту сірки у складі ІТАШ в міру зростання температури їх синтезу. Максимально високий її вміст (5,7 мас. %) виявили в ІТАШ, синтезованому за температури +10°C, а за температур анодування в діапазоні від -5 до 0°C зафіксували її найнижчий вміст (4,75 мас. %).

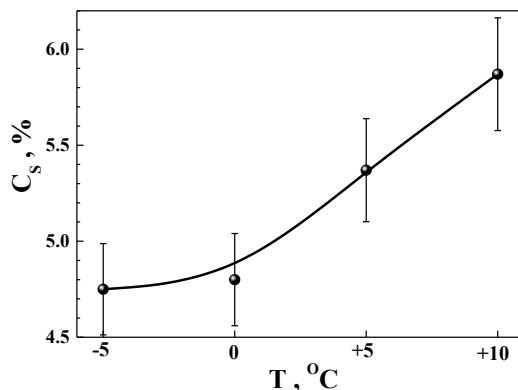


Рисунок 5 – Вплив температури електроліту Т під час імпульсного твердого анодування алюмінієвого сплаву 1011 на вміст сірки C_S, визначений за результатами рентгенофазового аналізу на поверхні синтезованого шару ІТАШ

Отже мінімальний знос та, відповідно, найвищу зносостійкість зафіксовано для анодованого шару, синтезованого за температури -5°C. Проаналізувавши отримані результати, підсумували, що мікротвердість HV та абразивна зносостійкість 1/W ІТАШ були вищими, за меншої кількості молекул води, що входила до складу оксидів алюмінію, та нижчого вмісту сірки, що досягалося синтезом ІТАШ за мінусової температури електроліту.

Висновки

1. Що більше молекул води та сірки в анодованому шарі, то менша його мікротвердість та абразивна зносостійкість.

2. Мінімальний знос анодованого шару, а значить найвищу його зносостійкість, зафіксовано для шарів, синтезованих за температури анодування -8°C, а максимальний знос та найменшу зносостійкість за температури анодування -5°C.

3. Висока зносостійкість анодованих шарів, синтезованих за температур електроліту від -8 до +10°C за умов тертя без мащення зумовлена наявністю кристалічної води в анодованому шарі.

Список використаних джерел

1. Cr₂O₃ Sealing of Anodized Aluminium Alloy by Heat Treatment / Junghoon Lee, Yonghwan Kim, Heuiun Jang, Uoohang Jung and Wonsub Chung. *Procedia Engineering*. 2011. 10. P. 2803–2808.
2. Оцінка розподілу включень і дефектів плазмоелектролітних і лазерно модифікованих покриттів на алюмінієвих сплавах / І.Б. Івасенко, Х.Р.Задорожна, В.М. Посувайло та ін. Міжвузівський збірник “Наукові нотатки” Луцьк, 2019. Випуск №66. С. 135–140.
3. Методичні вказівки до лабораторної роботи за темою "Електрохімічне окислення алюмінію і його сплавів" для студентів спеціальності "Технічна електрохімія" денної та заочної форм навчання / уклад.: О.І. Пилипенко. – Х. : НТУ "ХПІ", 2016. – 36 с
4. Shih H., Tzou S. Study of anodic oxidation of aluminum in mixed acid using a pulsed current. *Surface and Coatings Technology*. 2000. 124. P. 278–285.
5. Хімічна корозія та захист металів : навчальний посібник / [П. І. Стоєв, С. В. Литовченко, І. О. Гірка, В. Т. Грицина]. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. – 216 с
6. Anodic aluminum oxide films formed in mixed electrolytes of oxalic and sulfuric acid and their optical constants / Li-Rong Zhao, Jian Wang, Yan Li, Cheng-Wei Wang, Wei-Min Liu. *Physica B: Condensed Matter*. 2010. 405. №11. P.456-460.

7. Alloy in the hard anodizing process / P. Kwolek, K. Krupa, A. Obłój, P. Kocurek, M. Wierzbińska, J. Sieni. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2018. 27. P. 3268–3275
8. Вплив складу електроліту на характеристики синтезованого під час твердого анодування алюмінію оксидного шару / М. М. Студент, В. М. Гвоздецький, Г. Г. Веселівська та ін. // *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – Вип. 4 (35). – С. 63–69.*
9. Зносостійкість та корозійна тривкість ПЕО шарів на покритті зі сплаву Д16 / Г. Г. Веселівська, Я. Я. Сірак, В. М. Гвоздецький [та ін.] // *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. - Кропивницький : ЦНТУ, 2017. - Вип. 47, ч. 2. - С. 31-37.*
10. Багатофункціональні електродугові покриття : монографія / М. М. Студент, Г. В. Похмурська, В. М. Гвоздецький [та ін.]. - Львів : Простір-М, 2018. - 335 с.

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЛЕГУВАННЯ Fe-Mo-W-B-C СПЛАВІВ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ НОЖІВ ІЗ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ПЛАСТИКУ

Р.В. Сем'яник, асп. гр. А 132-22,

П.М. Присяжнюк, доц., канд. техн. наук

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ,
Україна*

Продуктивність та рентабельність процесу рециклінгу пластикових відходів значною мірою визначається надійністю обладнання, яке використовується на операціях пов'язаних із їх подрібненням та залежить від зносотривкості поверхні робочих елементів – ножів (рис.1). У процесі їх роботи має місце нормальне зношування, зумовлене контактною взаємодією із переробною сировиною так і крихке руйнування зумовлене наявністю у складі такої сировини різного роду твердих матеріалів, кількість яких залежить від якості заготівельних операцій. Основним матеріалом для виготовлення ножів у даний час є швидкорізальна сталь марки Р6М5, яка за умов виникнення динамічних навантажень або багатоциклової втоми піддається інтенсивному викришуванню. З огляду на це ефективним методом для підвищення зносотривкості ріжучих кромки є використання технології наплавлення покриттів які забезпечують формування градієнтних структур із композиційною будовою [1], де роль армівних фаз виконують високомодульні тугоплавкі сполуки із високою мікротвердістю. До таких сполук, зокрема відносяться складні боридні фази типу Mo_2MeB_2 [2] у яких роль Ме виконують такі елементи як Fe, Ni, Mn або їх розчини заміщення із іншими легуючими елементами. З огляду на необхідність забезпечення високого рівня різальних властивостей перспективним елементом для легування сплавів для наплавлення у яких має місце формування фаз типу Mo_2MeB_2 є W, оскільки за умови вдало вибраної концентрації виникає можливість для підвищення рівня фізико-механічних характеристик як матриці (сталі) так і армівної фази (бориду відповідного складу). Така концентрація може бути вибрана шляхом аналізу термодинамічних моделей фаз у багатокомпонентній системі, відповідно до положень наведених у роботі [3] із інтеграцією у сучасні програмні засоби такі як Thermo-Calc та OpenCalphad.



Рисунок 1 – Загальний вигляд ножа (а) та контрножа (б) для переробки пластикових відходів

У даній роботі, як базова розглядається багатокомпонентна система легування Fe-Mo-B-C [2], у межах якої із розрахунку на можливість формування твердих розчинів заміщення вивчається вміст W. Для моделювання фазового складу використано програмний пакет Thermo-Calc 2022a [4] із базою даних для легованих сталей. Основна прогнозована армівна боридна фаза моделювалась відповідно до три-підграткової моделі Хіллєрта у вигляді $(\text{Mo,W})_2(\text{Fe})^{\text{II}}_1(\text{B})^{\text{III}}_2$, де верхній індекс вказує на порядковий номер підгратки, а нижній на відповідний стехіометричний коефіцієнт. Розрахунок проводився шляхом побудови ізоплету що відповідав системі мас. % : Fe – 66, B – 3.5, C – 1.0 та Mo+W решта (рис.2).

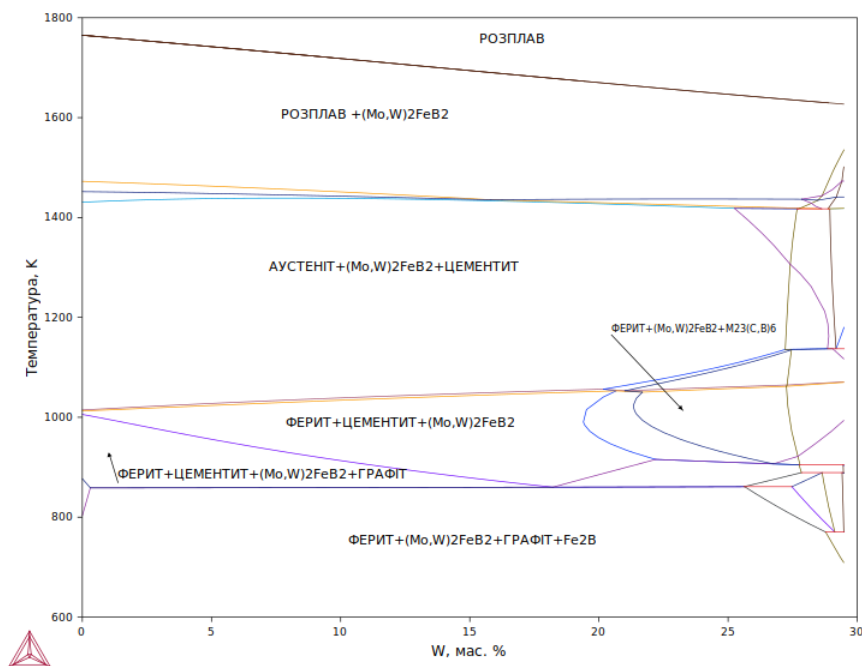


Рисунок 2 – Загальний вигляд ножа (а) та контрножа (б) для переробки пластикових відходів

Аналіз побудованого ізотермічного січення показує, що у вольфрам показує високу розчинність у боридній фазі формуючи ряд неперервних розчинів $\text{Mo}_2(\text{Mo,W})\text{B}_2$ у широкому діапазоні концентрацій (до 20 мас. %). За концентрацій понад 20 мас. % спостерігається стабілізація фази M_{23}C_6 , яка як правило у сплавах на основі заліза виділяється по границях зерен. Таким чином, розроблення сплавів у даній системі легування раціонально проводити для сплавів, у яких формуються тверді розчини орієнтовного складу $\text{Mo}_2(\text{Mo}_{0.2}\text{W}_{0.8})\text{B}_2$. Наступним етапом досліджень є теоретичне та експериментальне визначення механічних характеристик даного твердого розчину.

Список використаних джерел

1. Lutsak D.L. et al. Formation of Structure and Properties of Composite Coatings TiB_2 - TiC -Steel Obtained by Overlapping of Electric-Arc Surfacing and Self-Propagating High-Temperature Synthesis // *Metallfiz. Noveishie Tekhnologii*. National Academy of Sciences of Ukraine (Co. LTD Ukrinformnauka), 2016. Vol. 38, № 9. P. 1265–1278.
2. Bembenek M. et al. Microstructure and Wear Characterization of the Fe-Mo-B-C-Based Hardfacing Alloys Deposited by Flux-Cored Arc Welding // *Materials*. 2022. Vol. 15, № 14.
3. Hillert M. The compound energy formalism // *J. Alloys Compd.* 2001. Vol. 320, № 2. P. 161–1
4. Andersson J.-O. et al. Thermo-Calc & DICTRA, computational tools for materials science // *Calphad*. Elsevier BV, 2002. Vol. 26, № 2. P. 273–312.

МІКРОЛЕГОВАНІ СТАЛІ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Г.М. Похиленко, старший викладач

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

Сталі з бором використовуються для виготовлення деталей аграрних і промислових машин: ножів грейдера, гусеничних ланцюгів, дробильних машин, ножів та різальних полотен, плугів, дисків для борони та інших.

Переваги сталей які містять бор в якості легуючого елементу.

- Висока міцність в загартованому стані.
- Зручність виготовлення складних конструкцій і деталей в гарячекатаному стані.
- Пластичність і хороша оброблюваність різанням в гарячекатаному стані.
- Зносостійкість: загартована деталь прослужить довше.
- В'язкість і стійкість до тріщин.
- Гарний опір механічним навантаженням.

Особливо відзначається ефективність мікролегування конструкційної сталі бором та комплексами елементів, в які входить бор. Бор у конструкційні леговані сталі вводять не тільки для підвищення прогартованості, але і для одночасного зниження витрат дефіцитних легуючих елементів (нікель, хром, молібден та інші) без погіршення механічних властивостей та показників оброблюваності, втомної міцності, зварюваності.

Досліджували вплив бору, цирконію і ванадію, а також комплексів бор – ванадій, бор – цирконій та бор – ванадій – цирконій на механічні властивості сталі 30ХГС.

Аналіз впливу мікролегування на механічні властивості сталі 30ХГС дає можливість встановити:

а) мікро добавки ванадію зменшують всі випробовувані властивості сталі 30ХГС. В комплексі із цирконієм ванадій має тенденцію впливати на падіння характеристик механічних характеристик. Мікродобавки ванадію із бором не показали суттєвого впливу на властивості сталі 30ХГС;

б) бор покращує всі характеристики сталі 30ХГС крім відносного звуження;

в) сумісне легування бором цирконієм і ванадієм найбільше впливає на збільшення ударної в'язкості;

г) мікролегування цирконієм, сумісно цирконієм і ванадієм, та цирконієм і бором дозволило досягнути значень питомого опору руйнуванню сталі при розтягу від 1638 до 1964 МПа і межі плинності від 1366 до 1689 МПа;

д) найбільш низький рівень значень ударної в'язкості і відносного звуження отриманий при мікролегуванні сталі 30ХГС цирконієм і цирконієм та ванадієм сумісно.

Вплив температури відпуску в залежності від виду мікро добавок дає можливість визначити, що введення бору в сталь 30ХГС дозволило збільшити межу текучості на 100 – 150 МПа, а межу міцності на 200 МПа після низького і середнього відпуску, тоді як при високому відпуску ці показники практично не змінилися. Комплекс бор – ванадій сприяє підвищенню не лише межі міцності і межу текучості на 100 МПа після низького і середнього відпуску, але й збільшенню в 1.5 рази ударної в'язкості.

При мікролегуванні сталі комплексом бор – цирконій є можливість досягнути такого ж ефекту, але при цьому спостерігається різке зменшення ударної в'язкості і відносного видовження сталі в інтервалі температур середнього відпуску. Додаткове мікролегування сталі ванадієм зміщує інтервал різкого зниження ударної в'язкості в зону температур високого відпуску, при цьому відносне видовження поступово збільшується з підвищенням температури відпуску.

На зростання міцності і твердості найбільший вплив має цирконій, а на покращення характеристик пластичності – сумісне легування сталі 30ХГС комплексом бор- ванадій-цирконій.

В Європі, аграрні машинобудівники використовують низьколеговані борвмісні сталі. Щоб замінити деталі імпортої техніки, яка вийшла з ладу в Україні для сільськогосподарських машин почали випускати сталь 30MnB5 Українського виробництва. До того ж, після гартування і відпуску, деталі з цієї сталі набувають підвищену експлуатаційну стійкість – їх ресурс в два-три рази вище в порівнянні з продукцією зі сталі 65Г, яка використовується для аналогічних деталей. Інша борсталь, яка випускаються в Україні і Європі (Італія), з підвищеними міцністю і жароміцністю - 38MnB5, а також низьковуглецева 27MnCrB5 з кращою прогартуваністю, більш високою міцністю і покращеною зварюваністю.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ РЕМОНТІ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ

О.М. Бистрий, старший викладач,
А.В. Новицький, доц., канд. техн. наук
*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
 м. Київ, Україна, E-mail: Novytskyy@nubip.edu.ua, anbystry@ukr.net*

Корпусні деталі визначають надійність роботи всієї конструкції машини, агрегату, вузла [1, 8]. На їхню частку припадає до 60% за масою від усіх деталей сільськогосподарської техніки, близько 50% з яких виходять з ладу через виникнення тріщин, що досягають довжини від 2 до 800 мм. Такі деталі, як правило, виготовляють із чавуну, алюмінію та сталі. [1, 2]. Статистичні дані по прояву тріщин в корпусних деталях наведені в таблиці 1.

Для усунення тріщин використовуються способи, основним недоліком яких є високі витрати на обладнання та матеріали, кваліфікація персоналу та трудомісткість процесу. Розрізняють такі методи як наплавлення, зварювання, заливка рідким металом, характерною ознакою цих методів є значно високі температурні режими. Різновиди пайки відносяться до методів з обмеженим тепловим режимом. Також широко застосовуються методи відновлення без суттєвого впливу теплового режиму з використанням додаткових конструктивних елементів та полімерних матеріалів. Використання для ремонту полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) на основі епоксидних смол позбавляє ряду недоліків, які виникають при високих теплових режимах, і характеризується простотою використання та високими характеристиками міцності.

Таблиця – Середньостатистичні дані пошкодження корпусних деталей наявністю виникнення тріщин

Марка машин, двигуна	Найменування корпусної деталі	% пошкоджених деталей, що надійшли в ремонт,	
		Тріщини у перемичках	Тріщини стінок
ДТ-75М	Корпус трансмісії	2	48
МТЗ-80	Корпус заднього мосту	15	9
МТЗ-80	Корпус коробки	22	3
МТЗ-82	Корпус заднього мосту	-	12
Т-150К	Корпус коробки	-	17
К-701	Корпус коробки	-	17
СМД-14	Головка циліндрів	27,6	8,8
Д-240	Головка циліндрів	25	-
ЯМЗ-238НБ	Головка циліндрів	44,6	-
А-41	Головка циліндрів	44,2	2,1
А-01М	Головка циліндрів	44,2	2,1
СМД-14	Блок циліндрів	2	8
Д-240	Блок циліндрів	-	3
А-41	Блок циліндрів	-	6

Одним із перспективних способів поліпшення ПКМ є введення в полімерну матрицю нанорозмірних наповнювачів, рівномірний розподіл яких і безпосередня взаємодія з ланками полімерного ланцюга призводить до підвищення фізико-механічних властивостей. [3-5].

Дані нанонаповнювачі є перехідні стану речовин - макроскопічні сполуки ультрамалих частинок з розмірами близько 10... 100 нм або параметром, який хоча б в одному вимірі має не більше 100 нм. Так, до основних властивостей відносять: високу поверхневу активність, здатність зменшувати усадку, знижувати коефіцієнт лінійного (термічного) розширення затверденої композиції, збільшувати теплопровідність та термостійкість.

Нанонаповнювачі також дозволяють створити в матеріалі метастабільні структури з великим запасом внутрішньої енергії, значно посилюють взаємозв'язок між структурними фрагментами, і в цілому різко змінюють фізико-хімічні та фізико-механічні властивості композицій, що наноструктуруються [5-7].

На сьогодні є актуальними дослідження властивостей наноструктурованих полімерних матеріалів на основі епоксидних смол, а саме:

- вивчення наноструктури полімерних компонентів;
- дослідження чинників, що впливають величину адгезійної міцності;
- вивчення герметизуючої здатності;
- дослідження деформаційних властивостей, термомеханічних характеристик та теплостійкості;
- дослідження впливу процесів старіння та вібраційних навантажень на герметизуючу здатність;
- вивчення стійкості до впливу робочих рідин;
- розробка технологічних процесів герметизації тріщин.

Результати представлених досліджень були використані в ремонтному виробництві при відновленні корпусних деталей та отримали практичне підтвердження.

Список використаних джерел

1. Ремонт машин та обладнання : підручник / О.І. Сідашенко, О.А. Науменко, Т.С. Скобло та ін. ; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменко. К.: Аграр Медіа Груп, 2014. 632 с.
2. Надійність сільськогосподарської техніки : підручник / [М. І. Черновол, В. Ю. Черкун, В. В. Аулін та ін.]; за ред. М. І. Черновола. – друге видання, перероблене і доповнене. Кіровоград: КОД, 2010. 320 с. : іл.
3. *Калашніков, А.Г. Ремонт базисних деталей тракторів [Текст]/А.Г. Калашніков. Київ: Урожай, 1965. 280 с.*
2. Структура та властивості полімерних композитів на основі епоксидного полімера, поліаніліну та оксиду металу Al(III) або Fe(III) / В.І. Штомпель, В.О. Віленська, В.Л. Демченко, Ю.Ю. Керча, С.В. Рябов // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології: Зб. наук. пр. К.: РВВ ІМФ, 2012. Т. 10, № 3. С. 543-551. Бібліогр.: 11 назв. укр.
3. Механика композитов. Прикладные исследования. / А.Н. Гузь, Л.П. Хорошун, М.И. Михайлова и др. // Киев : Наук. думка. - 2003. - Т 12. - 398 с.
4. Zhou J.P., Qui K.V., Fu W.L. The surface modification of ZnO and its effect on the mechanical properties of filled polypropylene composites // J. Composite Mater. - 2005. -V. 39, №21.-P. 1931-1941.
5. Ліпатов, Ю.С. Міжфазні явища у полімерах [Текст]/Ю.С. Ліпатов. – Київ: Наукова думка, 1980. – 259 с.
6. Новицький А. В., Банний О. О., Бистрий О. М. Дослідження впливу експлуатаційних факторів на технічний стан сільськогосподарської техніки. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 4. P. 39–46.

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ НАПЛАВЛЕНОГО ЕШН МЕТАЛУ

А.В. Захаров, аспірант II курсу,
І.М. Рибалко, доц., д-р техн. наук
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна

Усі наплавлені деталі піддають зовнішньому огляду, який слід проводити за наявності хорошого освітлення. Зовнішнім оглядом можна виявити подрізи, напливи, нерівномірності геометричних розмірів наплавленого шару, а також тріщини та пори, що виходять на поверхню наплавленого металу. Тріщини та пори, що виходять на поверхню, визначають також капілярними (кольоровим, люмінесцентним) та магнітним методами. Для виявлення внутрішніх дефектів використовують ультразвуковий та радіаційні методи контролю.

Для визначення розташування дефектів, що виходять на поверхню наплавленого металу, найбільш зручним та ефективним є метод капілярної дефектоскопії з використанням проникаючих рідин. При використанні цих методів наплавлену поверхню покривають спеціальною рідиною (пенетрантом), проникнення якої у тріщини і раковини, що виходять на поверхню, дозволяє виявити ці дефекти. Пенетранти бувають кольоровими (червона фарба) та люмінесцентними.

З цих двох методів контролю якості наплавленого металу широко використовують метод кольорової дефектоскопії. Нині багато підприємств освоїли випуск комплектів матеріалів для кольорової дефектоскопії в аерозольній упаковці. Комплект, як правило, складається з трьох компонентів (змивки, пенетранта та проявника) і для користування ним немає необхідності у спеціальному навчанні. Змивкою контрольовану поверхню очищають від різного роду забруднень. Потім на очищену поверхню наносять пенетрант, який проникає у дефекти, що виходять на поверхню. Після деякої витримки пенетрант видаляють з контрольованої поверхні і на неї наносять проявник. У місцях виходу дефектів на поверхню, проявник забарвлюється, що дає змогу виявити та класифікувати дефекти. Магнітний метод контролю менш універсальний та зручний, тому що його можна застосовувати тільки для магнітних матеріалів і для нього необхідний залізний порошок [1-2].

При виявленні внутрішніх дефектів позитивні результати дає ультразвукова дефектоскопія. Для неї застосовують поперечні (коливання частинок середовища відбуваються перпендикулярно до напрямку поширення хвилі) і поздовжні (коливання частинок середовища відбуваються вздовж напрямку поширення хвилі) ультразвукові хвилі. Введення ультразвукових коливань у виріб здійснюється прямими і похилими шукачами. Введені у виріб у вигляді зондувального імпульсу ультразвукові коливання, що зустрілися з несплошністю (дефектом), відбиваються від неї під кутом, що дорівнює куту падіння. Частина ультразвукової енергії після відображення повертається до шукача та фіксується дефектоскопом. Відображена енергія за інших рівних умов залежатиме від розміру, орієнтації, форми та характеру дефекту. Чутливість сучасних ультразвукових дефектоскопів дозволяє виявляти у сталі дефекти з еквівалентною площею 2...3 мм на глибині до 100 мм [3-4].

Для радіаційних методів контролю використовують рентгенівські та гамма-промені. У процесі контролю пучок рентгенівських та гамма-променів прямує на контрольовану поверхню наплавленої деталі. Проходячи через наплавлений шар, промені частково поглинаються і діють на фотоплівку, або люмінесцентний екран. Дефекти наплавленого металу внаслідок їх меншої поглинаючої здатності пропускають більше променів, ніж бездефектні ділянки. Відмінність інтенсивності променів фіксує відповідний індикатор. На фотоплівці та екрані дефекти відображаються у вигляді смуг і плям, що дозволяє визначити їх характер та місцезнаходження. Рентгенівські та гамма-промені надають шкідливий вплив

на людський організм, тому при радіаційній дефектоскопії необхідно суворо дотримуватись правил техніки безпеки. Досить часто якість наплавленого металу характеризується його твердістю. Твердість наплавлених деталей контролюють як у самих деталях, і на зразках свідках. Твердість вимірюють за Роквеллом (HRC), Віккерсом (HV), Брінеллем (HB), та Шором (HS). Всі способи вимірювання твердості, за винятком способу Шору, полягають у статичному вдавлюванні в наплавлений шар алмазної пірамідки, конуса, або сталевий кульки. Розмір відбитка, що залишається, характеризує твердість наплавленого металу. Існують стаціонарні та переносні прилади для вимірювання твердості [5].

Вимірювання твердості по Шору полягає у скиданні з певної висоти на виріб стрижня з алмазним наконечником, або сталевий кульки та вимірювання висоти відскоку. Дефекти у вигляді пор, тріщин та шлакових включень, якщо вони недопустимі, попередньо необхідно повністю видалити та провести повторне наплавлення. Для ремонтного наплавлення застосовують наплавні матеріали того самого типу, що і для основного процесу. Технологія наплавлення, режими попереднього підігріву та подальшої термообробки повинні бути такими ж, як і при виконанні основного процесу наплавлення.

Список використаних джерел

1. Методи та засоби визначення якості продукції: навч. посіб. / Т.З. Бубела, П.Г. Столярчук, Є.В. Походило та ін.; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Л.: Вид-во Львів. політехніки, 2012. – 292 с.
2. Метрологія, стандартизація та управління якістю. / Л.П. Клименко, Л.В. Пізінцалі, Н. І. Александровська, В. Д. Євдокимов – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2011. – 244 с.
3. Білокур І. П. Основи дефектоскопії: Підручник. — К.: "Азимут-Україна", 2004. — 496 с.
4. Поліщук С. С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин. — Львів: Вид-во державного університету "Львівська політехніка", 2000. — 359 с.
5. Білокур І. П. Елементи дефектоскопії при вивченні неруйнівного контролю. — К.: НМК ВО, 1990. - 97 с.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ МАШИН В ЗИМОВИЙ ПЕРІОД

М.В. Голотюк, доц., канд. техн. наук,

О.О. Налобіна, проф., д-р. техн. наук

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

В результаті спільного впливу негативних і близьких до 0°C температур повітря, підвищеної вологості, танення снігу з подальшим замерзанням талої води, охолодження покриття, випадання атмосферних опадів, конденсації водяної пари міняється стан поверхні покриттів і її зчіпні властивості. Залежно від погодних чинників покриття можуть бути сухими, мокрими, засніженими, заледенілими. Частота і тривалість того або іншого стану покриття залежать не лише від кліматичних характеристик, але і від діяльності дорожньо-експлуатаційної служби.

Спостереження показали, що взимку поняття "Сухе покриття" дуже відносно. При русі автомобілів в сонячну ясну погоду на смугах накату покриття темніє, що є ознакою його зволоження. Наприклад, при температурі повітря від 0° до – 16°C і інтенсивності руху 933 авт/добу по смузі проїжджої частини поверхня чистого асфальтобетонного покриття має світло-сірий колір, який свідчить про відсутність вологи. При інтенсивності руху 1778 авт/добу і вище поверхня цього ж покриття темного кольору, тобто вона волога, хоча вільної води і не спостерігається. Причиною зволоження є конденсація водяної пари з повітря в результаті нагрівання покриття із-за тертя автомобільної шини і утвореного в зоні контакту тепла. Відмічене зволоження покриття не надає істотного впливу на його зчіпні якості, але при гладкій поверхні викликає зниження швидкості руху автомобілів [1].

У холодний період року на сухих і мокрих покриттях опір ковзанню шин вищий (при однаковій шорсткості поверхні покриття), ніж влітку. За наявності снігу і льоду на дорозі воно різко знижується. У цьому випадку коефіцієнти зчеплення дуже низькі при всіх швидкостях руху і практично не забезпечують потрібний рівень безпеки.

Підвищення опору ковзанню зі зниженням температури має межу. При дуже низькій температурі повітря, коли робоча температура гуми стає негативною і досягає -30...-40°C твердість гуми перевершує 85 пит.од. по Шору і сила тертя при ковзанні різко зменшується.

Якщо в теплий період року підвищення макрошорсткості покриття викликає збільшення або зниження коефіцієнта зчеплення залежно від зволоження і швидкості руху, то взимку вплив макрошорсткості на зчіпні якості покриттів позитивно. На сухих і мокрих асфальтобетонних покриттях зростання макрошорсткості супроводжується збільшенням коефіцієнта зчеплення і тим більшим, що вище швидкість. При цьому і величина коефіцієнта зчеплення тим вище, чим вище швидкість руху. На мокрих покриттях вплив шорсткості поверхні на опір ковзанню шин виявляється більшою мірою, на сухих – в меншій. На засніжених і заледенілих покриттях шорсткість їх поверхні не впливає на опір ковзанню шин, якщо товщина снігу або льоду перевершує висоту нерівностей макрошорсткості. Однак макрошорсткість надає певний вплив на тривалість утворення сніжного накату і трудоемкість видалення його з поверхні проїжджої частини. Спочатку випадний сніг знаходиться в рихлому стані. Проте під впливом коліс автомобілів, що проходять, починається його ущільнення. На гладких покриттях сніг ущільнюється рівномірно по всій товщині шаруючи. На шорстких покриттях який щойно випав сніг в першу чергу відкладається між виступами макрошорсткості. Він так само, як і на гладких покриттях піддається ущільненню. Завдяки тому, що на початку снігопаду навантаження від коліс автомобілів сприймається виступами макрошорсткості, сніг, що знаходиться в западинах між ними, ущільнюється менше, ніж вищерозміщені шари сніги, які ущільнюються так само, як на гладких покриттях.

Якщо снігопад має невисоку інтенсивність або він короткий, а сніг сухий, то під впливом коліс автомобілів і вітру, поступове очищення поверхні проїжджої частини від снігу. Чим вище швидкість руху автомобіля, тим більше снігу може бути видалено зарахунок виникаючих повітряних вихорів.

На шорстких покриттях вершини виступів макрошорсткості залишаються вільними від снігу і зчипні якості покриттів зберігаються. Западини між виступами спочатку заповнюються снігом, але згодом під впливом коліс автомобілів відбувається їх очищення. Чим вище інтенсивність руху, тим швидше йде процес очищення і велика частина кам'яних часток починає брати участь в роботі. Але віддаляється не весь сніг. Тому взимку фактична висота нерівностей макрошорсткості декілька зменшується. Дослідженнями [2] встановлено, що на ділянках доріг з макрошорсткості покриття від 2 до 3,5 мм при інтенсивності руху 1100 авт/сут вільно від снігу від 30 до 60% висоти кам'яних часток, при інтенсивності 1700 авт/сутки – вже 70%, при інтенсивності 2450 авт/сут – 90% (мал. 78). Причиною очищення шорсткої поверхні проїжджої частини від снігу є не лише вітер, але силова і теплова дія шин на покриття. Чим вище інтенсивність руху, тим швидше покриття очищається.

На гладких і макрошорстких покриттях навантаження на колеса забезпечує різний питомий тиск на поверхню. На макрошорстких покриттях відбувається концентрація напруги на виступах кам'яних часток. На поверхні з великою шорсткістю сприйняття вертикального навантаження відбувається через нерівності макрошорсткості. В результаті зменшення фактичної зони контакту питоме навантаження на виступ макрошорсткості різко зростає.

Позитивний вплив макрошорсткості поверхні дорожніх покриттів на видалення складного накату і льоду підтверджений експертною оцінкою. Після ряду досліджень можна відзначити, що при інтенсивному руху автомобілів на шорстких покриттях ожеледь ліквідовується швидше, ніж на гладких. В більшості випадків на шорстких покриттях ожеледдю є не суцільний шар льоду, а окремі утворення на поверхні виступаючих щебінок, що і приводить до швидшої їх ліквідації під впливом коліс.

Список використаних джерел

1. Голотюк М.В. Аналіз та класифікація засобів для очистки дорожнього покриття від сніжно-льодових утворень / Є. І. Тхорук, М. В. Голотюк // Вісник НУВГП. – Рівне: НУВГП, 2005. – Вип. 3 (31). – С. 379–385.
2. Голотюк М.В. Розрахунок і вибір раціональних параметрів робочого обладнання для руйнування однорідних мерзлих середовищ. Монографія / . Тхорук, В.С. Гавриш, М.В. Голотюк – Рівне: НУВГП, 2015. – 152 с.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМНОГО ПЕРЕХРЕСТЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ PTV VISSIM

А.І.Надточій, ст. гр. ТТ-22МБ

В.В.Аулін, проф., д-р техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Бурхливий процес автомобілізації з кожним роком охоплює все більше число країн, постійно збільшується рухомий склад, кількість людей, що задіяні в сферу дорожнього руху.

Одночасно росте і кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП), у яких гинуть і травмуються мільйони людей, ушкоджуються і виходять з ладу дорога техніка та вантажі. Понад 60% усіх ДТП припадає на міста. При цьому на перехрестях, що займають незначну частину території міста, концентрується більш 30% усіх ДТП.

Дану проблему вирішують організаційними заходами які сприяють упорядкуванню руху на вже існуючій (сформованій) вулично-дорожній мережі. До числа таких заходів відносяться введення одностороннього руху, кругового руху на перехрестях, організація пішохідних переходів і пішохідних зон, автомобільних стоянок, зупинок громадського транспорту та ін.

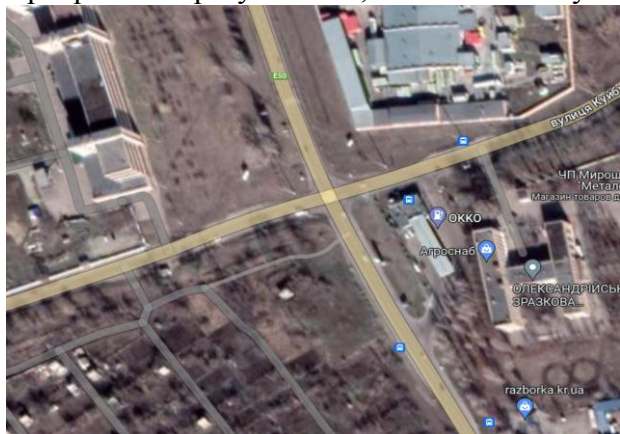
Проблема вирішується і методом імітаційного моделювання. Для цього можна використати можливості програми PTV Vissim. PTV Vissim – це програмне забезпечення від компанії PTV Group для імітаційного моделювання дорожнього руху, створення мікромодель руху індивідуального та громадського транспорту, перевірки технічних запропонованих рішень щодо організації дорожнього руху.

Імітаційна модель (мікромодель) дозволяє відображати існуючу транспортну ситуацію на рівні окремих транспортних засобів і пішоходів, де вихідними даними служать дані натурних обстежень.

За допомогою імітаційних моделей можливо аналізувати пропускну здатність транспортного вузла чи серії вузлів, заторів транспортних засобів, швидкість руху та ін.

Метою створення імітаційної моделі є вибір ефективних організаційних заходів які буде доречно застосувати до конкретного перехрестя.

Об'єктом дослідження розглядали проблемне перехрестя в місті Олександрія (рис.1). перехрестя не регульоване, а отже часто було причиною ДТП.



а



б

Рисунок 1 - Проблемне перехрестя: а – вид з супутника; б – панорамна фотографія

На перехресті по головній дорозі М04 за день проїжджає приблизно 450 автомобілів, по шляху Т1205 проїжджає 500 автомобілів. Приблизно 40 пішоходів в день проходять дане перехрестя.

Створення імітаційної моделі в середовищі PTV Vissim відбувається за такою послідовністю дій.

Запускаємо програму, натискаємо лівою кнопкою миші (ЛКМ) по вкладці "Links (Відрізки)", далі кнопка Ctrl + Права кнопка миші (ПКМ) і будуємо відрізок. Тиснемо на створений відрізок (ЛКМ) він стає активним і виділяється жовтим кольором натискаємо по ньому (ПКМ) і вибираємо "Generate Opposite Direction (Створення протилежного напрямку)", автоматично створюється копія відрізка але з зворотнім напрямком руху, таким чином створюється дорога з двухстороннім рухом. Будуємо перехрестя за допомогою відрізків.

Після побудови перехрестя, необхідно створити сполучні відрізки, для цього по краях перехрестя натискаємо (ПКМ) на вертикальній дорозі і будуємо відрізок до горизонтальної дороги, необхідно зробити по два сполучних відрізка для кожної полоси руху щоб транспортні засоби могли повертати ліворуч та праворуч. Після цього натискаємо вкладку "Desired Speed Decisions (Бажана швидкість прийняття рішень)", далі Ctrl + (ПКМ) і будуємо їх поверх сполучних відрізків. Натискаємо (ЛКМ) по вкладці "Vehicle Inputs (Вхідні потоки ТС)", далі Ctrl + (ПКМ) і розставляємо їх по кожному напрямку руху. Потім натискаємо (ЛКМ) по вкладці "Vehicle Routes (Маршрути ТС)", далі Ctrl + (ПКМ) і поверх дороги будуємо маршрути для кожного напрямку руху. Після цього натискаємо (ЛКМ) по вкладці "Conflict Areas (Конфліктні зони)" і розставляємо пріоритети відповідно до ПДР.

Для побудови пішохідних зон та пішохідних переходів необхідно натиснути (ЛКМ) по вкладці "Areas (Області)", далі Ctrl + (ПКМ) і будуємо зону для пішоходів. Для побудови пішохідних відрізків необхідно створити сполучні відрізки між пішохідними зонами поверх проїжджої частини, потім натиснути по ним два рази (ЛКМ) в з'явившомуся вікні поставити галочку "Is pedestrian area (є пішохідною зоною)".

Для створення пішохідного руху необхідно натиснути (ЛКМ) по вкладці "Pedestrian Inputs (Вхідні пішохідні потоки)", далі Ctrl + (ПКМ) і розставити їх по пішохідним зонам. Потім натиснути (ЛКМ) по вкладці "Pedestrian Routes (Пішохідні маршрути)", далі Ctrl + (ПКМ) і розставити їх по кожному напрямку руху пішоходів. Щоб поставити знаки стоп необхідно вибрати необхідну вкладку "Stop Signs (Знаки стоп)", далі Ctrl + (ПКМ) і розставити їх на полоси руху на які вони будуть діяти.

Щоб поставити світлофори необхідно спочатку створити "Signal group (Сигнальну групу)". Для цього необхідно відкрити вкладку "Signal Control (Контроль сигналу)" в ній вибрати "Signal Controllers (Контролери сигналів)", в з'явившомуся списку (рис.2) натиснути на плюс щоб додати світосигнальний пристрій.

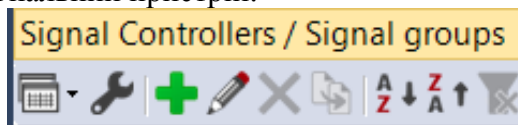


Рисунок 2 – Список "Signal Controllers (Контролери сигналів)"

Натискаємо два рази (ЛКМ) по з'явившомуся в списку світосигнальному пристрою (рис.3).

Count: 7	No	Name	Type	CycTm
1	1	вузол1	Fixed Time	0

Рисунок 3 – світосигнальний пристрій

В з'явившомуся вікні вибираємо вкладку "Edit controller data (Редагувати дані контролера)", нажимаємо плюс і створюємо дві сигнальні групи (рис.4).

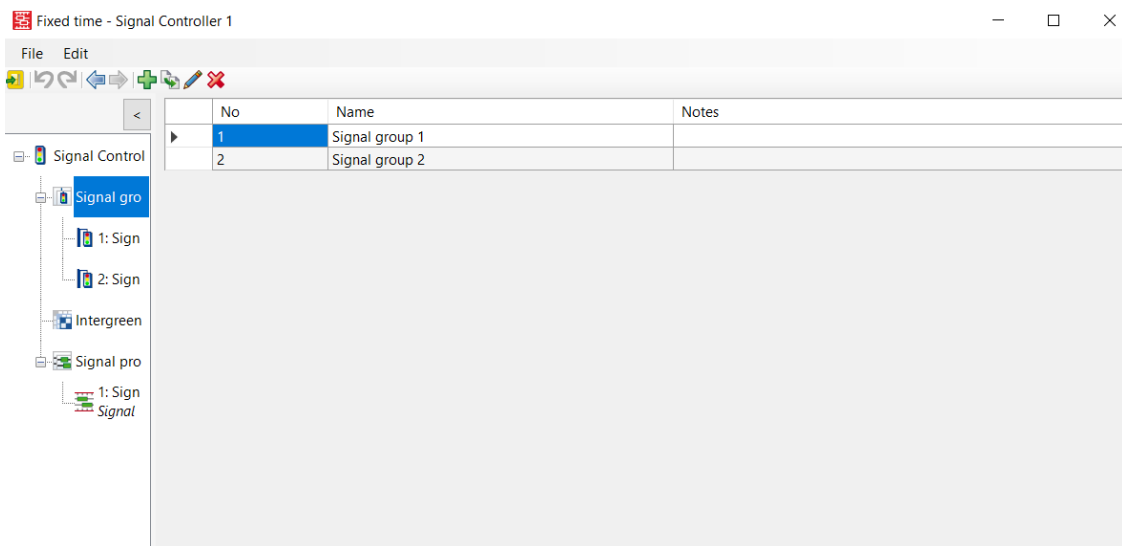


Рисунок 4 – Сигнальні групи

В вкладці "Signal program (Сигнальна програма)" (рис.5), необхідно виставити тривалість сигналу світлофору "зелене світло" для сигнальних груп.

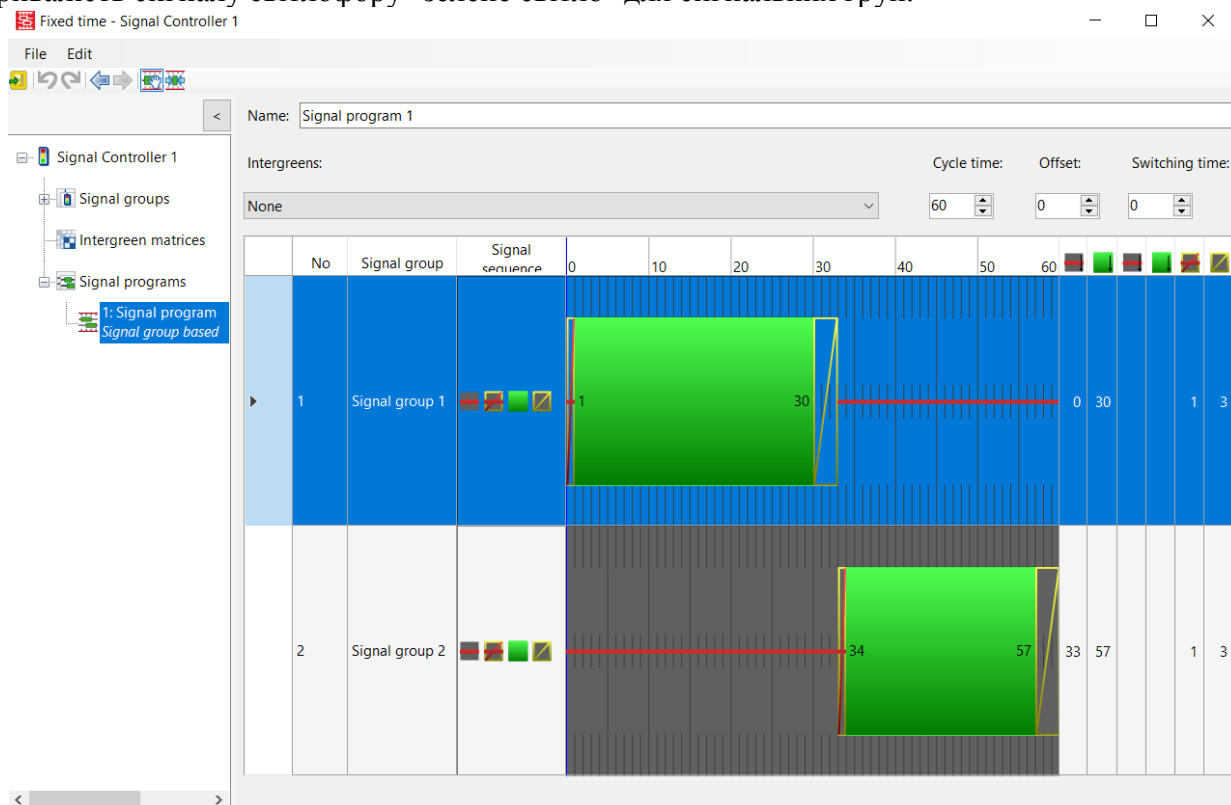
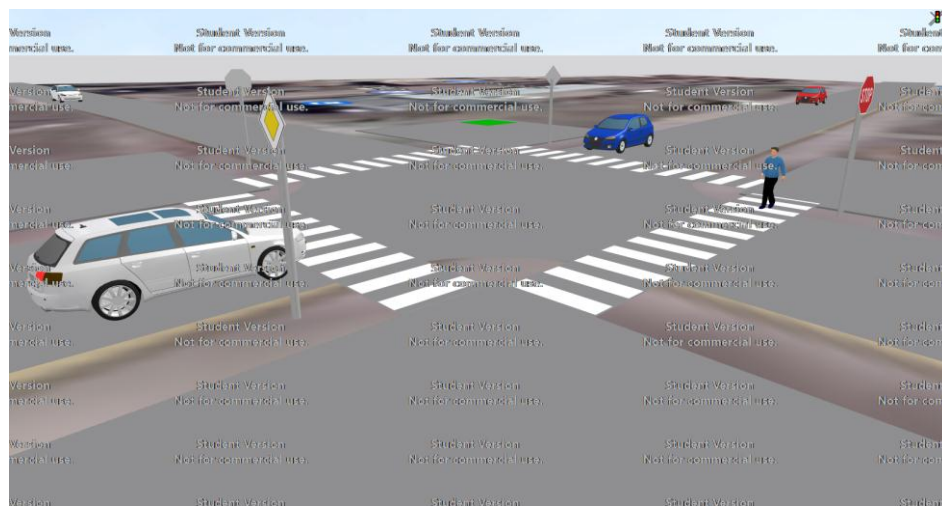


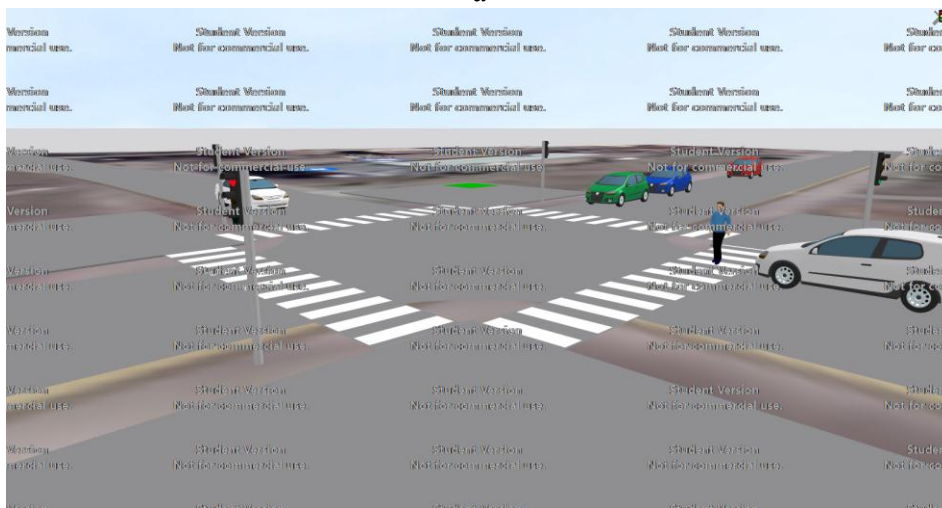
Рисунок 5 – вкладка "Signal program"

Закриваємо вікно "Fixed time", натискаємо (ЛКМ) по вкладці "Signal Heads (світлофори)", далі Ctrl + (ПКМ) і розставляємо світлофори на полоси руху на які вони будуть діяти. Необхідно вибрати для світлофорів вертикальної дороги першу сигнальну групу, а для горизонтальної – другу. Щоб це зробити необхідно два рази натиснути (ЛКМ) по світлофору, в з'явившомуся вікні вибрати вкладку "Signal group 1" і відповідно "Signal group 2" для світлофорів горизонтальної дороги.

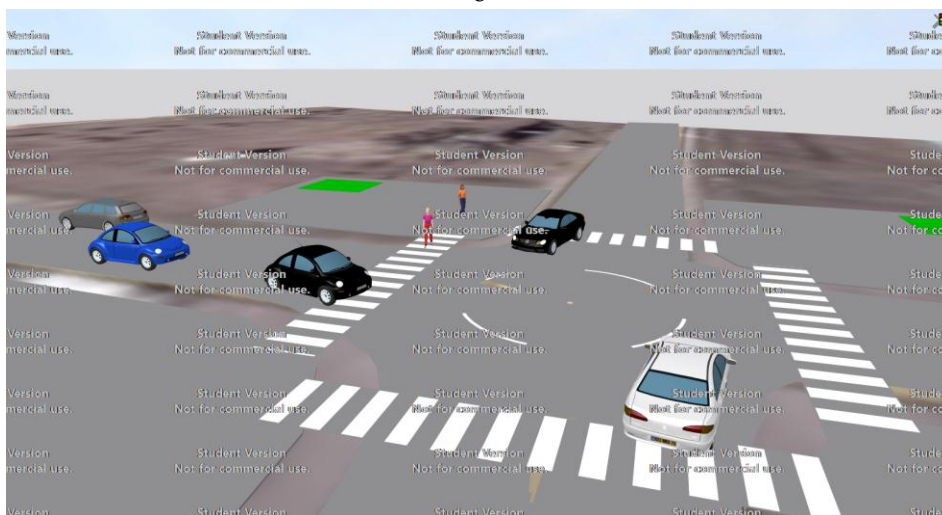
За допомогою програми PTV Vissim розроблено декілька варіантів перехресть: перехрестя обладнано знаками; перехрестя регульоване світлофорами; перехрестя с круговим рухом.



а



б



в

Рисунок 6 – Імітаційні моделі перехрестя: а – перехрестя обладнане: знаками; б – перехрестя регульоване світлофорами; в – перехрестя с круговим рухом транспортних засобів

Під час імітаційного моделювання на перехресті з дорожніми знаками (рис.6) ДТП не спостерігались, створено пішохідний перехід. За допомогою знаків, машини що рухаються по дорозі М04 мали перевагу в русі. Затормів не було виявлено.

Під час імітаційного моделювання перехрестя регульованого світлофорами (рис.6) ДТП не спостерігали, світлофорне регулювання підвищило безпеку пішоходів, але здатне спричиняти затори транспортних засобів від 3 до 5 автомобілів.

Під час імітаційного моделювання перехрестя з круговим рухом транспортних засобів (рис.6) ДТП не спостерігали, круговий рух спонукає водіїв знизити швидкість що підвищує безпеку, але така ситуація може призводити до заторів від 3 до 4 автомобілів.

Аналіз імітаційного моделювання різних типів перехрестя виявили, що найбільш ефективною є модель перехрестя зі знаками пріоритету. Імітаційні моделі зі світлофорним регулюванням та круговим рухом показали наявність заторів транспортних засобів.

Список використаних джерел

1. Правила дорожнього руху 2023: веб-сайт. URL: <https://vodiy.ua> (дата звернення 27.04.23).
2. Вулично-дорожня мережа: URL: <https://ips.ligazakon.net/> (дата звернення 27.04.23).
3. Сістук В.О, Богачевський А.О. Підвищення пропускної здатності перехрестя магістральної та об'їзної вулиць з регульованим рухом. Вісник Криворізького національного університету / Кривий Ріг, вип. 44, 2017 р.
5. Per Strömgrena. A model for traffic simulation of flared rural road intersections / Per Strömgrena, Johan Olstamb, Andreas Tapanib. // 4th International Symposium of Transport Simulation-ISTS'14, 1-4 June 2014, Corsica, France. – 2015. – P. 239 – 258.
6. PTV VISION: веб-сайт. URL: <https://www.ptvgroup.com/> (дата звернення: 27.04.23).

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

В.О. Дорошук, старший викладач

І.А. Бережняк, ст. гр. ТТ-21,

А.В. Коваль, ст. гр. ТТ-51м

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

Теорія транспортних потоків розвивалась у різних областях науки, і це дало можливість накопичити великий досвід досліджень процесів руху транспортних засобів. Загальний рівень дослідження і практичного використання теорії транспортних потоків недостатній через наступні фактори:

- транспортний потік є нестабільним та різноманітним, отримання об'єктивної інформації про нього є найбільш складним елементом системи управління;
- критерії якості управління дорожнім рухом суперечливі: треба забезпечити безпечний рух ТЗ, одночасно знижуючи збитки від нього, застосовуючи обмеження на швидкість і напрямок руху;
- дорожні умови, навіть за умови стабільності, мають непередбачені відхилення природно-кліматичних параметрів;
- виконання рішення по управлінню дорожнім рухом на міських вулицях під час його реалізації у багатьох випадках є неточним і це призводить до непередбачених наслідків [1].

Для вирішення питання підвищення пропускної спроможності та зниження зростання транспортного навантаження на основних магістралях міст виникає необхідність розвитку всіх інших міських вулиць та доріг.

Пропускна здатність магістральних вулиць характеризують наступні факторами: геометричні параметри (ширина проїзної частини, кількість смуг руху та їх ширина, розміри та вид перетину, відстань перегону між перетинами, поздовжній ухил дороги); способи організації дорожнього руху (наявність та стан технічних засобів управління рухом, односторонній, двосторонній, регульований, нерегульований рух, склад транспортного потоку, рух транспортних та пішохідних потоків в одному рівні, наявність маршрутного транспорту, зупинкових пунктів, заїзних "кишень", пішохідних переходів, місць для паркування; стан дорожнього покриття, облаштування придорожньої території, освітлення в темний час доби (дорожніх знаків, світлофорів, пішохідних переходів).

Крім натурних досліджень, застосування технічних засобів та інформаційних технологій для виявлення причин та факторів, їх оцінки впливу на пропускну здатність магістральних вулиць великих міст у світовій практиці використовуються програмні продукти з моделювання транспортних потоків.

Застосовуючи математичне моделювання можна отримати параметри транспортних потоків на ділянці транспортної мережі, описати поведження учасників транспортного потоку й відтворювати його параметри й характеристики руху.

Програмне забезпечення для моделювання руху транспортних потоків має різні характеристики для вирішення поставлених задач, тому їх відносять до певного рівня моделювання, а деякі з них підтримують одразу кілька рівнів.

За допомогою моделювання можна створювати платформи для транспортних інформаційних систем, планувати транспортну інфраструктуру та роботу громадського транспорту, аналізувати та оцінювати стан транспортних мереж, здійснювати їх графічну обробку, прогнозувати заплановані заходи, отримувати та враховувати дані про маршрути транспортних засобів та їх швидкості.

Серед програмних пакетів, що дозволяють створювати транспортні схеми та накладати їх на карти (на фонові зображення карт наносяться транспортні мережі міст), слід виділити пакет Aimsun (рис. 1).

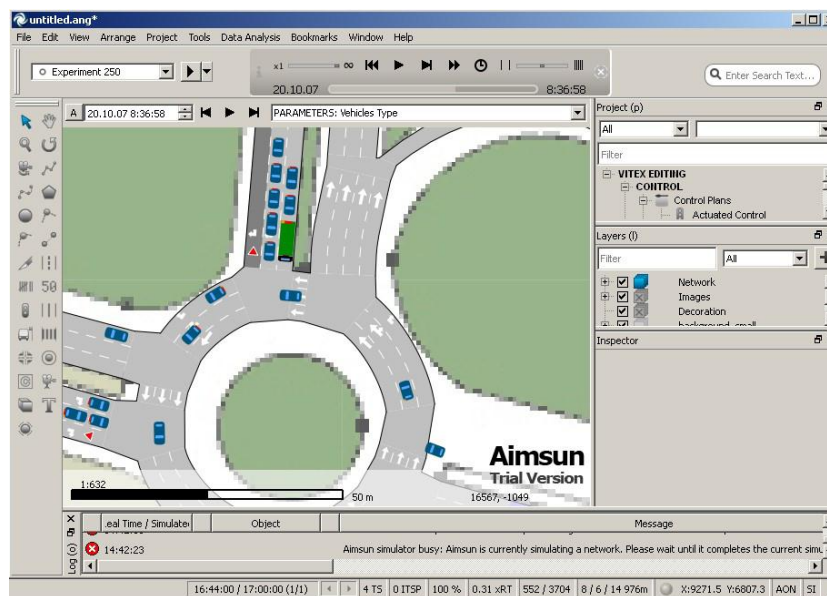


Рисунок 1 – Загальний вигляд версії програмного пакету Aimsun

Порівнюючи можливості різного програмного забезпечення для вирішення окремих поставлених завдань можна оцінити можливості, переваги та недоліки досліджуваних програм. При застосуванні програмних пакетів CORSIM, VISSIM, INTEGRATION, PARAMICS, MIT- SIMLab, WATSIM для моделювання регульованих перехресть і автострад всі вони дають позитивні результати.

Досліджуючи моделювання планів евакуації при надзвичайних ситуаціях [3], з застосуванням 30 пакетов, включаючи VISSIM, Cube, HEADSUP, ETIS, OREMS, Paramics PCYNEV, TransCAD, TRANSIMS, встановлено, що двадцять вісім пакетів використовуються для планування евакуації на рівні макромодельювання, а з пакетів, що не належать до макромодельювання, варто застосовувати пакет CUBE.

Використання транспортних моделей, розроблених зарубіжними та вітчизняними вченими, є особливо актуальним при будівництві багаторівневих автотранспортних розв'язок і ускладненні руху автомобільного транспорту. На особливу увагу заслуговують транспортні моделі нового покоління, завдяки яким вчені проводять дослідження впливу конфігурації транспортної мережі на формування транспортних потоків, організацію ефективного контролю і управління за трафіком, швидкість руху транспорту, переміщення учасників дорожнього руху вулицями різних населених пунктів.

При використанні програмного забезпечення для моделювання транспортних потоків варто приділяти увагу рівню моделі та якості даних, а також створювати гібридні системи, що дасть змогу відразу дослідити різні характеристики транспортних потоків на декількох рівнях абстракції.

Список використаних джерел

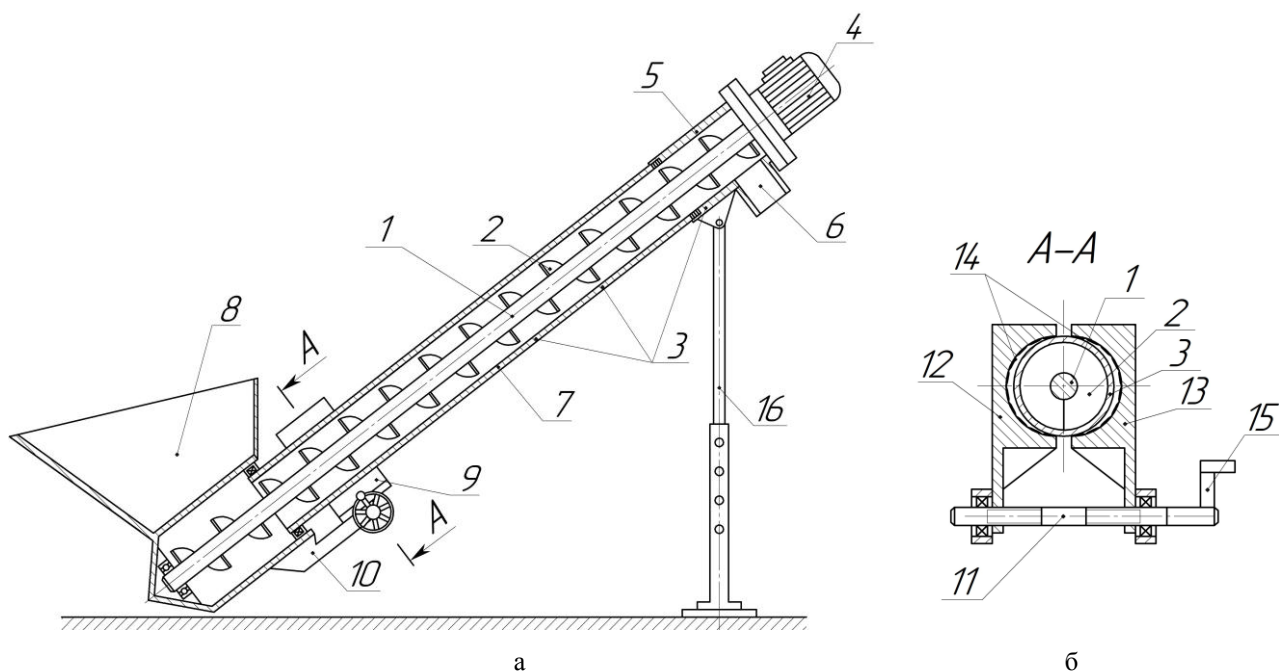
1. Семенов В. Математичне моделювання динаміки транспортних потоків мегаполісу/В.В.Семенов// М., Інститут прикладної математики ім. М.В. Келдиша, Препринт № 34, 2004. - 44 с.
2. Kotusevski, G. A Review of Traffic Simulation Software / G. Kotusevski, K. A. Hawick // Technical Report CSTN-095, July 23, 2009
3. Hardy, M. Traffic Analysis Tools Volume IX / M. Hardy, K. Wunderlich // Work Zone Modeling and Simulation – A Guide for Analysts. Report No. FHWA-HOP-09-001. FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, DC. March 2009.

ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР-ЗМІШУВАЧ З ОБЕРТОВИМ КОЖУХОМ**І.Б. Гевко, проф., д-р техн. наук,****С.О. Коваль, асп.,****О.Ю. Стібайло, асп.,****А.В. Брикса,****В.М. Бучинський, ст. гр. РРм-51***Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна*

Змішування різного роду сипких матеріалів має широке використання у різних галузях виробництва, таких, як агровиробництво, переробка та виробництво продуктів харчування, фармація, будівництво тощо. Особливо актуальним питання змішування є при приготуванні та роздавачі кормів у сільському господарстві, що часто супроводжується подрібненням їх компонентів та їх змішування, з одночасним транспортуванням і розподіленням тваринам чи птиці [1, 3]. Відтак, при цьому, перспективними засобами для одночасної реалізації відповідних операцій постають є гвинтові конвеєри-змішувачі, які у порівнянні з іншими конструктивними рішеннями володіють конструктивною простотою, високою продуктивністю, низькою металоємністю, герметичністю, надійністю, економічністю і можуть використовуватись у різноманітних процесах з широким діапазоном режимів роботи [2, 4].

З метою покращення змішування сипких матеріалів нами розроблено конструкцію гвинтового конвеєра-змішувача з обертовим кожухом (рис. 1), яку виконано у вигляді вала 1 з гвинтом 2, який знаходиться у циліндричному кожусі 3 з можливістю кругового провертання. Верхня частина вала 1 з гвинтом 2 жорстко з'єднана з двигуном 4, який закріплений на нерухомій верхній частині 5 циліндричного кожуха 3. На нерухомій верхній частині 5 циліндричного кожуха 3 розташований вивантажувальний патрубок 6. Нижній кінець вала 1 з гвинтом 2 та рухома нижня частина 7 циліндричного кожуха 3 встановлені з можливістю колового обертання у завантажувальному бункері 8. До завантажувального бункера 8 закріплений механізм регулювання 9 рухомої нижньої частини 7 циліндричного кожуха 3, який складається з кронштейна 10, у якому розташований гвинт з лівою та правою частиною різі 11, на яких встановлені ліву 12 та праву 13 щок з гальмівними накладками 14. На кінці однієї частини гвинта закріплено важіль обертання 15. До нерухомої верхньої частини циліндричного кожуха 5 закріплена регульовальна опора 16.

Працює гвинтовий конвеєр-змішувача з обертовим кожухом наступним чином. Матеріали для змішування подаються у завантажувальний бункер 8, а з нього потрапляють у зону змішування на зовнішню поверхню вала 1 з гвинтом 2. Далі вмикають двигун 4, який приводить в обертотворий рух вал 1 з гвинтом 2. Під дією гвинта 2 сипкі матеріали подаються до циліндричного кожуха 3, де за рахунок сил тертя зрушує і приводить в обертотворий рух рухому нижню частину 7 циліндричного кожуха 3. Далі матеріали перемішуються і транспортуються в зону вивантаження до вивантажувального патрубку 6, з якого вивантажуються на зовню. Для регулювання частоти обертання рухомої нижньої частини 7 циліндричного кожуха 3 з метою покращення процесу змішування матеріалів використовується механізм регулювання 9. За допомогою провертання важеля обертання 15 проводять притискання чи відтискання лівої 12 та правої 13 щок з гальмівними накладками 14 до рухомої нижньої частини 7 циліндричного кожуха 3, тим самим створюючи чи знімаючи пригальмовування нижньої частини 7 циліндричного кожуха 3. Потрібна висота підйому змішуваних матеріалів регулюється регульовальною опорою 16.



а – головний вигляд, б – вигляд по А-А

Рисунок 1 – Конструктивна схема гвинтового конвеєра-змішувача з обертовим кожухом

До переваг гвинтового конвеєра-змішувача з обертовим кожухом відноситься можливість регулювання частоти обертання рухомої частини кожуха для покращення процесу змішування матеріалів.

Список використаних джерел

1. Гевко І. Б. Розробка і дослідження низькочастотних пристроїв для виконання технологічних процесів гнучкими гвинтовими конвеєрами : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.20.01 "Механізація сільськогосподарського виробництва" / І. Б. Гевко. – Луцьк, 1997. – 18 с.
2. Перспективні гвинтові конвеєри: конструкції, розрахунок, дослідження / Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Гудь В. З., Дячун А. С., Мельничук А. Л., Слободян Л. М. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. – 212 с.
3. Рогатинський, Р.М., Гевко, І.Б., Дмитрів, Д.В. (2000). Моделювання роботи малогабаритного лопатевогвинтового змішувача. Сільськогосподарські машини, 6, 129–135.
4. Рогатинський Р.М. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : монографія / Р.М. Рогатинський, І.Б. Гевко, А.С. Дячун – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 280 с.

MODULAR SYSTEMS OF CONVEYORS FOR TRANSPORT AND WAREHOUSE OPERATIONS

Т.Р. Дживак, асп.,

Ю.Я. Вовк, доц., канд. техн. наук,

Я.Ю. Вовк, ліцеїст

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

Modular systems of conveyors have become a popular solution for transport and warehouse operations due to their versatility and efficiency. These systems consist of standardized modules that can be easily assembled and reconfigured to fit a variety of layouts and transportation needs. This paper will examine the benefits of modular conveyors, their applications, and the various types available in the market.

One of the primary advantages of modular conveyors is their flexibility. Since the modules can be easily interchanged and reconfigured, they can be adapted to fit different layouts and transportation requirements. This allows businesses to optimize their operations and reduce costs by utilizing the same equipment for multiple purposes. Furthermore, modular conveyors can be easily modified or expanded as needed, making them a scalable solution for growing businesses.

Another benefit of modular conveyors is their efficiency. They can handle high volumes of goods and materials quickly and reliably, reducing the need for manual labor and minimizing the risk of errors or accidents. Additionally, modular conveyors can be equipped with advanced automation technologies, such as sensors and robotics, to further enhance their performance and reduce operational costs.

Modular conveyors are used in a wide range of industries, including manufacturing, logistics, and e-commerce. They are particularly well-suited for transporting goods within warehouses and distribution centers, where speed, accuracy, and flexibility are crucial. Modular conveyors can also be used in assembly lines and production facilities, where they can be configured to transport raw materials, finished products, and waste materials.

There are several types of modular conveyors available in the market, each with its own unique features and applications. Some of the most common types include:

Belt conveyors: These are the most common type of modular conveyor and are used to transport materials horizontally or at a slight incline. They are particularly useful for transporting small or lightweight items.

Roller conveyors: These conveyors use rollers instead of belts to move items along the conveyor. They are ideal for transporting larger or heavier items and can be used to accumulate materials or sort them into different lanes.

Chain conveyors: These conveyors use chains to move items along the conveyor. They are often used in high-temperature or harsh environments, such as in foundries or steel mills.

Slat conveyors: These conveyors use slats or plates to transport items along the conveyor. They are particularly useful for transporting items that require a stable and level surface, such as glass or ceramic products.

Some of the research topics on modular conveyors include:

- Traffic control of self-propelled modular conveyors (SPMCs), which are vehicles that can move heavy and oversized loads. The research focuses on the issues of directional stability control, electric traction drive systems, and subordinate regulation by a traction electric drive (Kolosov et al., 2022).

- Automated sortation conveyors (ASCs), which are systems that can sort and distribute large volumes of shipments under tight delivery schedules. The research covers the wide range of

applications and their different sorting systems, the joint decision problems to be solved when designing and operating a sorter, and the future research challenges (Boysen et al., 2019).

- Novel calculation method for chain conveyor systems, which are systems that use sideflexing plastic chains to convey materials with high flexibility. The research proposes a new method to calculate the chain tension and power consumption of chain conveyor systems, taking into account the dynamic behavior of the chains (Schulz et al., 2015).

The prospects for the development of new designs and possible areas of application of modular conveyors are:

- Improving the efficiency, reliability, and safety of SPMCs by developing advanced control algorithms, sensors, and communication technologies.

- Enhancing the performance, adaptability, and sustainability of ASCs by incorporating artificial intelligence, machine learning, and green logistics concepts.

- Expanding the use of chain conveyor systems to new domains, such as food processing, pharmaceuticals, and recycling, by optimizing the chain design, material selection, and layout configuration.

In conclusion, modular conveyors offer a flexible and efficient solution for transport and warehouse operations. Their versatility and scalability make them ideal for a wide range of applications, and their various types allow businesses to choose the best option for their specific needs. By utilizing modular conveyors, businesses can optimize their operations, reduce costs, and improve productivity.

References:

1. Boysen, N., Briskorn, D., Fedtke, S., & Schmickerath, M. (2019). Automated sortation conveyors: A survey from an operational research perspective. *European Journal of Operational Research*, 276(3), 796-815.
2. Kolosov, A., Dolgova, T., Skibina, I., & Trebukhin, A. (2022). Traffic control of self-propelled modular conveyors. *Transportation Research Procedia*, 63, 1544-1555.
3. Schulz, A., Wohlgemuth, S., & Katterfeld A. (2015). Novel calculation method for chain conveyor systems. *Logistics Journal: Proceedings 2015*(1), 1-6.

**КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ
СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ АВТОМОБІЛІВ МЕТОДАМИ
ТРИБОДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РУХОМИХ СПРЯЖЕНЬ
ДЕТАЛЕЙ**

В.В.Аулін, проф., д-р техн. наук,

С.В. Лисенко, доц., канд. техн. наук,

А.В. Гриньків, ст. дослідник, канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

О.П. Цьонь, доц., канд. техн. наук

Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя, м. Тернопіль, Україна

Встановлені закономірності зміни технічного стану рухомих спряжень силових агрегатів автомобілів в процесі експлуатації, дали можливість обґрунтувати наукову концепцію підтримки їх працездатності. З'ясовано умови обмеженості інтенсивності зношування рухомих спряжень деталей в ремонтно-експлуатаційному циклі на основі розвитку методів трибодіагностики, їх технічного стану.

Основною метою роботи є зниження витрат на забезпечення перевізного процесу автомобільним транспортом за рахунок підвищення довговічності силових агрегатів, підтримкою їх працездатності методами трибодіагностики. В якості критеріїв були взяті характеристики працездатності силових агрегатів автомобілів на основі управління зміною їх технічного стану та оптимізації ресурсу рухомих спряжень деталей за рахунок мінімізації інтенсивності зношування і управління режимами і процесами змащування.

Розглянуто обмеженість ресурсів рухомих спряжень деталей агрегатів автомобілів пов'язаних з погіршенням технічного стану по причині зношування, інтенсивність якого залежить від параметрів режимів роботи і процесів змащення.

Досліджено етапи ремонтно-експлуатаційного циклу силового агрегату: обкатка, режими експлуатації по призначенню, технічне обслуговування та ремонт.

Стадії дослідження включали розробку теоретичних і методологічних положень управління режимами мащення та процесами мащення в рухомих спряженнях деталей, розробку системи управління процесами змащення з урахуванням інформаційних, технічних та інтелектуальних компонентів. При цьому технічними рішеннями системи управління було: програмно-апаратний комплекс трибодіагностики, пакети прикладних програм, техніка і технологія управління.

Показано, що організаційні рішення системи управління складають методики підтримки працездатності рухомих спряжень деталей автомобіля на етапах ремонтно-експлуатаційного циклу силових агрегатів, керівництво та навчання персоналу.

Сформульована концепція підвищення довговічності силових агрегатів автомобілів враховує в структурі їх ремонтно-експлуатаційний цикл створення умов для обмежування зношування рухомих спряжень деталей на робочих циклах за рахунок розвитку системи управління режимами та процесами змащення в напрямку удосконалення математичного, інформаційного, технічного та організаційного забезпечення.

ПРИНЦИПИ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМАЩЕННЯ В ПІДШИПНИКАХ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ ДИЗЕЛІВ АВТОМОБІЛІВ

В.В.Аулін, проф., д-р техн. наук,
С.В. Лисенко, доц., канд. техн. наук,
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
О.Л. Ляшук, проф., д-р техн. наук,
В.З. Гудь, проф., д-р техн. наук,
А.Б. Гупка, доц., канд. техн. наук
Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя, м. Тернопіль, Україна

У сучасних дизелів автомобілів не менше 20...25 найменувань рухомих спряжень деталей, а сумарна їх кількість залежить від конструкції дизелів, і складає 100...150 одиниць і більше. Режими змащення спряжень деталей дизелів суттєво відрізняються один від одного, і залежать від сукупності факторів: призначення, навантажувально-швидкісного та теплового режимів, умов подачі мастильного матеріалу, технічного стану тощо. Проаналізовані режими змащення основних рухомих спряжень деталей дизелів.

В даній роботі розглянуто моделювання процесів змащування шатунних і корінних підшипників дизелів автомобілів. Поведінку шатунних і корінних підшипників досліджували, як трибомеханічні системи, у яких складно передбачити на основі закономірностей окремих елементів та їх особливостей, оскільки взаємовплив і взаємопов'язаність між елементами більш складна ніж дія окремих з них. Тому при дослідженні процесів змащення в підшипниках використано системний підхід.

Під системою розуміли ряд елементів підшипників, взаємозв'язаних структурно та функціонально. Структуру системи уявляли множиною: $S = \{A, P, R\}$, де A – ряд елементів; P – властивості елементів; R – зв'язки елементів. Система може бути відділена гіпотетичною оболонкою від зовнішнього середовища. Зв'язки між системою і зовнішнім середовищем, перетинаються оболонкою та поділяються на "входи" $\{X\}$ і "виходи" $\{Y\}$. Функція системи полягає у перетворенні входів $\{X\}$ у виходи $\{Y\}$ математичними рівняннями, фізичним аналогом, словесно.

Якщо входи і виходи залежать від часу, то система знаходиться в динамічному стані, який можна описати системою диференціальних рівнянь. Система може також перебувати в динамічній рівновазі, тобто в рівноваженому, усталеному стані. При цьому виходи $\{Y\}$ можна, можливо описати алгебраїчно як лінійні комбінації входів $\{X\}$. У реальних системах на функціональні співвідношення між входами та виходами можуть відбуватися випадкові процеси, тобто. динамічні впливи невизначеності та випадкових процесів, "шумів". У цьому випадку для оцінки меж нормального функціонування поведінки шатунних і корінних підшипників можливе використання теорії імовірності.

Структура трибомеханічної системи, як правило, змінюється з часом під дією процесів тертя та зношування. Опис таких систем за допомогою простих співвідношень між входами і виходами недостатній: функціональний опис системи повинен бути доповнений ретельним вивченням структури системи і впливів її зміни під дією трибологічних процесів.

Щоб побудувати зручну модель для опису динамічної функціональної поведінки та динамічного структурного стану шатунних і корінних підшипників, як трибомеханічної системи, вводили наступні спрощення: застосовували метод перетину чорної скриньки та зміщення системи. При перетині чорної скриньки модель розсікається на менші скриньки до тих пір, доки можливо застосувати основні принципи фізико-математичного моделювання. Зміщення системи з стану рівноваги здійснюється за допомогою відповідно розміщеної

оболонки, яка відділяє систему від зовнішнього середовища. З врахуванням цих обмежень опис трибомеханічної системи підшипників колінчатого валу дизелів автомобілів включає наступні етапи:

1. Функції системи:

- відділення системи від навколишнього середовища шляхом вибору оболонки;
- аналіз всіх входів і виходів системи;
- опис функціональних співвідношень між входами та виходами.

2. Структура системи:

- ідентифікація елементів системи;
- визначення взаємозв'язків між елементами;
- визначення відповідних властивостей елементів.

Аналіз функцій системи пов'язували із робочими змінними факторами, які можливо змінювати до початку та під час роботи, не змінюючи її фізичного змісту.

В трибомеханічній системі сукупностей підшипників колінчастого валу підсистемами є самі підшипники, а елементами підшипника є вкладиші та шипи, які гіпотетично можуть бути відділені від навколишнього середовища оболонкою. Шатунні і корінні підшипники колінчастого валу знаходяться в середині цієї оболонки і складають частину структури системи. Відповідно до уявлень про принципи ієрархічного порядку підсистеми "вкладиші-мастильний шар-шип" є елементом першого рангу; більше високі рівні займають системи: корінні і шатунні підшипники, кривошипно-шатунний механізм, дизель, автомобіль, система ТО і Р і т.д.

Роль мастильного матеріалу в системі суттєва. Режим змащення визначається станом параметрів мастильного матеріалу в підшипнику. Будь-яке порушення режиму змащення або втрата його працездатності знижує показники надійності підшипників. Тому необхідно мати відомості про процеси і сукупність факторів та визначення можливих меж працездатності мастильних середовищ. З системної точки зору межа працездатності залежить від функціональних показників (навантаження, швидкість), а також від структури системи (елементів системи, властивості та зв'язки елементів).

Для дослідження складних систем часто використовують комп'ютерне моделювання. Комп'ютерне моделювання – це експериментування на діючих фізичних і математичних моделях, які володіють з певним наближенням до властивостей досліджуваних реальних систем і їх процесів. За допомогою фізико-математичного комп'ютерного моделювання можна відтворювати зміну стану системи, розвиток процесів, не вдаючись до натурних досліджень, оптимізувати їх характеристики та здійснювати прогноз. Основне призначення такого моделювання – вибір оптимальної стратегії пошуку найкращого із можливих варіантів.

Дослідження складних систем ґрунтується на методах математичного та фізичного моделювання. Математичні моделі відображають реальний процес та систему за допомогою умовних математичних символів. Фізичні моделі представляють собою зменшені або спрощені до деякого ступеню реальних систем. Підхід до моделей різний. Якщо для фізичних моделей важливо зберегти фізичну подібність об'єктів, враховуючи не тільки вихідні характеристики, а й основні внутрішні властивості, в той час як для математичних моделей важлива лише подібність реакції "виходу" на "вхід". При цьому "вхід" і "вихід" моделі повинні перебувати в математичній рівновазі, стан якої може бути як статичним, так і динамічним. Такий опис процесу чи реальної системи базується на кібернетичних уявленнях про об'єкт дослідження. Об'єкт представляється у вигляді так званої "чорної скриньки", принципи побудови якого відповідають апріорному подання результатів експериментальних досліджень про об'єкт в умовах неповного знання внутрішньої структури і механізму складних явищ досліджуваного процесу або системи. "Вхід" утворює сукупність вхідних параметрів, а "вихід" – сукупність вихідних параметрів (параметрів оптимізації). За допомогою математичних моделей відображають функціональний зв'язок між реалізаціями вхідних та вихідних параметрів досліджуваних процесів та систем.

Для опису динамічної функціональної поведінки і динамічного структурного стану системи першого рангу – підшипника, гіпотетично відокремимо його від дизеля оболонкою. Встановимо залежність режиму змащення у підшипнику з функціональними показниками (навантаження, кутова швидкість обертання колінчатого валу), а також із структурою системи (елементи системи, властивості і зв'язки елементів). Оскільки розглядається реальна система, то на функціональні співвідношення між входами та виходами впливають динамічні впливи невизначеності та випадкові процеси. В цьому випадку для оцінки меж функціонального поведінки використовували методи теорії ймовірності.

Для узагальненої оцінки процесу змащення в шатунних та корінних підшипниках колінчастого валу в якості інтегрального показника використано аналіз еквівалентних електричних схем (ЕЕС) дизелів автомобілів. Еквівалентна електрична схема являє собою електричний ланцюг, де підведення напруги здійснюється на блок циліндрів і колінчастий вал, а змінні електричні опори відповідають рухомим спряженням деталей в кривошипно-шатунному механізмі, циліндро-поршневій групі і газорозподільному механізмі. Змінність опорів обумовлена товщиною мастильного шару, що змінюється за діелектричними властивостями в зоні контакту трибоспряжень деталей в залежності від умов змащення.

ДИНАМІКА ДВОЧАСТОТНИХ РЕЗОНАНСНИХ ВІБРОМАШИН, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ЕФЕКТІ ЗОМЕРФЕЛЬДА

В.В. Яцун, доц., канд. техн. наук,
Центральноукраїнський національний технічний університет

Серед вібромашин типу грохотів, вібросит, сепараторів перспективними є машини із двочастотними збудниками вібрацій [1]. У таких машинах при коливаннях короба (решета, сита й т.п.) з більш низькою частотою виконується основний техпроцес у вигляді сепарації, просіювання й т.п. Коливання з більш високою частотою забезпечують самоочищення короба і зміну механічних властивостей оброблюваного матеріалу для збільшення інтенсивності основного технологічного процесу. З іншого боку, резонансні машини більш енергоефективні [2]. Їх віброзбудники меншої маси збуджують коливання платформи з більшою амплітудою. Для збудження резонансних коливань використовуються електромагнітні і інерційні віброзбудники. При цьому інерційні віброзбудники мають більшу потужність і надійність роботи.

Отже, з прикладної точки зору актуально розробити вібромашини, що суміщають у собі переваги двочастотних і резонансних вібромашин з інерційними збудниками вібрацій.

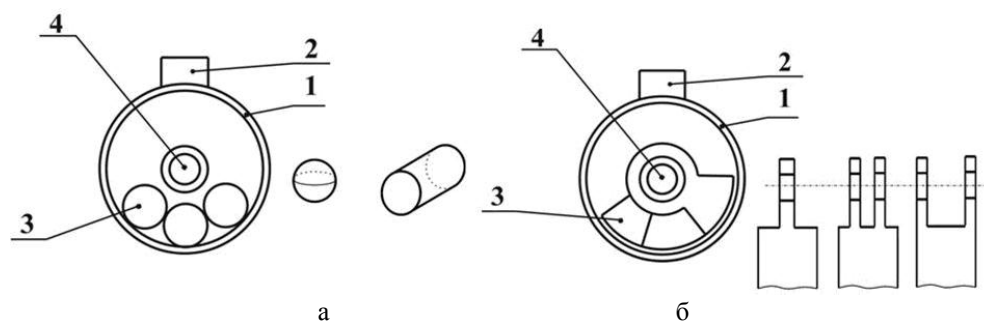
Найбільш простий спосіб збудження резонансних коливань інерційними віброзбудниками заснований на ефекті Зомерфельда. Але цей метод вивчений недостатньо.

Не вирішено багато фундаментальних проблем і у загальній теорії вібраційних машин з інерційними віброзбудниками, що працюють на ефекті Зомерфельда:

- 1) не розроблено методів збудження двочастотних вібрацій інерційними віброзбудниками, що працюють на ефекті Зомерфельда, конструкцій віброзбудників;
- 2) не розроблено методів визначення динамічних характеристик вібраційних машин з зазначеними збудниками вібрацій;
- 3) не досліджено динаміку вібраційних машин з зазначеними збудниками вібрацій.

Тому надолуження цієї неповноти є актуальною науковою проблемою.

Запропоновано збуджувати двочастотні вібрації пасивними автобалансирами кульового, роликового або маятникового типу (рис. 1) [3-5].



1 – Корпус АБ; 2 – дебаланс; 3 – КВ; 4 – вал

Рисунок 1 – Двочастотний збудник вібрацій: а – кульовий або роликовий; б – маятниковий

Наведені приклади нових віброзбудників [6]. Кінематика руху платформ в вібромашині може бути довільною, а сама вібромашина – одно-, дво-, трьохмасовою тощо. Віброзбудник встановлюється на одну з платформ.

Розроблено 3D модель грохоту легкого типу ГІЛ 42 із двочастотним віброзбудником у вигляді кульового автобалансира. Комп'ютерним моделюванням досліджено процес збудження двочастотних вібрацій [7-8]. Визначені області зміни параметрів, що забезпечують гарантоване настання двочастотних вібрацій. Сформульовані припущення

щодо механізму виникнення двочастотних вібрацій.

Побудована узагальнена модель одномасової вібромашини з поступальним рухом платформи й кульовим, роликовим або маятниковим віброзбудником (рис. 2). Знайдені двочастотні режими руху вібромашини [9]. Досліджено: кількість, умови існування і стійкість двочастотних режимів руху; стійкість режимів застрягання; енергоефективність вібромашини; режими застрягання аналітичним методом. За результатами досліджень розроблені методи дослідження динаміки дво- і трьохмасових вібромашин. Методи ґрунтуються на елементах теорії біфуркацій рухів, методі малого параметра, ідеї параметричного розв'язання рівняння частот, яке призначене для пошуку можливих частот застрягання вантажів.

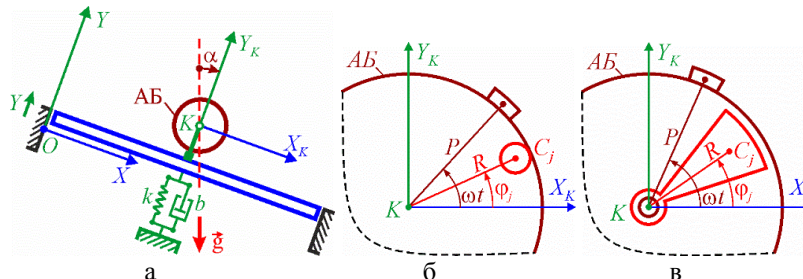


Рисунок 2 – Модель одномасової вібромашини, кінематика руху:
а – платформи; б – дебалансної маси й кулі або ролика; в – дебалансної маси й маятника

Побудована узагальнена модель двомасової вібромашини з прямолінійним поступальним рухом платформ і новим віброзбудником (рис. 3, а). Аналітично і числовими методами досліджено динаміку зазначеної машини [10]. Синтезована двомасова резонансна протифазна вібромашина. Аналітично і числовими методами досліджена її динаміка.

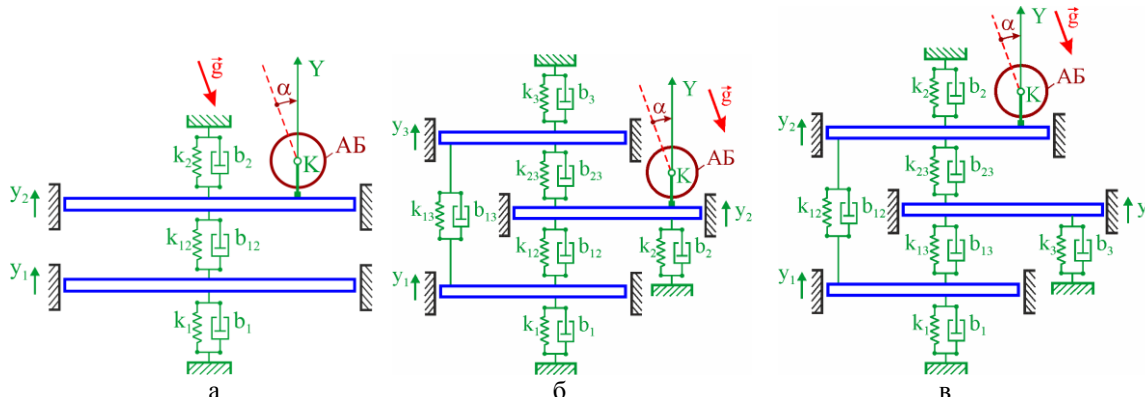


Рисунок 3 – Узагальнені моделі вібромашин (схеми повернені на кут α): а – двомасова; б – трьохмасова з віброзбудником на середній платформі; в – трьохмасова з віброзбудником на крайній платформі

Побудована узагальнена модель трьохмасової вібромашини з прямолінійним поступальним рухом платформ і новим віброзбудником (рис. 3, б, в). Аналітично досліджено динаміку зазначеної машини [11]. Аналітично синтезована і досліджена числовими методами трьохмасова антирезонансна вібромашина.

Запропонований експериментальний метод дослідження ефекту Зомерфельда в збудниках двочастотних вібрацій в умовах, коли спостереження за вантажами у віброзбуднику неможливе чи ускладнене. Метод ґрунтується на обробці сигналів, що поступають з аналогових датчиків обертів і віброприскорень з використанням регресійного аналізу. Метод перевірений на спеціально створеному стенді ротора на ізотропних пружно-в'язких опорах, що здійснює просторовий рух і автобалансира з однією кулею.

Встановлено, що незважаючи на сильну асиметрію опор, автобалансир збуджує практично ідеальні двочастотні вібрації. Відхилення від двочастотного закону пропорційні відношенню маси вантажів до маси всієї машини. Тому для реальних машин вони не перевищують 2 %. У вібромашини завжди існує непарна кількість кутових швидкостей застрягання вантажів. Одна швидкість застрягання вантажів близька до швидкості обертання ротора. Інші – народжуються парами і зникають парами в околі певної резонансної частоти

коливань вібромашини. Кожному режиму застрягання вантажів відповідає свій діапазон кутових швидкостей застрягання, причому діапазони, що відповідають різним режимам не перетинаються. Локально асимптотично стійкими є тільки непарні режими застрягання, якщо пронумерувати їх в порядку зростання кутових швидкостей застрягання вантажів.

Параметри вібрацій платформ можна змінювати у широких межах шляхом зміни зовнішніх і внутрішніх сил опору, сумарної маси вантажів, кутової швидкості обертання ротора. При збудженні певних резонансних коливань системи виникає відповідна форма резонансних коливань платформ. Це можна використовувати наступним чином:

- у випадку одномасової вібромашини для виникнення відповідної форми коливань платформи не потрібні додаткові кінематичні обмеження, що накладаються на рух платформи, достатньо, щоб при резонансі вона здійснювала потрібні коливання;

- у випадку двомасової вібромашини можна спроектувати протифазну вібромашину, у якій платформи коливаються у протифазі, а головний вектор сил, що діють на станину з боку опор (майже) дорівнює нулю, така вібромашина майже не передає вібрації на фундамент;

- у випадку трьохмасової вібромашини можна спроектувати антирезонансну вібромашину, у якій робоча платформа (активна) коливається у протифазі з реактивною платформою, а платформа, що встановлена на станину майже не коливається, така вібромашина майже не передає вібрації на фундамент і на станину.

Список використаних джерел

1. Интенсификация технологических процессов вибромашин путем реализации бигармонических режимов работы /С.Л. Букин, С.Г. Маслов, А.П. Лютый, Г.Л. Резниченко// Збагачення корисних копалин: Науково-техн. збірник. – 2009. – Вип. 36(77) – 37(78). – С. 81–89.
2. Крюков Б. И. Динамика вибрационных машин резонансного типа. Київ: Наукова думка, 1967. 210 с.
3. Пат. 92337 України на корисну модель, МПК F04D 29/66 (2006.01), Застосування пасивного автобалансира як збудника кругових двочастотних вібрацій / Філімоніхін Г.Б., Яцун В.В.; заявник та патентовласник Кіровоградський нац. техн. університет. – № u201402718; заявл. 18.03.2014; опубл. 11.08.2014, Бюл. №15.
4. Пат. 119678 України (на 20 р.), МПК B06B 1/16 (2006.01), Спосіб збудження двочастотних вібрацій / Філімоніхін Г.Б., Яцун В.В.; заявник та патентовласник Центральноукраїнський нац. техн. університет: – № a201703804; заявл. 18.04.2017; опубл. 25.07.2019, Бюл. №14/2019.
5. Пат. 119679 України (на 20 р.), МПК B06B 1/16 (2006.01), Спосіб збудження двочастотних ударно-коливальних вібрацій / Філімоніхін Г.Б., Яцун В.В.; заявник та патентовласник Центральноукраїнський нац. техн. університет: – № a201703914; заявл. 20.04.2017; опубл. 25.07.2019, Бюл. №14/2019.
6. Филимоныхин Г.Б., Яцун В.В. Способ возбуждения двухчастотных вибраций пассивными автобалансирами. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 4, N 7(76). – С. 9-14. – Режим доступа: doi: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2015.47116>
7. Филимоныхин Г.Б., Яцун В.В. Исследование процесса возбуждения двухчастотных вибраций шаровым автобалансиrom грохота ГИЛ 42. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – Т. 1, N 7(79). – С. 17-23. – Режим доступа : doi: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.59881>
8. Filimonikhin G., Yatsun V., Lichuk M., Filimonikhina I. (2016) Research by a 3D modelling of the screen box flat translatory vibrations excited by a ball auto-balancer. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Vol. 6, N 7 (84). – P. 16–22. DOI: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85460>
9. Yatsun V., Filimonikhin G., Dumenko K., Nevdakha A. (2017) Search for two-frequency motion modes of single-mass vibratory machine with vibration exciter in the form of passive auto-balancer. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Vol. 6, – N 7(90). – P. 58–66. doi: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.117683>
10. Yatsun V., Filimonikhin G., Dumenko K., Nevdakha A. (2018) Search for the dualfrequency motion modes of a dualmass vibratory machine with a vibration exciter in the form of passive autobalancer. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Vol. 1, – N 7 (91). – P. 47–54. doi: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121737>
11. Yatsun V., Filimonikhin G., Haleeva A., Krivoblotsky L., Machok Y., Mezitis M., Podoprygora N., Sadovyi M., Strautmanis G. Searching for the two-frequency motion modes of a three-mass vibratory machine with a vibration exciter in the form of a passive auto-balancer. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – Vol. 4, N 7 (106). – P. 103-111. – doi: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209269>

МОДАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ШТАНГИ НАЧІПНОГО ОБПРИСКУВАЧА

І.М. Борис, асп.

Р.О. Буласенко, асп.

М.Я. Сташків, доц., канд. техн. наук

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

Модальний аналіз - це метод дослідження динаміки конструкції з метою визначення її основних характеристик коливань. Цей метод дозволяє визначити форми (моди) і частоти коливань досліджуваної структури, що є базовою інформацією для проектування та вдосконалення інженерних конструкцій.

Мода (у фізиці) – вид коливань, що збуджуються в складних коливальних системах. Мода характеризується просторовою конфігурацією коливної системи (формою), яка визначається положенням її вузлових точок (ліній або поверхонь), а також власною частотою. Зазвичай кожній моді відповідає певна власна частота – частота, яка не залежить від зовнішніх навантажень, тобто частота самого об'єкта. Якщо власні частоти двох або більшого числа мод збігаються, то такі моди називаються виродженими.

Під час модального аналізу інженерної конструкції використовуються математичні методи та інструменти для визначення власних частот та форм коливань структури. Ці характеристики визначаються шляхом моделювання поведінки структури при різних вібраційних режимах, наприклад, при збуреннях, ударах або інших впливах.

Модальний аналіз є першим кроком для інших видів динамічного аналізу, таких, як аналіз перехідних процесів, гармонічний і спектральний аналіз. Модальний аналіз передбачає, що система є лінійною. Всі види нелінійності – нелінійна поведінка матеріалу, контактні граничні умови, кінцеві переміщення – ігноруються. Контакти, в залежності від свого початкового стану, залишаються відкритими або закритими. Передбачається, що зовнішні сили і демпферування дорівнюють нулю [1].

У модальному аналізі існує декілька підходів, які використовуються для визначення характеристик коливань інженерних конструкцій. Основними з них є:

1. застосування методів аналітичного аналізу - базується на дослідженні математичних моделей інженерної конструкції шляхом розв'язання диференціальних рівнянь руху. Аналітичний аналіз дозволяє визначити частоти та форми коливань без потреби вимірювань або складного чисельного моделювання.
2. Застосування методів експериментального аналізу - базується на вимірюваннях коливань інженерних конструкцій. Реалізовується шляхом застосування вібростендів, акселерометрів, датчиків напруження та інших приладів. Результати вимірювань дозволяють визначити форми та частоти коливань конструкції.
3. Застосування методу скінченних елементів (МСЕ) - це чисельний метод, який використовується для моделювання поведінки складних систем, включаючи інженерні конструкції. Метод МСЕ дозволяє розбити конструкцію на скінченну кількість елементів, після чого виконується аналіз коливань кожного елемента окремо, з метою визначення власних форм та частот коливань.

Метод кінцевих елементів широко використовується для вирішення різного класу задач механіки суцільного середовища. Цей метод є загальним чисельним методом розв'язку систем звичайних диференціальних рівнянь та рівнянь в часткових похідних [2].

Метод кінцевих елементів містить основні концепції методу сіток, по'язані з дискретизацією областей безперервної зміни аргументу і шуканої функції, і методу Гальоркіна, що використовує варіаційні принципи для знаходження шуканих функцій у

вузлах розглядуваної області. В кінцевому підсумку рішення крайової задачі зводиться до розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь, що мають стрічкову матрицю.

Основна ідея методу кінцевих елементів полягає в тому, що будь-яку безперервну функцію можна апроксимувати дискретною моделлю, яка будується на безлічі кусково-неперервних функцій, визначених на скінченній кількості підобластей. Кусково-неперервні функції визначаються за допомогою значень неперервної функції в заданій кількості точок даної області. Моделювання конструкції за допомогою МСЕ включають наступні етапи:

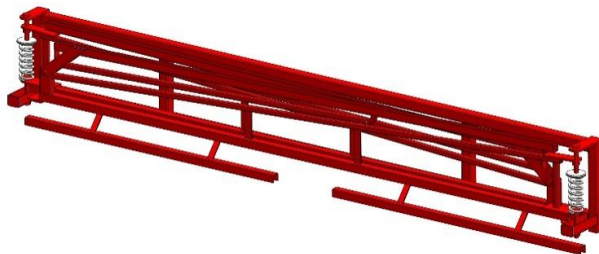
1. Конструкцію розбивають на менші елементи, які будуть аналізуватися окремо.
2. На основі властивостей матеріалу, геометрії, умов закріплення та інших факторів будуються матриці мас та жорсткості конструкції.
3. За допомогою МСЕ розраховуються власні числа та власні вектори матриці мас та жорсткості конструкції.
4. За отриманими власними числами та векторами визначаються форми та частоти коливань конструкції.

Для виконання МСЕ зазвичай використовують спеціальне програмне забезпечення, яке дозволяє виконувати складні розрахунки на комп'ютері. Це дозволяє інженерам і дослідникам швидко та ефективно виконувати аналіз інженерних конструкцій. Програмне забезпечення для МСЕ має вбудовані алгоритми для моделювання конструкцій, розрахунку матриць мас та жорсткості, а також їх власних значень. Воно зазвичай має також можливість візуалізації результатів розрахунку, що суттєво полегшує їх аналіз [3].

В роботі проведено модальний аналіз штанги тракторного польового начіпного обприскувача з шириною захвату 12 м від компанії АгроТех, м. Львів (рис. 1, а) [4]. Для проведення модального аналізу розроблено твердотільну модель штанги начіпного обприскувача у системі тривимірного моделювання SolidWorks (рис. 1, б та в).



а



б



в

а – загальний вигляд начіпного обприскувача; б – 3D - модель штанги обприскувача у складеному вигляді;
в – твердотільна CAD - модель розгорнутої штанги начіпного обприскувача.

Рисунок 1 – Штанга начіпного тракторного обприскувача

Модальний аналіз проведено для ненавантаженої розгорнутої штанги начіпного обприскувача із закріпленою центральною частиною за допомогою модуля інженерного аналізу SolidWorks Simulation. Аналіз проводився для перших ста мод.

Для проведення модального аналізу на твердотільній моделі штанги начіпного обприскувача створено сітку кінцевих елементів на основі змішаної кривизни з

максимальним розміром кінцевого елемента 40 мм та мінімальним розміром 2 мм із співвідношенням збільшення розміру елемента рівним 1,4.

За отриманими результатами проведеного модального аналізу встановлено, що у досліджуваному діапазоні числа мод існує п'ять частот власних коливань штанги націпного обприскувача з коефіцієнтами масової участі більше 10 % (рис. 2).

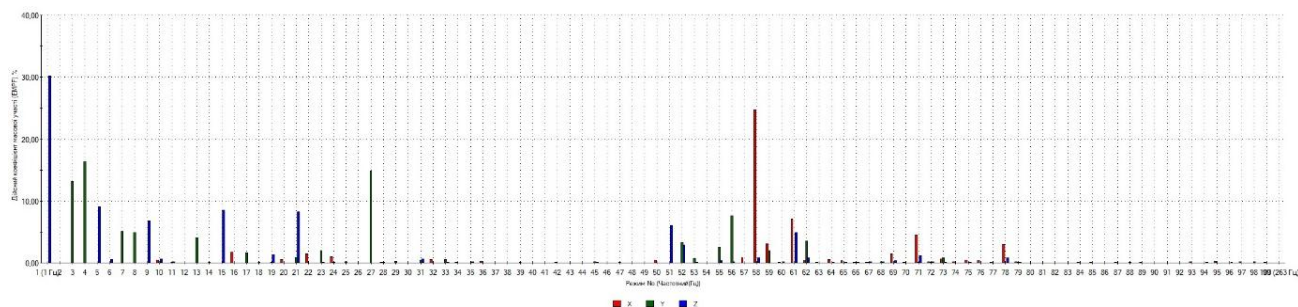


Рисунок 2 – Моді штанги націпного обприскувача у порівнянні з дійсним коефіцієнтом масового розподілу

Найбільший коефіцієнт масової участі рівний $\approx 30\%$ спостерігається для моди № 1 при коливанні у поперечно-горизонтальному напрямі з частотою 1,39 Гц та амплітудою 0,47.

Коефіцієнт масової участі рівний майже 25 % спостерігається для моди № 58 при коливанні штанги у поздовжньому напрямі з частотою 144,38 Гц та амплітудою 0,45.

Максимальне значення коефіцієнта масової участі 16 % у поперечно – вертикальному напрямі коливання штанги спостерігається для моди № 4 при частоті 7 Гц та амплітуді 0,68.

Загальний вигляд першої моди штанги націпного обприскувача показано на рис. 3.

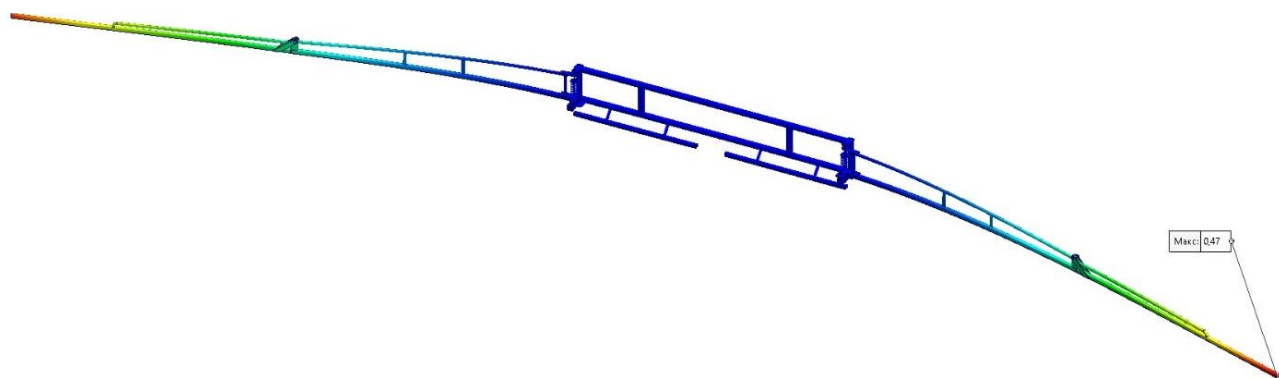


Рисунок 3 – Візуалізація форми моди №1 штанги націпного обприскувача (частота 1,39 Гц, амплітуда 0,47)

Результати проведеного модального аналізу можуть бути використані для подальшого вирішення різних задач, включаючи визначення власних частот і форм коливань при проектуванні конструкцій штанг обприскувачів; виявлення дефектів та несправностей в існуючих конструкціях; оцінки впливу вібрацій на конструкцію та навколишнє середовище; визначення необхідної жорсткості та пружності для досягнення заданих параметрів конструкції. Він є важливим етапом у процесі проектування інженерних конструкцій, оскільки дозволяє визначити основні параметри, які впливають на їх динамічну поведінку.

Список використаних джерел

1. Цибульник С. О. Системи CAE/CAD. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійної програми «Комп'ютерно-інтегровані технології та системи навігації і керування» / С. О. Цибульник ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 79 с.
2. Томашевський В.М. Моделирование систем. К.: Видавнича група BVH, 2005. 352 с.
3. Гліненко Л.К., Сухоносів О.Г. Основи моделювання технічних систем. Львів: «Бескид Біт», 2003. 176 с.
4. <https://agro-teh.com.ua/ua/p83040685-navesnoj-opryskivatel-400l.html>

ПІДВИЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ПОКРИТТІВ ОПЛАВЛЕННЯМ

Є.К. Солових, проф., д-р. техн. наук,

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

М.В. Головащук, асист.,

Національний транспортний університет м. Київ, Україна

В.М. Лопата, канд. техн. наук,

В.М. Кулижський, асп.

Інститут Проблем міцності імені Г.С. Писаренко НАНУ, м. Київ, Україна

Адгезійні властивості покриттів після холодного напilenня невеликі, міцність зчеплення з основою, як правило, не перевищує 40 МПа. Після оплавлення при температурі 1200...1330 С° міцність зчеплення покриттів з порошків сплавів, що самофлюсуються, зростає до 400 МПа за рахунок протікання дифузійних процесів в контактній зоні покриття-основа. Мікрорентгеноспектральними дослідженнями встановлено дифузійне переміщення заліза з основи в покриття та вуглецю з покриття в основний метал. В області з'єднання покриття з основним металом утворюється науглерожений прошарок сталі, перехідна зона і зона дифузії заліза в покритті. Ширина дифузійних зон зростає із збільшенням часу витримки при температурі оплавлення за параболітичним законом.

Технології та методи оплавлення покриттів із порошків сплавів, що самофлюсуються, значною мірою залежать від конкретної деталі, її розмірів, геометричної форми та матеріалів основи та покриття. Найбільш поширеними методами є оплавлення газокисневим полум'ям, оплавлення в печах, рідких теплоносіях, нагріванням струмами високої частоти, висококонцентрованими потоками енергії. Основною вимогою до джерела нагріву є забезпечення точної фіксації температури та часу оплавлення покриття.

Запропоновано напilenний шар оплавляти не повністю, а ділянками, що чергуються з неоплавленими, розміщеними перпендикулярно вектору швидкості ковзання деталі. Оплавлені ділянки забезпечують міцність шару, неоплавлені – підвищують зносостійкість покриття внаслідок великої маслоутримуючої здатності. З технологічних міркувань ширина неоплавлених ділянок вибирається не більше 3...6 мм залежно від товщини шару.

Висока зносостійкість покриттів сплавів, що самофлюсуються, пояснюється особливостями структури нанесених і оплавлених зміцнених шарів. Присутність дрібних рівномірно розподілених у в'язкій основі твердого розчину карбідів, боридів та інших сполук призводить до того, що при виникненні в мікрооб'ємах зусиль, що перевищують межу пружності, не відбувається повного пластичного зсуву, тобто дислокації загальмовуються і не створюють умов виникнення схоплювання. Запобігання втомному руйнуванню зміцнених поверхонь пояснюється фізико-механічними властивостями гетерогенної структури цих матеріалів, їх здатністю локалізувати пластичні деформації в поверхневих шарах [99, 100]. Заміна механізму мікрорізання процесами пружного або пластичного відтиснення при попаданні абразиву в зону тертя обумовлено високою в'язкістю і одночасно твердістю покриття сплавів, що самофлюсуються.

При газополуменовому напilenні пористість покриття досягає 20% при слабкій адгезії до основного матеріалу, і ціллію процесу оплавлення є отримання безпористого шару з високою міцністю зчеплення. Термообробка (оплавлення) включає в себе нагрівання деталі з нанесеним покриттям до температури на 20...30°С вище температури початку плавлення матеріалу покриття, витримку при цій температурі та охолодження. При вірному проведенні оплавлення межі між окремими частками шару, які добре видно у напilenому стані,

щезають, збільшується міцність зчеплення основи з напиленим шаром, виникає практично безпори́ста структура, подібна до монолітних матеріалів.

При використанні самофлюсуючихся сплавів слід приділяти велику увагу матеріалу основи. До матеріалів на яких можливо оплавляти покриття без спеціальних застережних заходів відносяться сталі зі вмістом вуглецю на більше 0,25%: вуглецеві, конструкційні, леговані конструкційні (C-Mn, Mn-Mo, Cr-Mo, C-Cr та ін.).

Аустенітні нержавіючі сталі типу X18H10, феритні нержавіючі сталі типу X17, сірий та ковкий чавун. Сталі із вмістом C=0,25...0,4%, що відносяться до класу вуглецевих, конструкційних, легованих конструкційних (C-Mn, Mn-Mo, Cr-Mo, C-Cr, Cr-V, Ni-Cr-Mo) потребують перед оплавленням підігріву до 270...375 °C.

Нержавіючі сталі мартенситного типу: 1X13, 2X13, X14, Ni-Cr-Mo сталі, Cr-Mo – сталі після оплавлення потребують ізотермічного відпалу.

Високоміцні Ni-Cr та Ni-Cr-Mo сталі, мартенситні сталі з високим вмістом Ni та Cr (1X12H2BNФ, 1X17H2), вуглецеві сплави та нержавіючі сталі з високим вмістом S непридатні для нанесення нікелевих самофлюсуючихся сплавів, що потребують оплавлення.

Нанесення покриття на нікелевій основі на леговані сталі може привести до виникнення тріщин. Цьому можливо запобігти використовуючи для такого роду сталей покриття із сплавів на основі кобальту, зносостійкість яких не нижче, і що дають після оплавлення гладку матову поверхню, що не потребує трудомісткої обробки.

При оплавленні сплавів, що вміщують карбід вольфраму (типу ПС-12НВК), слід приділяти особливу увагу швидкості і температурі нагрівання. Необхідно точно витримувати температурний режим оплавлення, так як перегрів приведе до збіднення поверхневого шару покриття карбідами, обумовленого їх осадженням.

Якщо основний матеріал має низький коефіцієнт об'ємного термічного розширення, охолодження повинно бути дуже повільним. На тріщиновиникнення впливають також зміни у структурі основного металу у деяких точках циклу охолодження. Найбільш розповсюдженими змінами цього типу є перехід із аустеніта в мартенсит.

Повільне охолодження в сухому піску, мінеральній ваті приведе до мінімуму можливості виникнення тріщин. Ці матеріали повинні повністю покривати всю деталь, що не допускає нерівномірного та швидкого охолодження.

Рентабельність газополуменевого напилення в більшості залежить, особливо при обробці крупногабаритних деталей, від раціонального використання тепла, що витрачається. Використання при оплавленні плаваючих центрів, що обертаються, та всіляких екранів, а також платформ та захисних стінок із теплоізолюючого матеріалу дозволяє значно збільшити ефективність процесу, а також зменшити час оплавлення, що знижує дифузію основного металу в покриття, що негативно впливає на властивості нанесеного шару.

ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Л.А. Лопата, доц., канд. техн. наук,

Інститут Проблем міцності імені Г.С. Писаренко НАНУ, м. Київ, Україна

А.Є. Солових, доц., канд. техн. наук,

С.Є. Катеринич, доц., канд. техн. наук,

С.О. Магопєць, доц., канд. техн. наук,

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Вступ. Розвиток сучасного вітчизняного транспорту (автомобільного, морського, авіаційного та іншого призначення) нерозривно пов'язаний з проблемою підвищення довговічності деталей його вузлів та агрегатів. Більшість відмов засобів транспорту (ЗТ) відбувається в результаті поверхневого руйнування і зношування. Причиною, яка зумовлює зниження надійності робочих параметрів транспортних засобів (ТЗ), є знос їх деталей. Ремонтні транспортні підприємства витрачають більше 40% металу на виготовлення запасних деталей різних вузлів та агрегатів засобів транспорту (ЗТ). Знос поверхонь деталей, що сполучаються знаходиться в межах 0,5...2,0 мм. Розробку ефективних способів боротьби із зносом, збільшення довговічності деталей з метою підвищення ресурсу ЗТ можна віднести до одних з важливих проблем транспортної галузі. Дослідження в області тертя, зношування і нових матеріалів та багатофункціональних покриттів є передумовою для створення на цій основі нових способів і технологій відновлення та ремонту деталей вузлів та агрегатів ЗТ, спрямованих на вирішення питань збільшення довговічності їх швидкозношуваних деталей.

Мета досліджень - дати характеристику комбінованих технологій відновлення, а також показати перспективу їх розвитку. Запропонувати комбінований спосіб підвищення ресурсу та відновлення деталей вузлів та агрегатів засобів транспорту.

Результати досліджень. Одним із шляхів підвищення працездатності деталей ЗТ і захисту контактних поверхонь від зносу і корозії є нанесення багатофункціональних покриттів на їх робочі поверхні [1]. Характерною особливістю технологій нанесення покриттів є те, що не вдається отримати одночасне підвищення всіх властивостей деталі для всіх режимів експлуатації. Навіть один і той же матеріал покриття, але нанесений різними способами, показує різні експлуатаційні властивості. Для усунення цього недоліку при проектуванні покриттів використовують два метода [2]. 1) нанесення багатошарових, багатофункціональних покриттів; 2) розвиток комбінованих (інтегрованих, гібридних) багатоопераційних технологій.

З комбінованих (інтегрованих) технологій найбільший ефект за несучою здатністю забезпечують дуплексні покриття, що поєднують попереднє глибоке іонне азотування і зовнішній тонкий шар надтвердого вакуум-плазмового покриття [2]. Знаходять застосування комбіновані (інтегровані) технології в комбінації лазерного легування (ЛЛ) і хіміко-термічної обробки (ХТО) [2]. Ця комбінація дозволяє отримувати за рахунок утворення зміцнюючих дисперсних фаз твердість до 20 ГПа і призводить до збільшення зносостійкості в 1,5-3 рази в порівнянні з азотуванням [2]. При цьому якісний і кількісний характер змін в азотованому шарі визначається заздалегідь сформованим структурно-фазовим станом. Підвищена розчинність азоту в кристалічній решітці сталі при обробці її поверхні лазерним променем, є наслідком утворення високої щільності рухомих дислокацій, а також сильного диспергування вихідної структури зерен. При цьому процес насичення поверхні азотом прискорюється в 17 разів [1].

Перспективним є відновлення комбінованими методами нанесення багатофункціональних покриттів з їх обробкою й модифікуванням [1, 2]. Застосовують

комбінації наплавлення і хромування, наплавлення і поверхневого пластичного деформування (ППД), газотермічне напилення (ГТН) з оплавленням. Використовують комбінацію гальванічних покриттів і подальшу ХТО [2], хромове покриття з наступною механічною обробкою (МО). Підвищують триботехнічні характеристики композиційних електролітичних покриттів лазерною обробкою (ЛО), ультразвуковою обробкою (УЗО), іонним азотуванням (ІА). При УЗО розмір зерен в покритті залежить від інтенсивності обробки, змінюючись від 45 НМ до 24 НМ [2]. Іонне азотування підвищує зносостійкість при абразивному зношуванні за рахунок перетворення електроосадженого хрому (Cr) в нітрид хрому (Cr_2N) [1]. Визначено механізм впливу термообробки (ТО) на зміцнення електроосадженого Fe-B-покриття, що забезпечує підвищення зносостійкості [2]. Технологія відновлення зношених деталей електролітичним залізненням з подальшою нітроцементациєю забезпечує високі експлуатаційні характеристики - міцність зчеплення, зносостійкість, втомну міцність [2]. Ефективне сульфоціанування електроосадженого Fe-B-покриття, що забезпечує підвищення зносостійкості і зниження коефіцієнту тертя [2]. Комбінація ЛО з ІА істотно збільшує азотуємість сталей, глибину зміцненої зони і підвищує зносостійкість [1], забезпечує підвищення твердості в порівнянні з ІА. Електроіскрове легування (ЕІЛ), як і лазерні технології, відноситься до способів, які використовують висококонцентровані джерела енергії. Тому ефективна комбінація ЕІЛ з подальшим ІА [2]. Цим істотно збільшується глибина шарів підвищеної твердості. Комбінація ЛО та електроіскровий обробки (ЕІО) забезпечує незначний ефект [2]. Відзначають підвищення зносостійкості модифікуванням відновлюємих поверхонь з покриттями шляхом поєднання методів іонної (ІО), електронно-променевої (ЕПО) і ЛО обробки [2]. Попередня обробка збільшує азотуємість сталей, глибину зміцненого шару і забезпечує багаторазове підвищення твердості і зносостійкості в порівнянні з іонним азотуванням ІА.

За даними Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона в США і Західній Європі комплексні або комбіновані методи нанесення покриттів отримали назву «гібридні процеси» зміцнення [2]. В даний час в практиці відновлення знайшли застосування наступні «гібридні процеси», що поєднують: ХТО з ППД; ХТО з електроконтактною обробкою (ЕКО); волочіння при впливі імпульсів струму; газотермічне напилення (ГТН) з подальшою холодною прокаткою; електромагнітну наплавку з термомеханічною обробкою (ТМО); ППД з дифузійним насиченням; ППД з пічним нагрівом або електричним; ППД з електроімпульсною обробкою; ППД з мікродуговим оксидуванням (МДО); лазерне гартування з ППД; плазмове напилення з гарячим ізостатичним пресуванням; ГТН з вібраційною обробкою (ВО) або нагріванням; цементацию з подальшим дробоструменевим зміцненням; лазерне гартування або легування з ППД; ЛЛ) з УЗО; УЗО з нанесенням газотермічних покриттів; ЛО з плазмовим напиленням покриттів; ЕПО електролітичних хромових покриттів; електронно-променеве нагрівання з детонаційним напиленням покриттів; ЛО з ІА; ЛО з боруванням; цементацию з лазерним гартуванням; ЛЛ) з ХТО.

В даний час ще не розроблена методологія синтезу комбінованих багатоопераційних технологій. У комбінації методів відновлення багатофункціональними покриттями переважає емпірично-інтуїтивний підхід. Слід зазначити явище інверсії, коли зміна послідовності операцій відновлення шляхом нанесення багатофункціональних покриттів призводить до результатів, які відрізняються. Оптимальний вибір методів відновлення та їх послідовність визначається підвищенням твердості, комплексу механічних властивостей, зносостійкості, а також шорсткості відновлюємої поверхні і точності розмірів відновлюємої деталі. Попередню ХТО доцільно використовувати для підготовки поверхні під ЕІЛ, а фінішне електроіскрове легування цементованих і азотованих поверхонь забезпечує додаткове підвищення твердості і зносостійкості [1]. Різна послідовність ЕІЛ і азотування дозволяє управляти розподілом мікротвердості в легованому шарі, а саме – становищем максимуму в приповерхневому шарі. Відзначають інверсію в комбінації ЛО і ІА. Лазерна обробка (ЛО) азотированного шару забезпечує більш щільний оксинітридний шар під відновлюємою поверхнею, а також збільшення глибини азотованого шару. Фінішна

дробоструменева обробка азотованого шару підвищує зносостійкість і межу витривалості зубчастих передач [2].

У всіх варіантах комбінованих (гібридних) технологій критерієм вибору є порівняння витрат та відновлення виробів. Кожна технологія поверхневого зміцнення (відновлення) має свою нішу оптимальних умов використання. Вирішальним фактором у виборі методів нанесення багатофункціональних покриттів у комбінованому процесі відновлення є наявність на підприємстві окремих видів устаткування і можливість інтегрувати їх в єдиний технологічний цикл.

З різноманіття первинних методів нанесення багатофункціональних покриттів - наймасовіші технології, що застосовуються в ремонті - газотермічні методи напилення (ГТН) [2]. Впровадження електродугового напилення (ЕДН) для підвищення ресурсу та відновлення деталей ЗТ з метою забезпечення змінно-запасними частинами ремонтних підприємств є актуальним. Електродугове напилення може бути застосовано для відновлення зношених чавунних, високовуглецевих і високолегованих сталевих деталей циліндричної форми з зношеними посадочними місцями і деталей плоскої форми з кольорових металів, які працюють в умовах тертя ковзання і мастила, захисту від корозії зовнішніх і внутрішніх поверхонь резервуарів і зварних металоконструкцій різного призначення шляхом напилення алюмінієм і цинком. Методом ЕДН відновлюються розміри опорних шийок розподільчих і колінчастих валів двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) [2].

При ЕДН технологічно можливе застосування будь-якої марки дроту, що випускаються промисловістю для різних цілей. Однак найбільше застосування знаходять композиційні порошкові дроти (ПД), оболонка яких виготовлена з сталей Св08, Св08Г2С, 30ХГСА, і наповнювача - феросплави, карбіди, карбобориди. Відновлюємі поверхні з покриттями, отриманими напиленням ПД мають велику твердість і зносостійкість. Практика застосування ПД при відновленні ЕДН показує, що експлуатаційні властивості відновлюємих поверхонь з покриттями із ПД вищі, ніж з гомогенних. Переваги ПД обумовлюються не тільки гетерогенною структурою відновлюємої поверхні з покриттям після напилення, а й активною взаємодією компонентів порошкової шихти один з одним при напиленні і з відновлюємою поверхнею, що сприяє підвищенню температури частинок, розкисленню оксидів на відновлюємії поверхні, і як наслідок підвищення адгезії покриття до поверхні деталі. При напиленні маловуглецевих нелегованих дротяних матеріалів покриття має низький рівень механічних властивостей. Твердість металу і оксидів різна і становить - 210 ... 280 HV і 400 ... 560 HV відповідно. Покриття характеризується високою внутрішньою крихкістю через наявність великої кількості оксидів (до 20%), високим коефіцієнтом тертя ($f = 0,4 \dots 0,6$) і невисокою зносостійкістю [2]. Міцність зчеплення покриття з відновлюємою поверхнею деталі не перевищує 22...24 МПа. Пористість покриття знаходиться в діапазоні 13 ... 18%. Структура покриттів має вигляд шаруватої системи, що складається з витягнутих зерен (ламелей), фазовий склад яких відповідає твердому розчину хрому в α -залізі, з дисперсними включеннями складнолегованих боридних сполук хрому і заліза.

Використання легованих та високолегованих матеріалів дозволяє отримувати найкращі властивості покриттів з гомогенних дротяних матеріалів методом ЕДН [2]. Отримання покриттів з підвищеними властивостями обумовлено зміцнюючим дією легуючих елементів в сталі. При значному вмісті хрому у вихідній дроті в покритті утворюються карбіди Cr_{23}C_6 , а також невелика кількість аустеніту. Хром в значній мірі підвищує корозійну стійкість покриття, а також адгезію покриття до мастила. На міцність зчеплення покриттів хром в чистому вигляді впливу не надає. При ЕДН хром практично не вигоряє. Нікель знаходить широке застосування в сплавах для захисних покриттів. Він необмежено розчинний у залізі, і є сильним аустенізіруючим елементом. Власних високотвердих фаз в сплавах заліза нікель не утворює. Його вплив полягає в істотному підвищенні стійкості покриттів до ударних навантажень. Зі збільшенням вмісту нікелю підвищується в'язкість сплаву практично без шкоди для зносостійкості. Нікель - дорогий легуючий елемент, тому його кількість в зносостійких сплавах на основі заліза обмежують. Виняток становлять

сплави для корозійно-стійких покриттів, в яких нікель застосовують в якості основи сплаву. В цьому випадку досягаються високі корозійна стійкість і зносостійкість, а також технологічність нанесення покриття завдяки утворенню в системі М-Сг-В гетерогенної структури евтектичного типу з низькою температурою плавлення (менше 1000°C). Однак високолеговані дротові матеріали за вартістю наближаються до порошкових дротовим матеріалів.

Головні недоліки напилених покриттів - низька міцність зчеплення і висока пористість [2]. Покращують ці властивості ЛО, ЕПО і ХТО [2]. Найбільш численні дослідження по ЛО покриттів. Завдяки оптимізації параметрів ЛО напилених електродугових покриттів отримують мікрокристалічну безпористу структуру з рівномірним розподілом хімічних елементів. Цим істотно підвищується зносостійкість в умовах граничного тертя і абразивного зношування. Досягають підвищення адгезійної і когезійної міцності покриттів при їх наноструктурованні. Лазерна обробка напилених покриттів підвищує їх стійкість до високотемпературної газової корозії. З метою зниження енергетичних витрат використовують спосіб легування поверхні спільної обробкою лазерним променем і плазмою [2]. Лазерне оплавлення напилених покриттів збільшує мікротвердість в 2 рази, зносостійкість в 1,3-1,8 рази. Оплавлення напилених покриттів здійснюють струмами високої частоти (СТЧ), високошвидкісний імпульсно-плазмовим струменем, в вакуумних печах [2]. Істотний ефект багаторазового підвищення мікротвердості і зносостійкості забезпечує ЕПО напилених покриттів. Аналіз структури показав, що середній розмір зерна в покритті зменшується від сотень мкм до сотень нанометрів, а мікротвердість збільшується в 5 раз. Межа витривалості підвищується на 60-80%, а міцність зчеплення - в 2,5 ... 3,5 рази після ЕПО [2]. Для підвищення триботехнічних характеристик напилених покриттів використовують УЗО, в тому числі одночасно з плазмовим напиленням [2]. Ефективне застосування ХТО після напилення. Після борування зносостійкість напилених покриттів зі сталі при сухому терті підвищується в 10 раз. Підвищується також адгезійна міцність напилених покриттів. Іонне азотування напилених покриттів із сталей забезпечує їх мікротвердість від 6,5 до 15 ГПа. При цьому зносостійкість збільшилася в 8 разів [2].

В умовах все зростаючого дефіциту дорогих легуючих матеріалів, що входять до складу сталей, що вимагають високого комплексу властивостей міцності, перспективними для електродугового напилення є маловуглецеві низьколеговані сталі. З метою використання при ЕДН дешевих сталей, але при цьому для отримання покриттів з високою міцністю зчеплення, твердістю і зносостійкістю нами була запропонована комбінована (інтегрована) технологія (рис. 1) ЕДН з попередньою ЕЮ та з подальшою їх фінішною обробкою ПА.

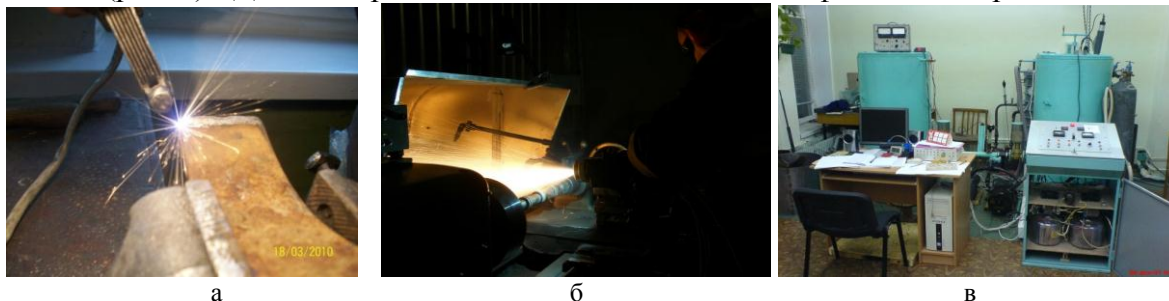


Рисунок 1 – Приклад комбінованого методу відновлення шляхом нанесення багатофункціональних покриттів: а, б) електроіскрове легування; в) електродугове напилення

При відновленні деталей ЕДН необхідна попередня обробка відновлюємих поверхонь для видалення забруднень і забезпечення надійного контакту розпилюємого матеріалу покриття з матеріалом відновлюємої поверхні деталі. Попередня обробка відновлюємих поверхонь деталей виконується різноманітними технологічними методами. На першій стадії підготовки поверхні проводиться знежирення для видалення різних забруднень. Далі виконується МО відновлюємих поверхонь для видалення дефектного шару. Після МО для

підвищення адгезійної міцності напилених покриттів з відновлюємою поверхнею використовують обробку дробом, обдування піском, нарізання рваного різьблення, нанесення різної форми насічок

При розробці комбінованої технології ЕДН із ІА запропоновано попередню обробку поверхні перед напиленням виконувати ЕІЛ.

Висновки. Як показує вітчизняний і зарубіжний досвід, відновлення деталей засобів транспорту найбільш ефективно шляхом нанесення на їх поверхні багатофункціональних покриттів комбінованими (інтегрованими, гібридними) методами. Створення технологічних процесів відновлення комбінованими (інтегрованими, гібридними) методами є досить актуальним завданням і може зробити ремонтне виробництво рентабельним. Запропоновано для відновлення та підвищення ресурсу деталей вузлів та агрегатів транспортних засобів використовувати комбіновану (інтегровану, гібридну) технологію електродугового напилення в комбінації з електроіскровим легуванням і іонним азотуванням. Пропонуєма комбінована технологія має низку переваг: забезпечує підвищення фізико-механічні властивості відновлюємої поверхні, зокрема, міцність зчеплення покриття з відновлюємою поверхнею, щільність, твердість, зносостійкість і корозійну стійкість. Електроіскрове легування несе функцію попередньої обробки відновлюємої поверхні перед напиленням покриття і підвищує його міцність зчеплення. Операцію імпульсного іонного азотування напиленого покриття можна поєднати з фінішною обробкою до необхідної твердості, зносостійкості і чистоти відновлюємих поверхонь деталей.

Список використаних джерел

1. Покрyтия и их использование в технике. В кн. «Прочность материалов и конструкций», п/ред. В.Т. Трощенко. 2-е изд. Академперіодика, К.: 2006. С. 981-1074.
2. Ляшенко Б.А., Лопата Л.А., Соловых Е.К., Соловых А.Е., Ворона А.В., Повышение долговечности быстроизнашиваемых деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники интегрированными технологиями упрочняющих защитных покрытий. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип.41, часть 2, Кіровоград, 2011, С.73-79.

ЗНАЧИМІСТЬ МЕТОДІВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН З ГАЗОТЕРМІЧНИМИ ПОКРИТТЯМИ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЇХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

О.В. Лопата, асп.,

**І.В. Смирнов, проф., д-р. техн. наук,
НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна**

Газотермічні покриття з деяким припуском піддають механічній обробці. Основними видами механічної обробки (МО) напилених покриттів є різання та шліфування. Для обробки покриттів використовують швидкорізальний та твердосплавний інструмент. Знання властивостей газотермічних покриттів дозволяє виконувати їх МО з мінімальними витратами та отримати необхідну чистоту поверхні. Структурні особливості та фазовий склад покриттів зумовлюють вибір методів та режимів їх механічної обробки. Спосіб обробки напилених покриттів залежить від їхньої твердості. Покриття з твердістю 35...40 HRC можна обробляти на металорізальних верстатах твердосплавним інструментом. Використання твердосплавного інструменту дає найкращу чистоту обробленої поверхні. Режими МО газотермічних покриттів наведені у таблиці.

Таблиця – Режими механічної обробки газотермічних покриттів

Режим обробки	Швидкість різання, V, м/хв	Подача, S, мм/об	Глибина різання, T, мм
Черна обробка	40 ... 60	0,06 ... 0,1	0,1 ... 0,3
Чистова обробка	40 ... 60	0,06 ... 0,08	0,06 ... 0,1

Обробка покриттів із твердістю > 40 HRC або чистова обробка покриттів здійснюється інструментом із гексаніту. Щоб покращити чистоту обробленої поверхні, необхідно обробляти ці матеріали із застосуванням охолоджуючої рідини (емульсол).

Шліфування напилених покриттів здійснюється карборундовим чи алмазним інструментом. Для шліфування карборундовим інструментом використовуються круги КЗ зернистістю М25, М40 та твердістю СМ1-СТ1. Попереднє шліфування алмазним інструментом здійснюється кругами АПП на металевих зв'язках МО16, МО13, МВ1 з алмазами АСКМ, АСК, АСВ зернистістю 250/200, 200/160, які забезпечують отримання шорсткості в межах 0,32. Для фінішної обробки використовують алмазні чашкові круги на органічній зв'язці Б1 з алмазами АСО зернистістю 40/28, 28/20. Режими круглого шліфування: швидкість круга – 30 ... 35 м/с; швидкість деталі – 25...32 м/хв.; поздовжня подача – 1,0...1,5 м/хв.; поперечна подача - 0,006...0,15 мм/дв. хід. (0,016 – при попередньому шліфуванні; 0,006 – при чистовому). Режими плоского шліфування: швидкість кола – 30...35 м/с; поздовжня подача – 18 м/хв; поперечна подача – 1,8 мм/хід; глибина шліфування – 0,01 мм. Шліфування виконується при охолодженні. При шліфуванні використовують алмазні круги із зернистістю 147...27 мкм, глибиною різання 2,5...12,5 мкм за умови подачі круга при поперечному коливанні з амплітудою 1...2 мм, швидкість кола 5...33 м/с. Чистову обробку поверхонь (не більше 0,2 мкм) здійснюють притирання за допомогою алмазної пасти. Тиск притирання 0,14...0,175 МПа, швидкість руху притирання 30,5...91,5. Структура та властивості поверхневого шару в результаті МО змінюються в середньому на глибину 0,1...0,7 мм. Структура набуває спрямовану будову (текстуру), а твердість збільшується на 30...40 %.

Крім МО газотермічних покриттів застосовують хіміко-термічну та механо-термічну обробку. Термічно оброблені сталі, що мають твердість HRC 40...45, у процесі наклепу

збільшують її на 5 ... 10%. Шляхом об'ємного пластичного деформування можна підвищити модуль пружності матеріалу покриття. Теплові та хімічні впливи сприяють поширенню структурних перетворень у глибину матеріалу зміцнюємої поверхні. Більшість способів обробки поверхонь із газотермічними покриттями мають відносно високі температури та тривалість обробки. Високі температури, як правило, негативно впливають на «об'ємні» властивості.

Одним із найефективніших методів механо-термічної обробки (МТО є електроконтактна обробка (ЕКО). Перевагою ЕКО є максимальне відтворення механічних властивостей покриттів. Це пов'язано з тим, що ЕКО належить до імпульсних технологій, тобто. високі температури та тиски діють імпульсно і тривалість їх дії становить від 0,02 до 0,4 с. Електроконтактна обробка здійснюється під тиском при прямому пропусканні електричного струму за температури, що становить 0,7...0,95 температури плавлення матеріалу покриття. Встановлено, що в результаті ЕКО міцність зчеплення покриття з поверхнею зростає до 160...200 МПа. Електроконтактна обробка газотермічних покриттів характеризується малою зоною термічного впливу електричного струму на метал деталі (0,2 ... 1,0 мм), відсутністю необхідності у використанні захисних середовищ, можливістю отримання рівномірних шарів у діапазоні товщин від 0,5 до 4 мм, високим ступенем автоматизації та сприятливими санітарно-гігієнічними умовами здійснення процесу. Оптимальною вважається швидкість обробки 0,014 ... 0,02 м/с. Отримана міцність зчеплення становить 150...250 МПа. Електроконтактна обробка зменшує пористість газотермічних покриттів. Металографічні дослідження показали (рис. 1), що в результаті ЕКО відбувається «заліковування» пор, пористість покриттів зменшується до 3 – 5 %.

ДюрOMETричні дослідження показали, що в процесі ЕКО відбувається збільшення мікротвердості. Висунуто припущення, що відбувається перезагартування поверхневого шару напilenого покриття, що призводить до збільшення мікротвердості.

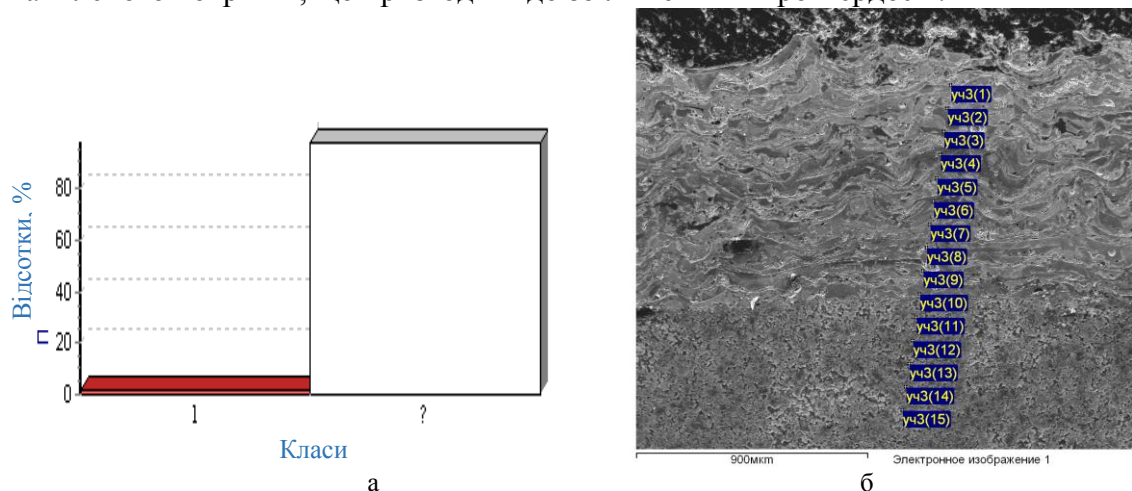


Рисунок 1 – Результати кількісного стереологічного аналізу пористості (а) та структура (б) поверхні з напilenим покриттям після електроконтактної обробки

Таким чином, електроконтактна обробка є найбільш ефективним способом підвищення механічних властивостей газотермічних покриттів (міцності зчеплення, щільності, мікротвердості).

РИНОК ВІТЧИЗНЯНОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ УКРАЇНИ

О. Плахтій, *ст. гр. ТТ-2206 М,*
В. Мельник, *доц., канд. екон. наук,*
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна, E-mail: vim2607@gmail.com

Неможливо уявити собі будівельну, гірничодобувну, лісозаготівельну галузі, комунальне, дорожнє і сільське господарства, нафтогазовий комплекс без застосування сучасної автомобільної техніки. Автомобілі КрАЗ залучені практично у всіх галузях народного господарства. Тому не випадково домінівне місце у виробничій програмі ПАТ «АвтоКрАЗ» займає лінійка автомобілів цивільного призначення. Сучасний модельний ряд цивільних вантажівок КрАЗ представлений автомобілями колісних формул 4х2, 4х4, 6х4, 6х6, 8х4, 8х6, поміж яких сидельні тягачі, бортові, самоскиди, сортиментовози і різна спецтехніка. Також виготовляють армійські вантажівки КрАЗ, які відповідають всім вимогам: потужні, витривалі, надійні й невибагливі. В основі інтересу до автомобілів КрАЗ з боку військових – високі технічні та експлуатаційні характеристики українських всюдиходів.

Корпорація «Богдан» є системним для економіки регіонів, в яких вони розташовані, а також для держави в цілому. Завдяки потужним виробничим можливостям «Богдан» є учасником національної програми із оновлення міських парків громадського транспорту сучасною технікою у поєднанні з комплексними рішеннями для транспортної інфраструктури. Сьогодні на заводах корпорації «Богдан» виготовляються автобуси, тролейбуси, вантажівки та спеціалізована техніка.

Нині в Україні значно менше за обсягами виробництво автобусів також ведеться у Черкасах, Борисполі, Чернігові, Рівному та інших містах. В останні роки в Україні відновлюється вітчизняне виробництво рухомого складу для міського електротранспорту: тролейбусів і трамваїв (Київ, Дніпро).

Помітним виробником сучасного пасажирського електротранспорту для міст – трамваїв, тролейбусів та електробусів – стала корпорація «Електрон» (Львів). Трамваї та тролейбуси «Електрон» – це низькопідлогові підвищеної комфортності вагони із системою кондиціонування салону, зниженим рівнем вібрації та шуму. Трамвайні вагони призначені для колій різної ширини та мають 3, 5 і більше секцій. Головною особливістю львівського тролейбуса є можливість його автономного ходу, тобто без контактної мережі, на відстань до 3 км. Електробус «Електрон» – це екологічний міський транспорт нового покоління, який здатний без підзарядження акумуляторів проходити до 300 км. Крім того, корпорація «Електрон» є виробником спеціальних автомобілів для комунального господарства та екстреної медичної допомоги.

У повоєнний період відновлення економіки Україну іноземне інвестування може стати запорукою розвитку галузі автомобілебудування, що сприятиме створенню додаткових робочих місць та забезпеченню власного ринку автомобільної продукції.

Список використаних джерел

1. Презентація автомобілів КрАЗ для громадського транспорту: URL: <http://www.autokraz.com.ua/index.php/>
2. Аналітичне дослідження вторинного ринку України. Інститут досліджень авторинку. URL: <https://eauto.org.ua/news/13-analitichne-doslidzhennya-vtorinnogo-avtorinku-ukrajini>
3. Чикусова М. Аналіз автомобільного ринку України. Прикладні аспекти маркетингової діяльності. Маркетинг в Україні, №1, 2021, С. 38-45. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/32609111.pdf>

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ І РОЗДАВАННЯ КОРМІВ

З.В. Ружи́ло, доц., канд. техн. наук

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна, E-mail: ruzhylo@nubip.edu.ua*

Ю.А. Новицький

*ТОВ ВіДі-Скай
м. Київ, Україна, E-mail: novickii_yurka@ukr.net*

Для підвищення продуктивності великої рогатої худоби (ВРХ) необхідне одночасне роздавання всіх видів кормів у вигляді збалансованої кормової суміші із заданою поживною цінністю. Використання зазначеного способу годівлі дає можливість підвищити продуктивність ВРХ за рахунок повного поїдання кормів, зниження їх втрати. Це дуже важливо для кормів, які включають в раціони альтернативні види компонентів кормової суміші, мають поживні властивості і високу засвоюваність, але погано поїдаються в натуральному вигляді. Аналізом літературних джерел встановлено, що при згодовуванні тваринам кормових сумішей їх продуктивність зростає на 9-19 %, а витрата кормів на 1 ц молока може зменшитись на 5-7 %.

За кордоном на великих фермах з високою молочною продуктивністю корів утвердилася технологія годівлі збалансованими кормовими сумішами [1, 2]. Практика годівлі сільськогосподарських тварин в Україні та за кордоном показала, що ефективність використання кормів значно підвищується при їх згодовуванні у вигляді збалансованих кормових сумішей, у тому числі з концентрованими мінеральними добавками та іншими інгредієнтами, що підвищують їх поживні та смакові якості [1, 2]. Процес приготування і роздавання кормових сумішей ВРХ полягає у використанні всіх необхідних поживних речовин, що містяться в них.

Існує велика кількість ЗПРК, які дозволяють поєднувати в одній машині кілька технологічних операцій: подрібнення, змішування, транспортування, дозування, роздавання [3-5]. Але також є такі ЗПРК, які виконують конкретну певну технологічну операцію, включаючи завантаження. Представлені машини випускаються за кордоном і в Україні, існує ціла гамма зазначених машин. Разом з тим, в останні роки гостро постає проблема удосконалення ЗПРК для малих ферм і фермерських господарств у напрямку зниження енергоємності процесів [3, 4], підвищення якості приготування кормових сумішей, підвищення експлуатаційної надійності [7-9], реалізація логістичних питань та підвищення ефективності транспортування [6].

Аналіз літературних джерел показує, що модернізація технічних засобів для приготування і роздавання кормів може здійснюватися за кількома важливими напрямками:

- удосконалення конструкції робочих органів механізму завантаження [3];
 - удосконалення конструктивного виконання шнеків подрібнення-змішування [4];
 - обґрунтування параметрів та матеріалів ножів механізму подрібнення-змішування [10, 11];
 - забезпечення безвідмовності та ремонтпридатності механізмів [12, 14, 15];
 - удосконалення технологій технічного обслуговування і ремонту [13, 14];
- Актуальними в подальших дослідженнях могли б бути напрями підвищення довговічності робочих органів подрібнювачів та подрібнювачів-змішувачів кормів.

Список використаних джерел

1. Morrone, S.; Dimauro, C.; Gambella, F.; Cappai, M.G. Industry 4.0 and Precision Livestock Farming (PLF): An up to Date Overview across Animal Productions. *Sensors* 2022, 22, 4319. <https://doi.org/10.3390/s22124319>.
2. Norton, T.; Chen, C.; Larsen, M.L.V.; Berckmans, D. Review: Precision livestock farming: Building “digital representations” to bring the animals closer to the farmer. *Animal* 2019, 13, pp. 3009–3017.
3. Fuyang, T., Yuhua, C., Zhanhua, S., Yinfa, Y. (2020). Finite Element Simulation and Performance Test of Loading and Mixing Characteristics of Self-Propelled Total Mixed Ration Mixer. *Journal of Engineering*. vol. 12, 1–15.
4. Viatcheslav Loveikin, Vasyl Khmelovskiy, Vasyl Lukach, Vasyl Achkevych. Improving efficiency of mobile combined feed mixer. *Engineering for rural development*. 25-27.05.2022 Jelgava, 2022. pp. 853–859.
5. Zinoviy Ruzhylo, Andriy Novitskii, Dmytro Milko, Volodymyr Bulgakov, Ivan Beloev, Adolfs Rucins. Mathematical model for reliability assessment of device for preparation and distribution of animal feed as “Man-Machine”. *Engineering for rural development*. 25-27.05.2022 Jelgava, 2022. pp. 911–917.
6. Aulin, V., Hryniv, A., Lyashuk, O., Vovk, Y., Lysenko, S., Holub, D., Zamota, T., Pankov, A., Sokol, M., Ratynskiy, V., Lavrentieva, O. Increasing the functioning efficiency of the working warehouse of the "Uvk Ukraine" company transport and logistics center (2020) *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 22 (2), pp. 3–14.
7. Novitskiy Andriy, Bannyi Oleksandr (2016). Logic and probabilistic modeling of reliability of complex agricultural machinery. *MOTROL*. Lublin. Vol. 14. No 3, 187–196.
8. Новицький А. В. Моніторинг матеріально-технічного забезпечення та надійності техніки АПК в системі розвитку інноваційних процесів. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, P. 87–94.
9. Новицький А. В. Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування складних технічних систем у тваринництві. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. К., 2016. Вип. 254, ч. 3. С. 334–338.
10. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Класифікація робочих органів типу «ніж» засобів для приготування і роздавання кормів. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2017. Вип. 262. С. 287–296.
11. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Технічна оцінка споживчих якостей сільськогосподарської техніки. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. Київ. 2017. Вип. 264 (2017). С. 293–303.
12. Новицький А. В., Ружи́ло З. В. Визначення функції готовності систем «людина – машина» при зростанні інтенсивностей відмов. *Machinery & energetics. Journal of Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10. No. 2. P. 89–96.
13. Новицький А. В., Харьковський І. С., Новицький Ю. А. Моніторинг технічного стану сільськогосподарської техніки за керівними матеріалами на її експлуатацію. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. 2021. Vol. 12, No 4. P. 85–93.
14. Ружи́ло З. В., Новицький А. В. Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування систем «ЛМС» під впливом технічного обслуговування і ремонту. *Науковий Журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів»*. Харків. 2016, Вип. 2. С. 223–231.
15. Новицький А. В., Ружи́ло З. В. Логіко – імовірнісна модель дослідження надійності складної техніки. *Вісник Вінницького національного університету. Серія: Технічні науки*. Вип. 11. Т. 2 (66), Вінниця. 2012. С. 33–37.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ТА ІНФРАСТРУКТУРИ ВРАХОВУЮЧИ ВІЙСЬКОВИЙ СТАН В УКРАЇНІ

О. Почужевський, доц., канд. техн., наук, *Pochuzhevskiy@knu.edu.ua*
Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна

М.В. Радкєвіч, проф., д-р, техн., наук,

К.Б. Шіпілова, ст. викладач

Ташкентський інститут інженерів іригації та механізації сільського господарства, Узбекистан

Останнім часом Україна стикається зі складнощами на багатьох рівнях. Однією з головних проблем є стан автомобільної інфраструктури, яка потребує значних інвестицій і оновлення.

Від автомобільного транспорту залежить не тільки економічний розвиток країни, але й її безпека. В умовах військового конфлікту важливо не тільки розвивати інфраструктуру та техніку, але і забезпечувати безпеку перевезень. У даній статті розглянемо перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури враховуючи військовий стан в Україні.

Автомобільний транспорт є однією з основних складових інфраструктури України. Розвиток цього сектору забезпечує ефективну та швидку транспортну логістику для міст та регіонів країни, а також підтримує економіку країни в цілому. Проте, військовий стан в Україні має значний вплив на розвиток автомобільного транспорту та інфраструктури. Однією з перспектив розвитку автомобільного транспорту в Україні є впровадження новітніх технологій та інновацій. Наприклад, електричні автомобілі стають все популярнішими в світі, і цей тренд також поширюється на Україну. Завдяки розвитку технологій, електричні автомобілі стають більш доступними, а також мають більш високу ефективність та екологічність, що сприяє зменшенню викидів шкідливих речовин в атмосферу. Іншою перспективою є розвиток автономних автомобілів. Це може допомогти знизити кількість дорожньо-транспортних пригод та збільшити безпеку на дорогах. Однак, військовий стан може ускладнити розвиток цієї технології в Україні, оскільки війна на сході країни перешкоджає розвитку технологій та інновацій. Окрім технологічного розвитку, іншою перспективою є модернізація та розширення інфраструктури для автомобільного транспорту. В Україні протягом останніх років були проведені значні ремонти та реконструкції доріг, що покращило їх стан. Також планується розширення мережі автомагістралей та розвиток інших видів транспорту, таких як залізниці та водний транспорт. Однак, військовий стан може сповільнити цей процес, оскільки воєнний конфлікт на сході країни спричинив пошкодження і знищення частини існуючої інфраструктури, що потребує значних зусиль та інвестицій для їх відновлення.

Крім технологій та інфраструктури, важливо враховувати вплив військового стану на саму автомобільну індустрію України. В умовах війни, попит на автомобілі може знизитися, оскільки більшість грошей спрямовується на потреби армії та інші потреби країни, які є надзвичайно важливими. Також, військовий конфлікт може спричинити зменшення інвестицій в автомобільну індустрію України, оскільки інвестори можуть віддавати перевагу більш стабільним та безпечним ринкам.

Ураховуючи всі ці чинники, можна зробити висновок, що перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури в Україні є досить складними і потребують великих зусиль та інвестицій. Військовий стан може створювати багато проблем та перешкод для розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури, але, з іншого боку, він може також стати стимулом для впровадження нових технологій та інновацій, які допоможуть

знизити залежність від традиційних джерел палива та зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Навіть у складних умовах війни, важливо продовжувати розвивати та модернізувати автомобільний транспорт та інфраструктуру в Україні. Це допоможе забезпечити ефективний та безпечний транспорт пасажирів та вантажів, збільшити економічний розвиток країни та поліпшити якість життя громадян.

Додатковими способами підтримки розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури можуть бути такі кроки:

1. Впровадження новітніх технологій: використання сучасних технологій у автомобільній індустрії, таких як електричні та гібридні автомобілі, автономні транспортні засоби, допоможе зменшити негативний вплив на довкілля та забезпечити більш ефективне використання ресурсів.

2. Розвиток мережі автозаправних станцій: розширення мережі автозаправних станцій, в тому числі станцій для електромобілів, забезпечить більш зручний та доступний доступ до палива для водіїв.

3. Підвищення кваліфікації кадрів: підвищення кваліфікації працівників у сфері автомобільного транспорту та інфраструктури допоможе забезпечити більш якісний та безпечний сервіс для клієнтів.

4. Забезпечення безпеки дорожнього руху: підвищення свідомості водіїв та забезпечення дотримання правил дорожнього руху допоможе зменшити кількість дорожньо-транспортних пригод та забезпечити безпеку на дорогах.

5. Розвиток логістики та транспортної інфраструктури: розвиток логістики та транспортної інфраструктури допоможе зменшити витрати на транспортування вантажів та забезпечити більш ефективний та швидкий процес доставки.

Одним зі способів підтримки розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури може бути співпраця з міжнародними організаціями та державами, які мають досвід у цій галузі. Також, важливо розробляти та впроваджувати ефективні стратегії для залучення інвестицій та підтримки малого та середнього бізнесу у сфері автомобільної індустрії.

Загалом, розвиток автомобільного транспорту та інфраструктури в умовах війни вимагає відповідального підходу та великих зусиль з боку держави та підприємств автомобільної індустрії. Військовий стан може стати перешкодою для його розвитку, але за наявності ефективних стратегій та співпраці з міжнародними партнерами, можна досягти успіху в цій галузі. Необхідно забезпечити безпеку перевезень, відновити та розвивати інфраструктуру, забезпечити виробництво відповідних транспортних засобів та розглянути можливість використання альтернативних методів доставки.

Список використаних джерел

1. Грищенко І.В., Діденко Л.М., Ігнатенко О.В. та ін. "Екологічні проблеми автомобільного транспорту". К.: Техніка, 2009. - 256 с. - ISBN 978-966-945-153-7.
2. Степанов І.В., Муляр С.В., Хохлов О.О. та ін. "Розвиток транспортної інфраструктури в Україні". К.: Книжковий світ, 2017. - 240 с. - ISBN 978-966-03-7757-7.
3. Грищенко А.В., Клішевнич М.Ю., Самара О.М. та ін. "Транспортні системи в умовах глобалізації економіки". К.: Національний авіаційний університет, 2014. - 368 с. - ISBN 978-966-491-141-2.
4. Луценко І.В., Жуков О.А., Кузьменко О.М. та ін. "Розвиток автомобільного транспорту: проблеми та перспективи". К.: Автострада, 2015. - 252 с. - ISBN 978-966-945-283-1.
5. Сіренко І.О., Корнієнко М.В., Широкова О.В. та ін. "Модернізація транспортної інфраструктури: досвід країн Європейського Союзу". К.: Видавничий дім "Слово", 2018. - 336 с. - ISBN 978-617-7508-14-7.
6. Троценко О.В., Чернишова Н.В., Дмитренко О.В. та ін. "Економіка транспортного комплексу: теорія та практика". К.: Аграр Медіа Груп, 2020. - 360 с. - ISBN 978-966-2217-54-3.
7. Швед О.В., Швед С.В., Чернишева О.В. та ін. "Автомобільний транспорт України: стан та перспективи розвитку". К.: НТУУ "КПІ", 2016. - 324 с. - ISBN 978-617-7192-14-5

РЕСУРС ПЛАСТИЧНОСТІ ЧАВУНІВ ПРИ ЇХ ОБРОБЦІ ДЕФОРМУЮЧИМ ПРОТЯГУВАННЯМ

І.В. Шепеленко, проф., д-р техн. наук,

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

М.Г. Сторчак, с.н.с., д-р техн. наук,

Штутгартський університет, м. Штутгарт, Німеччина

Я.Б. Немировський, д-р техн. наук,

Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна

Однією з найбільш важливих і актуальних проблем сучасного машинобудування є підвищення якості деталей машин. Традиційно це може бути досягнуто технологічним забезпеченням робочої поверхні необхідними експлуатаційними властивостями. Зростаючі вимоги до експлуатаційних властивостей робочих поверхонь деталей стимулюють розвиток різних технологічних методів модифікації поверхневого шару, до яких слід віднести деформуюче протягування (ДПР). Перспективність застосування ДПР для підвищення якості поверхонь тертя деталей машин переконливо доведено в [1].

Для оцінки якості виробів, оброблених ДПР, використовують параметр, що характеризує мікрodefектність поверхневого шару – ресурс використаної пластичності. Цей параметр розраховується на підставі вивчення напружено-деформованого стану (НДС) поверхневого шару. Дослідження ресурсу пластичності, а також можливостей керування ним є особливо важливим під час обробки ДПР виробів із малопластичних матеріалів, наприклад, графітовмісних чавунів, здатність до пластичного деформування яких обмежена руйнуванням [2]. З огляду на низьку пластичність виробів із чавуну, вивчення можливості деформування поверхневого шару без руйнувань є особливо актуальною проблемою. У зв'язку з цим вельми актуальним видаються проведення дослідження явищ, що відбуваються в осередку деформації, а також визначення параметрів НДС і пластичності поверхневого шару під час обробки ДПР малопластичних матеріалів, до яких слід віднести сірі чавуни марки СЧ20. Це дасть змогу визначити фактори та умови обробки, що впливають на ресурс пластичності матеріалу.

Експериментальний шлях встановлення зв'язку між режимами протягування і параметрами поверхневого шару має суттєві недоліки: велика трудомісткість процесу, обмежене число досліджуваних параметрів оброблюваної поверхні. З огляду на вищевикладене нами запропоновано методику моделювання ДПР заготовки з малопластичного матеріалу із застосуванням методу скінченних елементів. Суть запропонованої методики полягає в адаптації та використанні програмного комплексу DEFORM [3] під час дослідження НДС для кожної з ділянок осередку деформації під час моделювання ДПР заготовки з малопластичного матеріалу.

Моделювання ДПР заготовки виконувалося згідно зі схемою, представленою на рис.1. В якості вихідних даних для моделювання обрано геометричні розміри досліджуваного зразка, режими ДПР (швидкість руху деформуючого елемента, кут робочого конуса деформуючого елемента, номінальний натяг на деформуючий елемент). При дослідженні впливу геометрії інструменту на параметри НДС поверхневого шару кут нахилу робочого конуса деформуючого елемента α становив відповідно 2°, 4°, 12°. Властивості досліджуваного матеріалу – сірого чавуну СЧ20 задавали твердістю, коефіцієнтом Пуассона і модулем Юнга. Для підвищення точності розрахунків даних для матеріалу досліджуваного зразка будувалася експериментальна крива стиснення. Графічна реалізація моделювання ДПР показана на рис.2. Більш детально з методикою проведення досліджень можна ознайомитися в роботі [4].

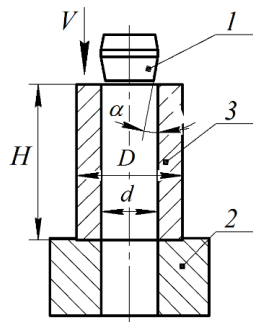


Рис.1. Схема обробки:
1 - деформуючий елемент;
2 - основа; 3 - досліджуваний зразок

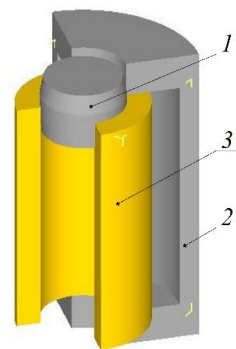


Рис.2. Моделювання ДПР:
1 - деформуючий елемент;
2 - основа; 3 - досліджуваний зразок

Застосування розробленої методики моделювання ДПР з використанням методу скінченних елементів дало змогу розглянути процеси, які відбуваються в осередку деформації, а також зміну параметрів НДС і ресурсу використаної пластичності в позаконтактних і контактних зонах.

Для дослідження всього осередку деформації, включно з позаконтактними зонами та ділянкою контакту, аналіз НДС за глибиною поверхневого шару виконуємо в діапазоні моделювання *Step* 43 ÷ 60. Окремі результати досліджень представлено на рис.3 - 4.

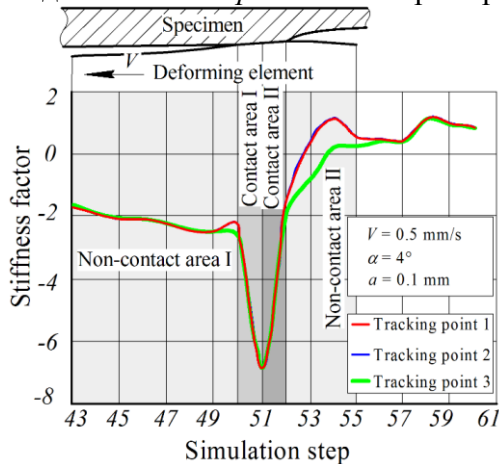


Рис.3. Зміна коефіцієнта жорсткості
напруженого стану η від кроку симуляції *Step*

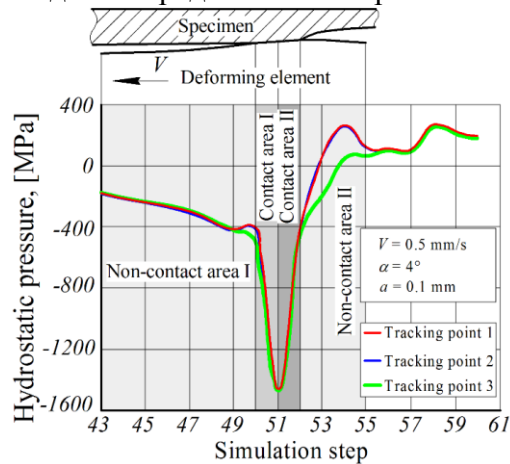


Рис.4. Залежність гідростатичного тиску σ від
кроку симуляції *Step*

Аналіз НДС поверхневого шару в осередку деформації (рис. 3, 4) свідчить про наступне. Показник напруженого стану для позаконтактної зони, розташованої перед ділянкою контакту, згідно з результатами моделювання (рис. 3) $\eta = -1,73$ і дещо збільшується до значення $\eta = -2$ на *Step* 50 (точка початку контактної зони). Ці значення відповідають напруженому стану – стиснення в умовах плоскої деформації та характеризуються наявністю від'ємного значення гідростатичного тиску в межах $\sigma = -400$ МПа (рис. 4), відносно невеликою величиною накопиченої деформації та значенням осевих стискальних напружень, які зростають до кінця зони. Слід зазначити, що значення розглянутих параметрів на цій ділянці практично не залежить від глибини залягання досліджуваних точок.

Дещо інша ситуація спостерігається при переході позаконтактної зони в зону контакту II (*Step* 50). У цьому випадку різко зростають від'ємні значення гідростатичного тиску від значення $\sigma \approx -500$ МПа (*Step* 50) до значення $\sigma \approx -1450$ МПа (*Step* 51) (рис. 4). У свою чергу,

від'ємне значення коефіцієнта жорсткості напруженого стану також зростає до значення $\eta = -7$ (Step 51) (рис. 3). Це свідчить про перехід матеріалу в контактній зоні II у стан потужного об'ємного стиснення.

Під час деформування в контактній зоні III (Step 52) спостерігається різке зниження від'ємного значення гідростатичного тиску від значення $\sigma \approx -1450$ МПа (Step 51) до значення $\sigma \approx -400$ МПа (Step 52) (рис. 4). Подібним чином поводить ся і показник жорсткості напруженого стану, зменшуючи свої від'ємні значення до $\eta = -1$ (Step 52) (рис. 3). Слід звернути увагу, що зміна значень гідростатичного тиску в контактних зонах II і III призводить до нерівномірності розподілу контактних навантажень на загальній площадці контакту інструменту з виробом. Як показали результати моделювання, найвище значення контактного тиску спостерігається на початку контактної зони II, а потім його величина монотонно зменшується до свого мінімуму, що відповідає межі переходу контактної зони III у позаконтактну зону.

За ділянкою контакту відбувається різке зменшення від'ємного значення гідростатичного тиску σ . Більш того, зменшуючи своє від'ємне значення, гідростатичний тиск стає позитивним до значення $\sigma = 220$ МПа для точок P1 і P2 і починає впливати на значення σ глибина залягання точок, наприклад, для точки P3 $\sigma = 100$ МПа (рис. 4). Це свідчить про наявність на цій ділянці зони локального пластичного деформування, що також доведено в [5].

Таким чином, виконаний аналіз НДС і ресурсу використаної пластичності під час ДПР виробу з чавуну дав змогу вивчити механіку деформування в осередку деформації. Встановлено, що основне вичерпання ресурсу пластичності відбувається у II позаконтактній зоні, де матеріал зі стану потужного об'ємного стиснення в зоні контакту переходить до менш інтенсивного стиснення. Поява градієнта зміни напруження на границях розділу ділянки контакту та позаконтактної зони за ним, спричиняє зміну знака напружень. Це зі свого боку призводить до появи осьових розтягувальних напружень, що різко збільшує накопичення мікрODEфектів у позаконтактній зоні і, як наслідок цього, відбувається вичерпання ресурсу пластичності.

Список використаних джерел

1. Посвятенко Е.К. Інженерія деталей, оброблених протягуванням: монографія/ Е.К. Посвятенко, Я.Б. Немировський, С.Е. Шейкін, І.В. Шепеленко, О.В. Чернявський. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 466 с.
2. Посвятенко Е.К. Механіка комбінованого протягування графітовмісних чавунів. монографія / Е.К. Посвятенко, Я.Б. Немировський, О.В. Чернявський, П.М. Єрьомін. Кропивницький, 2017. – 286 с
3. DEFORM. Deform-User Manual. Scientific Forming Technologies Corporation. (2011).
4. Nemyrovskiy, Y.; Shepelenko, I.; Storchak, M. Plasticity Resource of Cast Iron at Deforming Broaching. Metals 2023, 13, 551. <https://doi.org/10.3390/met13030551>.
5. Шепеленко І.В. Наукові основи технології нанесення антифрикційних покриттів з використанням пластичного деформування: Автореф. дис....д-ра техн. наук: 05.02.08 / НТУУ „КПІ ім. І. Сікорського ”. – К., 2021. – 43 с.

БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНА МІНІКАРТОПЛЕПОСАДОЧНА МАШИНА

Б.О. Блащак, асп.,

А.В. Бабій, проф., д-р техн. наук

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

Картоплярство в Україні повинно розвиватися більш ефективно. Маючи найбільші питомі площі чорноземів у світі, недоцільно імпортувати такий продукт як картопля з країн-сусідів. Цей факт свідчить тільки про те, що у нашій країні культура виробництва картоплі ще недостатньо є розвинутою, особливо це стосується малих фермерських чи підсобних господарств, де виробляється значна частка цього продукту.

Виходом із цієї ситуації є механізація кожної з технологічних операцій при виробництві картоплі.

При підготовленому ґрунті першою операцією є посадка картоплі. Від якості її виконання напряму залежить кінцевий результат – урожайність картоплі.

Якщо мова йде про невеликі господарства, то тут доречним є використання мінітехніки, в тому числі і мінісаджалок, які приводяться в дію від коліс чи ВВП енергозасобу, що їх агрегатує.

Аналізуючи пропозицію на ринку таких машин, можна бачити багато конструктивних рішень, які виявляють свою ефективність за рядом критеріїв. Проте, важко знайти таку конструкцію картоплесаджалки, яка б дозволяла посадку виконувати насінням різних розмірів, пророслою картоплею, а також одночасно вносити добрива, синхронно проводити обробку посадкового матеріалу тощо. Тобто, хоча і розглядається мінісаджалка, але вона повинна бути мультифункціональною. Із-за такого підходу до розробки машини це суттєво збільшить її конкурентоспроможність на ринку серед аналогів.

Досягнути таких технологічних та конструкторських рішень можна за рахунок того, що картоплепосадочний апарат виконати у вигляді котушки, яка має змінний об'єм робочих жолобків, що дозволить захоплювати заданий об'єм насіння. Крім того, для відокремлення маси насіння картоплі в жолобках котушки від решту об'єму варто використовувати вібраційний відбивач-дозатор. Що стосується передпосівної обробки насіння, то цю технологічну операцію можна сумістити з дозуванням насіння, розпилюючи в кожний жолобок задану кількість засобу захисту. За інших умов – це може бути рідке добриво тощо.

Якщо товаровиробника забезпечити такою картоплесаджалкою, що матиме задекларовані функціональні можливості та доступну ціну, то процес посадки цієї культури значно спроститься, а тим більше це дозволить сумістити кілька технологічних операцій, які цьому передували. Все це розвиватиме та покращуватиме культуру виробництва та якість даного продукту.

Список використаних джерел

1. Бабій А.В., Головецький І.В., Герасимович П.В. Проблеми та перспективи розвитку картоплярства в Україні. Збірник тез доповідей X-ої Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“. Тернопіль, 2021. ФОП Паляниця В.А. Т.1. С. 25-26.
2. Блащак Б.О., Бабій А.В. Дослідження ефективності роботи картоплепосадочних апаратів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики». Тернопіль 29-30 вересня 2022. С.68-69.
3. Войтюк Д.Г., Яцун С.С., Довжик М.Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навчальний посібник / За ред. Д.Г. Войтюка. Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. 543 с.
4. Рибак Т.І., Бабій А.В., Халілов Р.Е. Аналіз експлуатаційних можливостей машин для збирання картоплі. Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві. Вісник ХНТУСГ, Вип. 108. Харків, 2011. С. 77-81.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ РУХУ

М.В. Бабій¹, доц., канд. техн. наук,

В.А. Бабій², студент

А.О. Мартинчук¹, студент

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

²Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

За останні десятиліття значно зросла кількість автомобілів на дорогах, що призвело до збільшення порушень правил дорожнього руху та кількості аварій. Щоб забезпечити безпеку на дорозі та зменшити кількість ДТП, були розроблені інтелектуальні системи безпеки руху. Розглянемо особливості інтелектуальної системи безпеки руху, її складові та принципи роботи.

Інтелектуальна система безпеки руху (ІСБР) – це комплекс програмних та апаратних засобів, що забезпечує автоматизоване виявлення та попередження можливих порушень правил дорожнього руху та аварійних ситуацій на дорозі. До складових ІСБР можна віднести системи моніторингу, аналізу даних та прийняття рішень.

Система моніторингу включає в себе різноманітні датчики, що збирають інформацію про рух автомобілів, таку як швидкість, прискорення, відстань між автомобілями тощо. Інформація з датчиків передається до системи аналізу даних. Дана система використовує різні алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту для аналізу даних з датчиків та виявлення порушень правил дорожнього руху та аварійних ситуацій. Наприклад, система може виявляти перевищення швидкості, рух у забороненому напрямку, порушення дистанції між автомобілями тощо.

Система прийняття рішень включає в себе алгоритми, що дозволяють здійснювати дії для попередження можливих порушень правил дорожнього руху та аварій. Наприклад, система може відправляти водієві попередження про порушення правил дорожнього руху, вказувати на величину перевищення швидкості, про порушення напрямків руху тощо. Також для сучасних автоматизованих автомобілів, які мають відповідні пристрої, система може автоматично зменшувати швидкість, якщо виникає небезпека аварії.

Одним з прикладів інтелектуальних систем безпеки руху є системи допомоги при керуванні, які забезпечують додаткову інформацію для водіїв про рух автомобілів поблизу та рекомендації щодо безпечного руху. Наприклад, система може надавати водієві інформацію про швидкість та відстань до автомобіля, який знаходиться перед ним, щоб допомогти водієві зберегти безпечну дистанцію.

Інтелектуальні системи безпеки руху є важливим елементом підвищення безпеки на дорозі. Вони забезпечують автоматизоване виявлення та попередження можливих порушень правил дорожнього руху та аварійних ситуацій на дорозі. Такі системи динамічно розвиваються, а при використанні більш досконалих систем штучного інтелекту, їх ефективність багатократно зростає. Тому обраний напрямок наукового дослідження є дуже актуальним. А найважливішим є те, що такі системи покликані для підвищення безпеки руху на дорозі, а отже і збереження життя та здоров'я людей, їх майна.

РІШЕННЯ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ РОБОТИ КАРТОПЛЕКОПАЧА

**А.В. Бабій, проф., д-р техн. наук,
І.В. Головецький, асп.**

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

Картопля – це стратегічний продукт, що має важливе значення для економіки та харчової безпеки України. Тому картоплярство є однією з пріоритетних галузей сільського господарства в нашій країні та Європі.

Проте, сам процес виробництва картоплі є досить трудомістким та енергоємним, особливо, що стосується технологічних операцій посадки та збирання. Кожна з них передбачає контакт робочого органу з ґрунтовим середовищем. Виконуючи збиральну операцію, маємо процес, що пов'язаний з підрізанням бульбоносного пласта та наступною його сепарацією. Тут часто можна спостерігати, що для малогабаритних копачів спостерігається недолік у значному присипанні плодів картоплі ґрунтом. Це пов'язано з недосконалістю сепарувально-транспортуючої системи копача через значне спрощення конструкції. Саме така постановка проблеми є найбільш поширеною та розвивається в літературних джерелах. Якщо на цей процес подивитись під іншим кутом, то можна констатувати, що бульбоносний пласт на сепарувально-транспортуючі робочі органи подається недостатньо «підготовленим». Це означає, що ефективність сепарації в значній мірі залежить від кришення бульбоносного пласта підкопуючим лемешем. Особливо це «відчутно» на важких ґрунтах.

Процес сепарації значно можна спростити за рахунок обертання бульбоносного пласта приблизно на 180^0 . За таких умов він точно буде розкришеним, що полегшить просіювання ґрунтових грудок, а також плоди-картоплини будуть «відкритими» та знаходитимуться зверху ґрунтового шару. Тому, якщо навіть припустити, що надалі жодної сепарації ґрунту не відбулося, то плоди, перебуваючи у перевернутому пласті зверху, будуть відкритими та готовими до підбирання. Це перший позитивний ефект, який можна відзначити при використанні лемеша, що при підрізанні бульбоносного пласта ґрунту повинен його обертати. Крім того, конструктивну схему картоплекопача пропонується обладнати спеціальним барабаном, який своїми лопатями повинен ґрунтово-картопляну масу, що сходить з лемеша, відбирати та спрямовувати порціями на подальший сепаруючо-транспортуючий орган картоплекопача. За таких умов, якщо картоплини будуть знаходитися у верхньому шарі перевернутого бульбоносного пласта, то при дії лопатей барабана одночасно на них та ґрунт, опір на переміщення картоплин від ґрунту буде мінімальним і тут дуже ефективним є принцип розсіювання траєкторій при їх вільному польоті. Причому, спеціальний барабан розміщується в поздовжній площині за напрямком руху агрегату, що не збільшує габарити картоплекопача.

Таким чином, запропонована ідея використання лемеша, який при підрізанні бульбоносного пласта ґрунту повинен його обертати, та у поєднанні з спеціальним барабаном значно підвищить ефективність сепарації при використанні картоплекопача.

Список використаних джерел

1. Бабій А.В., Головецький І.В., Герасимович П.В. Проблеми та перспективи розвитку картоплярства в Україні. Збірник тез доповідей Х-ої Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“. Тернопіль, 2021. ФОП Паляниця В.А. Т.1. С. 25-26.
2. Головецький І.В., Бабій А.В. Аналіз типу приводу робочих органів картоплекопача. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції „Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем“, 13-15 квітня 2022 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. С.100-102.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН ПРИ ВИКОРИСТАННІ МІНІОБПРИСКУВАЧІВ

**А.В. Бабій, доц., д-р техн. наук,
Б.Б. Левицький, асп.**

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

Захист сільськогосподарських культур – проблематика, яка актуальна як для невеликих господарств, так і для потужних агрохолдингів.

У малих фермерських господарствах застосування хімічних засобів захисту рослин може бути ще більш важливим, оскільки такі господарства зазвичай мають менші ресурси та менші виробничі площі, що може призводити до більшої вразливості їхніх рослин до шкідників та хвороб. Хімічні засоби захисту рослин можуть допомогти зменшити втрати врожаю, зберегти якість та кількість продукції, а також забезпечити безпеку харчових продуктів, що виробляються у малих господарствах.

Засоби малої механізації є важливою складовою хімічного захисту рослин від шкідників та хвороб. Вони допомагають ефективно та швидко внести хімічний засіб захисту на рослину, зменшуючи втрати та економлячи час.

Основні засоби малої механізації при хімічному захисті рослин є ранцеві обприскувачі. Вони прості та дешеві. Це насосні пристрої, які використовуються для розпилення рідких хімічних засобів захисту на невеликі ділянки. Вони зазвичай мають об'єм 1-20 літрів та можуть бути змонтовані на спині користувача, потребують затрат фізичної праці.

Крім ранцевих обприскувачів, промисловість випускає і іншого типу мініобприскувачі – навісні, причіпні тощо. Кожен з них має свої особливості, переваги та недоліки.

Перспективними є самохідні мініобприскувачі, які позиціонуються як автономні машини, що можуть рухатися по полю та розпилювати засіб захисту. Вони забезпечують більшу ефективність та продуктивність за рахунок полегшеного чи автоматичного управління або навіть використання навігації.

Навісні та причіпні мініобприскувачі приєднуються до трактора або іншої сільськогосподарської техніки та застосовуються для розпилення засобу захисту в процесі обробки полів. Їх використання обтяжене необхідністю наявності енергетичних засобів, кліренс та ширина колії, яких не завжди дозволяють виконати хімічний захист рослин у певній фазі біологічного розвитку рослин.

У загальному, мініобприскувачі є важливим засобом для хімічного захисту рослин, які забезпечують зниження втрат урожаю та підвищення його якості.

Якщо зосередити свою увагу на самохідних мініобприскувачах, то ці машини, зазвичай, мають малий розмір і легко маневрують в міжряддях рослин. Вони також можуть бути оснащені спеціальними системами навігації, що дозволяє автоматично керувати їх рухом по полю.

Самохідні мініобприскувачі на електричному ході – це модернізована версія засобів механізації для хімічного захисту рослин. Їхній привід здійснюється за допомогою електричного двигуна. Основними перевагами таких машин є:

- екологічність – вони не виробляють шкідливих викидів та забруднень для атмосфери, що робить їх більш екологічною альтернативою засобів на паливі;
- економія палива із-за використання електричного приводу;
- зниження загальних витрат на обслуговування;
- зменшення рівня шуму, оскільки електричні мініобприскувачі працюють більш тихо,

ніж машини з двигунами внутрішнього згоряння, що забезпечує зниження рівня шуму на полі;

- висока продуктивність – самохідні мініобприскувачі на електричному приводі дозволяють збільшити продуктивність роботи, оскільки вони можуть бути оснащені системами автоматичного управління та навігації;

- висока ефективність щодо розподілу засобів захисту, оскільки вони можуть точно контролювати об'єм та швидкість нанесення засобу на поверхню рослин.

Система керування електричного самохідного мініобприскувача зазвичай складається з різних компонентів, що взаємодіють між собою для забезпечення ефективної роботи машини. Основними компонентами системи керування є:

- електронний блок керування – це головний компонент системи, який відповідає за керування роботою всіх інших компонентів. Він зчитує дані з сенсорів та інших джерел, аналізує їх та видає відповідні команди компонентам системи;

- система енергоживлення – забезпечує електричний струм для роботи всіх електричних компонентів машини, включаючи двигун, гідросистему та інші елементи;

- система керування ходовою частиною – відповідає за керування рухом самохідного міні обприскувача;

- система керування обробкою – це компонент, що відповідає за керування роботою оприскувача, включаючи вмикання та вимикання, регулювання швидкості обертання насоса, регулювання тиску в системі та інші функції.

- система безпеки – відповідає за забезпечення безпеки при експлуатації самохідного мініобприскувача. Вона може включати в себе компоненти, такі як система аварійного вимикання, система захисту від перевантаження, система вимірювання рівня рідини в баку та інші.

Узагальнюючи, система керування електричного самохідного мініобприскувача є дуже складною технічною системою, яка включає в себе різні компоненти. Взаємодія між компонентами забезпечує ефективну роботу машини та забезпечує безпеку при її експлуатації.

Таким чином, використання самохідних мініобприскувачів, а особливо на електричному ходу, дозволить значно підвищити ефективність хімічного захисту рослин у невеликих фермерських господарствах та сприятиме покращенню культури землеробства.

Список використаних джерел

1. Babii A. Study of the efficiency of working mixture application in chemical crop protection. *Scientific Journal of TNTU*. Tern. : TNTU, 2020. Vol. 98. No. 2. P. 99–109.
2. Бабій А., Бабій М. Дослідження міцності елементів конструкції функціонально-транспортуючих мобільних засобів. *Науковий журнал «Інженерія природокористування»*, 2019. №3 (13) С. 87–91.
3. Бабій А.В. Аналіз параметрів штангового обприскувача з метою збільшення його продуктивності. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine, 2019. Vol. 10. No 4. P. 51–55.
4. Бабій А.В. Дослідження впливу горизонтальних коливань штанги на рівномірність обприскування. *Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників*. Умань: ВПЦ «Візаві», 2020. С.121-123.
5. Бабій А.В., Дзюра В.О., Головецький І.В. Дослідження впливу вертикальних коливань штанги обприскувача на рівномірність обприскування. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36)_І. С. 216-226.
6. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Дослідження опору переміщенню обприскувача. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems"*, 13-15 квітня 2022 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. С.106-107.
7. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Концептуальні рішення для проектування малогабаритного обприскувача. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики»*. Тернопіль 29-30 вересня 2022. С.51-52.

SUMMARY OF PRINCIPLES OF EFFICIENCY OF COMBINED ROAD AND RAILWAY TRANSPORTATION

V.V. Aulin, *Prof., Dr. Tech. of science,*
S.V. Lysenko, *associate prof., Ph.D. technical of science,*
A.V. Hrynkiv, *st. researcher, Ph.D. technical of science*
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine,
Warouma Arifa, *associate prof., Ph.D. technical of science,*
Department of Rural Engineering and Water and Forestry, Dan Diko Dankoulodo University,
Maradi BP 465, Niger

is shown that the reduction of transport costs can be achieved through the use of modern transport technologies, reorganization of transport infrastructure and integration of transport systems. The main tool in this process is the use of several modes of transport for the delivery of goods and the effective interaction of modes of transport based on the development of mixed transportation.

Generalized principles of mixed combined transportation as part of international transport corridors have been developed.

The general principles of interaction of different types of transport are formulated:

- the principle of complexity – a close relationship between all transport industries with the aim of using their potential as fully as possible;
- the principle of systemicity – a certain structure of relations that has developed between all elements of the transport system;
- the principle of continuity – ensuring constant and uninterrupted satisfaction of the needs of the economy and the population of the regions in the transportation of goods and passengers;
- the principle of profitability – ensuring that transport enterprises obtain the maximum economic effect for the work performed;
- the principle of social orientation – provision of all the needs of the population, which will contribute to raising the level and quality of life of the population;
- the principle of efficiency of transport flows – formation and ensuring the functioning of optimal transport links during the efficient operation of the transport system;
- the principle of technical–technological compatibility of different types of transport – ensuring transshipment of cargo and transfer of passengers from one type of transport to another with minimal expenditure of material resources and time;
- the principle of transport and environmental safety – ensuring the interaction of various types of transport that is safe for the environment and people.

According to the European Agreement on Combined Transport, the main special principles of interaction between road and rail transport are:

- the principle of cargo transportation in one and the same transport unit (for example, in a container, semi-trailer) using two or more types of transport;
- the principle of technical compatibility of road and rail transport using the network of the most important international combined transports;
- the principle of combined operation of the most important infrastructure facilities (terminals, border points, stations for exchanging groups of wagons, stations for changing wheelsets, railway and ferry crossings, ports) in combination with a network of railway lines.

The target function of the operation of various types of transport is the continuity of the transportation process along the entire path of following passengers from "house to house" and goods "from door to door", then in the modern competitive environment, to this criterion of the functioning and interaction of various types of transport, it is necessary to add the criterion of achieving optimal cargo delivery time and minimum logistics costs.

The principle position in the expansion of the road and rail transport market is the improvement of the terminal infrastructure and the creation of transport and logistics centers. World practice defines several models of transport logistics terminals. According to the concept, a single operator in a certain territory carries out the necessary transport activity, combining it with logistics and transportation of both transport-import and transit goods.

The transport process in combined transportation consists of sequential delivery of cargo by various modes of transport and intermediate unloading or overloading (fig. 1).

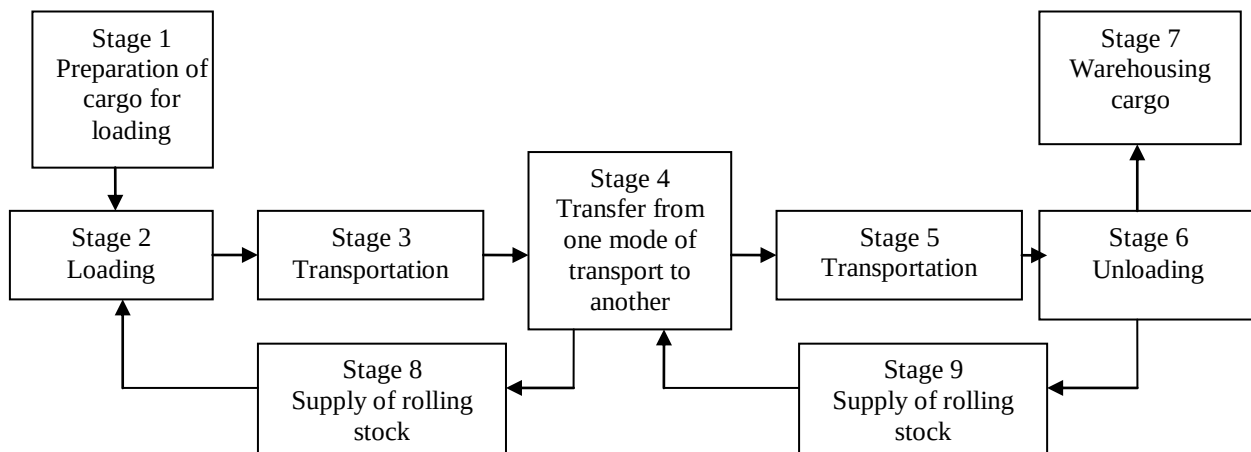


Figure 1 – Technological diagram of stages of cargo delivery using several types of transport

At the same time, transshipment points are of great importance, in which not only loading and unloading operations from one type of transport to another, but also other functions will be performed. Such transshipment points are transport and logistics centers.

The transport and logistics center coordinates the use of various types of transport, carries out loading and unloading operations and transshipment of goods, provides short- and long-term storage of goods, cargo processing, fulfillment of necessary customs procedures, stock inventory, forwarding and forwarding of goods, provides a full range of service and commercial and business services, including banking, information, consulting and analytical services, a full complex of ensuring the delivery of goods to the client using modern technologies.

The transport and logistics center is located on the main channels of goods traffic, and on the one hand, it is a place of concentration of cargo flows and their distribution, and on the other hand, it performs important functions of the transport and logistics service. International and regional transport and logistics centers represent functional elements of the macro-level transport and logistics system, and are one of the links between suppliers and consumers.

They are also docking points where cargo flows are concentrated and distributed. The advantages of transport and logistics centers: their accessibility for customers and the provision of a wide range of transport and forwarding and service services for cargo delivery, as well as in the organization of an effective system of long-distance cargo transportation, using intermodal technologies.

The main task of transport and logistics centers is to expand the range of transport and logistics services and reduce their cost as a result of concentration. At the same time, the overall final result is more important than the sum of its components, which determines the expediency of creating joint ventures on a corporate basis. The creation of a transport and logistics center is a progressive direction in the development of transport and logistics infrastructure. Transport and logistics centers are logistic transport hubs that connect remote regions and support integrated management of material flows. They should not only be an integral part of the state (regional) transport and logistics system, but also play a leading role in the formation of transport infrastructure and the rationalization of the entire system of cargo and goods traffic.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF FILLERS ON SOME PROPERTIES OF CARBON PLASTICS BASED ON PA-6

O. Derkach¹, *PhD*,
D. Makarenko¹, *PhD*,
O. Kabat¹, *Prof. DSc*,
Ye. Muranov¹, *Eng*,
B. Piskin², *Assist. Prof*,

¹*Dnipro State Agrarian and Economic University*

²*Duzce University, Turkey*

Formulation of the problem. In the field of mechanical engineering and industrial production, polymer composite materials (PCM) have become widely used. They are used as structural materials, in agricultural machines, trucks, machinery and industrial equipment. Scientifically based application of PCM parts allows to reduce their wear and change the mode of operation, and to increase the reliability of machines. In addition, several fillers can be used in one matrix for various operating modes, adapting their characteristics by the percentage content of the latter.

PCM creation and production technologies allow to obtain new materials with programmed properties. However, Ukraine does not have its own modern industrial production of structural plastics. The majority of parts from PCM, which are implemented in the design of tribo couplings of domestic agricultural machinery or equipment, are of foreign production. Therefore, the main problem of domestic manufacturers of equipment, under such conditions, is the uninterrupted provision of production with imported raw materials. Therefore, in order to increase the technical level of domestic equipment and the economic safety of production, it is necessary to increase the import substitution of structural materials, in particular structural plastics. Perhaps in this area it is necessary to create cooperation between scientific institutions, educational institutions and production enterprises of Turkey and Ukraine. This is a promising direction in the world.

The purpose of the work is to study the effect of fillers on the physical and mechanical characteristics and tribological properties of PCM based on polyamide 6.

Research equipment and methods.

Carbon fiber (CF), graphite and PMS-400 oil were used as fillers.

The introduction of CF, graphite and ПМС-400 lubricant into the structure of polyamide 6 was carried out on a two-component extruder ЕКГ-45. The concentration of fillers and conventional designations of the obtained PCM are given in table. 1.

Table 1 – Conventional designations of PCM and the ratio of components in them

№	Conventional designation PKM	Вміст компонентів, мас. %			
		Polyamid-6	Carbon Fiber	Lubricant ПМС-400	Graphite powder
1	УПА-6-10	90	10	-	-
2	УПА-6-15	85	15	-	-
3	УПА-6-20	80	20	-	-
4	УПА-6-20+1,5ПМС	78,5	20	1,5	-
5	УПА-6-20+5ГР	75	20	-	5

Study of physical and mechanical characteristics. Compressive strength tests were performed on the FP-100/1 testing machine according to GOST 4651-82.

Test modes:

- load scale – 20 kN;
- traverse speed 0.208 mm/min;
- speed of movement of chart paper – 60 mm/min.

The impact toughness was determined on the KM-0.4 pendular copra by the Charpy method according to GOST 4647-80 at a temperature of 23 ± 2 °C and a relative humidity of $50 \pm 5\%$.

Samples were tested for abrasion resistance according to GOST 23.208-79 on prepared laboratory equipment based on the CMIQ-2 friction machine. The density ρ of the studied samples from PCM was determined by the method of hydrostatic weighing according to GOST 15139-69.

Presenting main material. The results of studies of the effect of fillers on the yield stress of the obtained PCM are shown in Fig. 1.

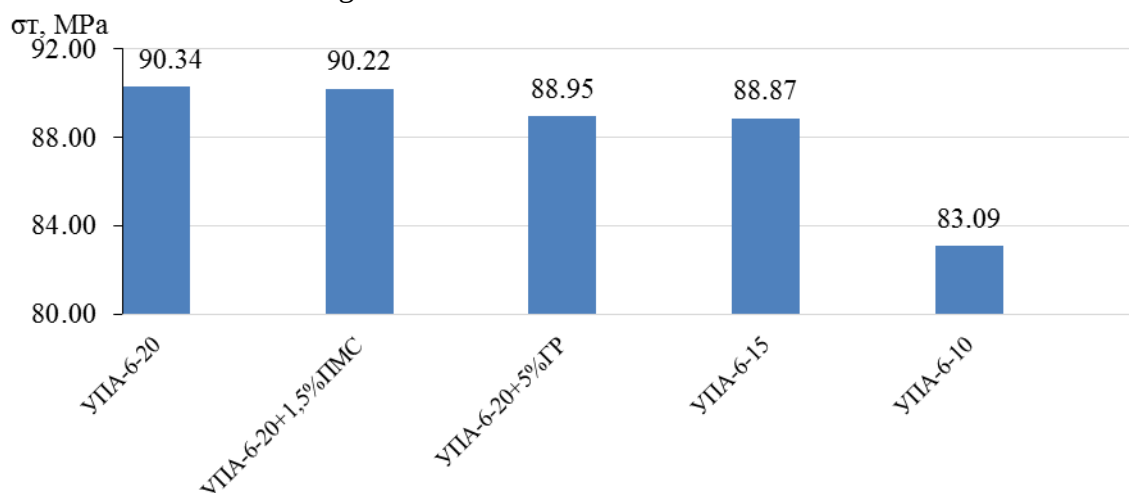


Figure 1 – Dependence of the yield stress of PCM, based on polyamide-6, on the concentration of fillers

It was established (Fig. 1) that the yield stress of the obtained PCM, under the condition of the CF concentration of 15 wt. % and 20 wt. %, differs slightly. A more significant decrease of the investigated indicator by 8%, compared to the filling of 20 wt. %, fixed under the condition of introducing CF of 10 wt. %. This is due to the insufficient amount of filler (CF) to create a sustainable reinforcement effect.

The effect of the concentration of fillers on the impact toughness of the obtained PCM is shown in Fig. 2.

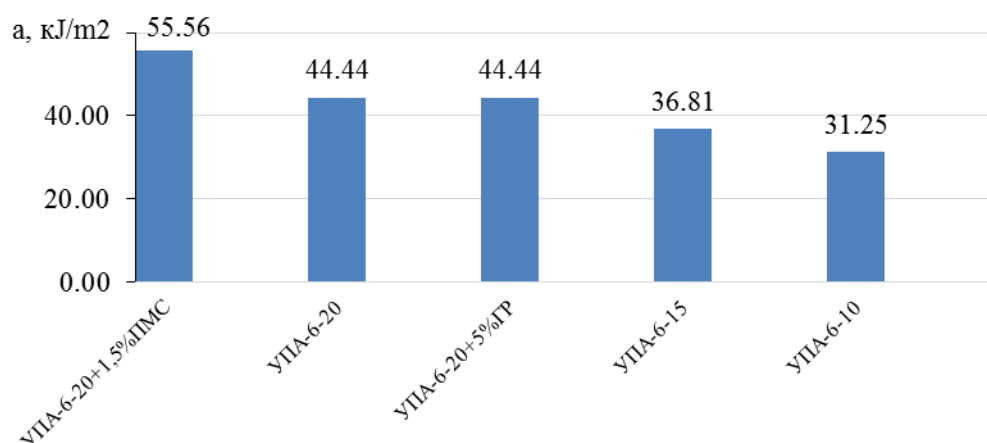


Figure 2 – Dependence of the impact viscosity of PCM, based on polyamide-6, on the content of fillers

The obtained results (Fig. 2) indicate that with an increase in the concentration of CF in the polyamide 6 matrix, the impact toughness of PCM increases. This is due to the effect of reinforcing the CF polymer matrix, which has significantly higher strength characteristics. A sharp increase in impact viscosity when PMS-400 lubricant is introduced into the structure of the matrix is associated with the removal of stress concentrators of the material during its cooling.

The results of the study of the abrasive wear resistance of the obtained PCM are shown in Table 2.

Table 2 – Results of PCM abrasive wear resistance investigations

Conventional designation PKM	The amount of average weight wear, g	Density, kg/m ³	The number of rotations of the roller, units.	Relative abrasive wear resistance
YIIA-6-15	0,0867	1196,9	300	1
YIIA-6-20	0,1161	1216,7		0,759
YIIA-6-10	0,1196	1180,6		0,715
YIIA-6-20+5ГР	0,1407	1237,3		0,637
YIIA-6-20+1,5ИМС	0,1560	1227,0		0,570

The results (Table 2) show that the amount of CF in the PCM structure has the greatest influence on the value of the relative abrasive wear resistance. This is due to the significantly higher physical and mechanical characteristics of CF, in comparison with the matrix of the polymer material - polyamide 6. The highest abrasive wear resistance, under the specified friction modes, was recorded in PCM YIIA-6-15. Other PCMs have much less abrasive resistance. The decrease in the abrasive resistance of PCM YIIA-6-20, in comparison with YIIA-6-15, may be associated with the formation of CF locules in the matrix when its concentration is increased. It is known that CFs are capable of agglomeration. The introduction of graphite also leads to a decrease in the studied indicator, which is due to the delamination of the PCM structure. It should be noted that CF with an initial length of 3 mm are partially crushed in the process of mixing them with discs in the extruder, and partially when grinding the strands into granules. Thus, the choice of PCM, based on polyamide-6 and the proposed fillers, should first of all provide strength characteristics, and only then indicators of wear resistance of materials.

Conclusions. It was established that the introduction of 1.5 wt. % ИМС in YIIA-6-20 provides an increase in impact viscosity by 25.1%. At the same time, this composite does not have high abrasion resistance. In movable joints, where it is necessary to ensure the abrasive resistance of the parts, it is advisable to use YIIA-6-15 carbon fiber.

It is also shown that YIIA-6-20 carbon fiber plastics have optimally high values of the studied parameters. The introduction of graphite into the structure of these carbon plastics does not contribute to the improvement of the studied characteristics.

ЗМІСТ

		Стор.
1	РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ СИСТЕМИ РУЛЬОВОГО УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ <i>В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, Д.В. Голуб, доц., канд. техн. наук, А.С. Замуренко, асп.....</i>	9
2	ОГЛЯД МЕТОДІВ ЗМІЦНЕННЯ ПОСАДОЧНИХ ПОВЕРХОНЬ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ <i>М.В. Красота, доц., канд. техн. наук, Р.А. Осін, доц., канд. техн. наук.....</i>	12
3	METHODS OF MANUFACTURING TECHNOLOGIES FOR FINNED SURFACES OF HEAT EXCHANGERS <i>R. Grechukhin, group student, O. Stovpnyk, assoc., cand. tech. sciences.....</i>	15
4	МОДЕЛЬ ОБГОНУ АВТОМОБІЛЕМ НА ПРЯМІЙ ТРАСІ <i>Р.М. Рогатинський, проф., д-р техн. наук, О.Л. Ляшук, проф., д-р техн. наук, І.Б. Гевко, проф., д-р техн. наук, Р.В. Хорошун, асп., А.О. Брикса.....</i>	17
5	ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ ЛАП КУЛЬТИВАТОРІВ <i>М.О. Василенко, зав. відділу, канд. техн. наук, с.н.с., Д.О. Буслаєв, старш. наук. співроб., канд. техн. наук, О.Є. Калінін, старш. наук. співроб., канд. техн. наук, Ю.А. Кононогов, провідн. інж.....</i>	21
6	ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ СОШНИКІВ СІВАЛОК <i>М.О. Василенко, зав. відділу, канд. техн. наук, с.н.с., Д.О. Буслаєв, старш. наук. співроб., канд. техн. наук, О.Є. Калінін, старш. наук. співроб., канд. техн. наук, Ю.А. Кононогов, провідн. інж.....</i>	22
7	МЕХАНОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ ФОРМУВАННЯ ВТОРИННИХ СТРУКТУР НА ПОВЕРХНЯХ ТЕРТЯ <i>М.І. Денисенко, доц., канд. техн. наук.....</i>	24
8	ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ТА ТЕХНІЧНОГО РЕСУРСУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ І НАДІЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ <i>М.І. Денисенко, доц., канд. техн. наук.....</i>	27
9	ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ <i>О.Ю. Рудик, доц., канд. техн. наук, Я.М. Михайлюк, магістрант. гр. МТВАм-22-1, О.В. Решетник, магістрант.....</i>	30
10	АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ НАДАННЯ ПОСЛУГ ГРОМАДСЬКИМ ПАСАЖИРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ <i>А.В. Олексюк, ст. гр. МНс-51, В.П. Олексюк, доц., канд. техн. наук.....</i>	32
11	ТРАНСПОРТЕР З БЛОКОМ НАДВИСОКИХ ЧАСТОТ ДЛЯ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ, СУШІННЯ ТА ОБРОБЛЕННЯ ВІД ШКІДНИКІВ І ГРИБКІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТА ІНШИХ МАТЕРІАЛІВ <i>І.Б. Гевко, проф., д-р техн. наук, А.С. Марценюк, ст. викладач, В.Л. Дунець, канд. техн. наук, Ю.Б. Паляниця, канд. техн. наук, В.М. Бучинський, ст., А.О. Брикса.....</i>	33
12	СУШИЛЬНА КАМЕРА З МІКРОХВИЛЬОВИМИ ОБ'ЄМНИМИ НАГРІВАЧАМИ <i>І.Б. Гевко, проф., д-р техн. наук, А.С. Марценюк, ст. викладач, В.Л. Дунець, канд. техн. наук, Ю.Б. Паляниця, канд. техн. наук, В.М. Бучинський, ст., А.О. Брикса.....</i>	35
13	ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАСТИЧНОСТІ КАРКАСУ КУЗОВА АВТОБУСА ПРИ ФРОНТАЛЬНОМУ УДАРІ <i>К.Е. Голенко, викл., канд. техн. наук, Ю.І. Войчишин, асп., О.П. Бабак, доц., канд. техн. наук, С.Ф. Посонський, доц., канд. техн. наук.....</i>	37

14	АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ	
	<i>Н.В. Лавренчук, студент магістратури, О.О. Банний, доц., канд. техн. наук.....</i>	40
15	МЕХАНІКА РУЙНУВАННЯ ДЕФОРМОВАНОЇ СТАЛІ ПРИ ЗНОШУВАННІ ТЕРТЯМ КОВЗАННЯ ОБ МОНОЛІТ АБРАЗИВУ	
	<i>В.І. Дворук, проф., д-р. техн. наук, І.О. Бучко, асп., М.О. Кіриєнко, асп.....</i>	43
16	FORMATION OF MACHINE TIME BETWEEN THE MOMENTS OF REQUIREMENTS OF GRAIN HARVESTERS COMBINE	
	<i>I.M. Nichay, post graduate student.....</i>	47
17	ENTROPY MODELING OF STOCHASTIC SYSTEMS OF SMART TECHNOLOGIES FOR GRAIN HARVESTERS COMBINE	
	<i>O.V. Velgas, post graduate student.....</i>	49
18	SYSTEM OF ENGINEERING MANAGEMENT OF TECHNICAL OPERATION OF SELF-PROPELLED BEET HARVESTERS	
	<i>M.V. Kobernik, post graduate student.....</i>	52
19	MODEL OF DETERMINING THE POSITIONS OF MINIMIZING GROUP CONNECTIONS OF COMPLEX SYSTEM OF RESTORATION OF WORKING CAPACITY OF AGRICULTURAL MACHINERY	
	<i>I.L. Rogovskii, DS, Professor.....</i>	55
20	ПОКАЗНИКИ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ТА ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ	
	<i>Д.С. Погорлецький, доц., канд. техн. наук, І.В. Грицук, проф., д-р техн. наук, І.В. Худяков, доц., канд. техн. наук.....</i>	58
21	INCREASING THE EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL SUPPORT FOR TRANSPORT OPERATIONS	
	<i>R.V. Khudobei, graduate student, S.A. Bakan, st., Yu. Ya. Vovk, associate professor, candidate technical science.....</i>	62
22	КОНЦЕПЦІЯ ФІЗИЧНОГО ІНТЕРНЕТУ ДЛЯ СПІЛЬНОЇ ДИСТРИБУЦІЇ ТАРНО-ШТУЧНОГО ВАНТАЖУ	
	<i>О. Hriekova, PhD student, assistant, A. Galkin, Prof., Dr. Tech. of science.....</i>	64
23	ВПЛИВ СТУПЕНЯ РОЗРІДЖЕННЯ У ВАКУУМНІЙ КАМЕРІ ПНЕВМОМЕХАНІЧНОГО ВИСІВНОГО АПАРАТА НА ПРОПУСКИ ПРИ ВИСІВІ НАСІННЯ ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР	
	<i>П.С. Попик, доц., канд. техн. наук.....</i>	66
24	МОНІТОРИНГ СТАНУ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ СКЛАДНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ	
	<i>А. В. Новицький, доц., канд. техн. наук.....</i>	68
25	ВПЛИВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА ТЕХНІЧНИЙ СТАН І НАДІЙНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ	
	<i>А. В. Новицький, доц., канд. техн. наук, О. М. Бистрий, старший викладач.....</i>	71
26	АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАМОВЛЕНЬ СКЛАДСЬКОЮ СИСТЕМОЮ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА	
	<i>Д.О. Каменєв, ст., О.В. Павленко, доц., канд. техн. наук.....</i>	74
27	АНАЛІЗ СУЧАСНИХ РОЗРОБОК ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ ПОСТАЧАННЯ ПРОДУКЦІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ НА МАРШРУТАХ УКРАЇНА – ЄС	
	<i>О.В. Павленко, доц., канд. техн. наук.....</i>	77
28	ВИЗНАЧЕННЯ ПРОБЛЕМНИХ ПИТАНЬ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ ЕФЕКТИВНИХ ВАРІАНТІВ ОБОРОТУ КОНТЕЙНЕРІВ НА МАРШРУТАХ УКРАЇНА – ЄС – УКРАЇНА	
	<i>О.В. Шматько, ст., О.В. Павленко, доц., канд. техн. наук.....</i>	80

29	Трибологічні властивості біомасил на базі відпрацьованих кулінарних олій <i>М.М. Гетьман, аспірант, О. В. Диха, проф., д-р техн. наук.....</i>	83
30	Огляд інженерних методик розрахунку гідродинамічних підшипників <i>І. В. Віштак, доц., канд. техн. наук.....</i>	85
31	Вдосконалення ротора кидалки косарки-подрібнювача "Рось-2" <i>В.Ф. Кузьменко, канд. техн. наук, с.н.с., Оніщенко В.Б., доц., канд. техн. наук, Холодюк О.В., доц., канд. техн. наук.....</i>	87
32	Конструктивні методи підвищення трибологічної надійності і довговічності шнекових механізмів <i>В.В.Аулін, проф., д-р техн. наук, О.Л.Ляшук, А.Б.Гупка, доц., канд. техн. наук, Р.Я.Леишук, доц., канд. техн. наук.....</i>	89
33	Перспективи застосування електропривідних тягачів на транспортних та рільничих роботах <i>М. С. Оліскевич, проф., д-р техн. наук, А. О. Шарибура, доц., канд. техн. наук...</i>	92
34	Системи і технології технічного обслуговування фермської техніки <i>В.І. Ребенко, доц., канд. техн. наук.....</i>	94
35	Дослідження мікроструктури поверхневого шару зразків з титанового сплаву, що модифіковані вакуумним іонним азотуванням в імпульсному режимі <i>В. І. Калініченко, ст. наук. співр., канд. техн. наук, А. В. Рутковський, ст. наук. співр., канд. техн. наук, С.І. Маркович, доц., канд. техн. наук.....</i>	96
36	Вплив температури електроліту на властивості імпульсно анодованих шарів на технічному алюмінії <i>В.М. Гвоздецький,ст. наук. співр., канд. техн. наук, С.І. Маркович, доц., канд. техн. наук, Х.Р.Задорожна, н.с.співр., канд. техн. наук, М.М. Студент, пров.наук. співр., проф, док. техн. наук,Г.Г. Веселівська, ст. наук. співр., канд. техн. наук.....</i>	101
37	Термодинамічний аналіз системи легування Fe-Mo-W-B-C сплавів для наплавлення для зміцнення ножів із переробки відходів пластику <i>Р.В. Сем'яник, асп., П.М. Присяжнюк, доц., канд. техн. наук.....</i>	107
38	Мікролеговані сталі для деталей сільськогосподарських машин <i>Г.М. Похиленко, старший викладач.....</i>	109
39	Перспективи використання полімерних композиційних матеріалів при ремонті корпусних деталей <i>О.М. Бистрий, старший викладач, А.В. Новицький, доц., канд. техн. наук.....</i>	111
40	Контроль якості наплавленого ешн металу <i>А.В. Захаров, асп., І.М. Рибалко, доц., д-р техн. наук.....</i>	113
41	Експлуатація машин в зимовий період <i>М.В. Голотюк, доц., канд. техн. наук, О.О. Налобіна, проф., д-р. техн. наук.....</i>	115
42	Імітаційне моделювання проблемного перехрестя за допомогою програми PTV VISSIM <i>А.І.Надточій, ст., В.В.Аулін, проф., д-р техн. наук.....</i>	117
43	Моделювання транспортних потоків <i>В.О. Дорошук, старший викладач, І.А. Бережнюк, ст., А.В. Коваль, ст.....</i>	122

44	ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР-ЗМІШУВАЧ З ОБЕРТОВИМ КОЖУХОМ <i>І.Б. Гевко, проф., д-р техн. наук, С.О. Коваль, асп., О.Ю. Стібайло, асп., А.В. Брикса, В.М. Бучинський, ст.....</i>	124
45	MODULAR SYSTEMS OF CONVEYORS FOR TRANSPORT AND WAREHOUSE OPERATIONS <i>Т.Р. Дживак, асп., Ю.Я. Вовк, доц., канд. техн. наук, Я.Ю. Вовк, ліцеїст.....</i>	126
46	КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ АВТОМОБІЛІВ МЕТОДАМИ ТРИБОДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РУХОМИХ СПРЯЖЕНЬ ДЕТАЛЕЙ <i>В.В.Аулін, проф., д-р техн. наук, С.В. Лисенко, доц., канд. техн. наук, А.В. Гриньків, ст. дослідник, канд. техн. наук, О.П. Цьонь, доц., канд. техн. наук.....</i>	128
47	ПРИНЦИПИ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМАЩЕННЯ В ПІДШИПНИКАХ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ ДИЗЕЛІВ АВТОМОБІЛІВ <i>В.В.Аулін, проф., д-р техн. наук, С.В. Лисенко, доц., канд. техн. наук, О.Л. Ляшук, проф., д-р техн. наук, В.З. Гудь, проф., д-р. техн. наук, А.Б. Гупка, доц., канд. техн. наук.....</i>	129
48	ДИНАМІКА ДВОЧАСТОТНИХ РЕЗОНАНСНИХ ВІБРОМАШИН, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ЕФЕКТІ ЗОМЕРФЕЛЬДА <i>В.В. Яцун, доц., канд. техн. наук.....</i>	132
49	МОДАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ШТАНГИ НАЧІПНОГО ОБПРИСКУВАЧА <i>І.М. Борис, асп., Р.О. Булаєнко, асп., М.Я. Сташків, доц., канд. техн. наук.....</i>	135
50	ПІДВИЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ПОКРИТТІВ ОПЛАВЛЕННЯМ <i>Є.К. Солових, проф., д-р. техн. наук, М.В. Головащук, асист., В.М. Лопата, канд. техн. наук, В.М. Кулижський, асп.....</i>	138
51	ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ <i>Л.А. Лопата, доц., канд. техн. наук, А.Є. Солових, доц., канд. техн. наук, С.Є. Катеринич, доц., канд. техн. наук, С.О. Магопєць, доц., канд. техн. наук.....</i>	140
52	ЗНАЧИМІСТЬ МЕТОДІВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН З ГАЗОТЕРМІЧНИМИ ПОКРИТТЯМИ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЇХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ <i>О.В. Лопата, асп., І.В. Смирнов, проф., д-р. техн. наук.....</i>	145
53	РИНОК ВІТЧИЗНЯНОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ УКРАЇНИ <i>О. Плахтій, ст., В. Мельник, доц., канд. екон. наук.....</i>	147
54	ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ І РОЗДАВАННЯ КОРМІВ <i>З.В. Ружило, доц., канд. техн. наук, Ю.А. Новицький, доц., канд. техн. наук.....</i>	148
55	ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ТА ІНФРАСТРУКТУРИ ВРАХОВУЮЧИ ВІЙСЬКОВИЙ СТАН В УКРАЇНІ <i>О. Почужевський, доц., канд. техн., наук, М.В. Радкевіч, проф., д-р, техн., наук, К.Б. Шіпілова, ст. викладач.....</i>	150
56	РЕСУРС ПЛАСТИЧНОСТІ ЧАВУНІВ ПРИ ЇХ ОБРОБЦІ ДЕФОРМУЮЧИМ ПРОТЯГУВАННЯМ <i>І.В. Шепеленко, проф., д-р техн. наук, М.Г. Сторчак, с.н.с., д-р техн. наук, Я.Б. Немировський, д-р техн. наук.....</i>	152
57	БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНА МІНІКАРТОПЛЕПОСАДОЧНА МАШИНА <i>Б.О. Блащак, асп., А.В. Бабій, проф., д-р техн. наук.....</i>	155

58	ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ РУХУ <i>М.В. Бабій, доц., канд. техн. наук, В.А. Бабій, студ., А.О. Мартинчук, студ.....</i>	156
59	РІШЕННЯ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ РОБОТИ КАРТОПЛЕКОПАЧА <i>А.В. Бабій, проф., д-р техн. наук, І.В. Головецький, асп.....</i>	157
60	ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН ПРИ ВИКОРИСТАННІ МІНІОБПРИСКУВАЧІВ <i>А.В. Бабій, доц., д-р техн. наук, Б.Б. Левицький, асп.....</i>	158
61	SUMMARY OF PRINCIPLES OF EFFICIENCY OF COMBINED ROAD AND RAILWAY TRANSPORTATION <i>V.V. Aulin, Prof., Dr. Tech. of science, S.V. Lysenko, associate prof., Ph.D. technical of science, A.V. Hryniv, st. researcher, Ph.D. technical of science, Warouma Arifa, associate prof., Ph.D. technical of science.....</i>	160
62	INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF FILLERS ON SOME PROPERTIES OF CARBON PLASTICS BASED ON PA-6 <i>O. Derkach, PhD, D. Makarenko, PhD, O. Kabat, Prof. DSc, Ye. Muranov, Eng, B. Piskin, Assist. Prof.....</i>	162

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ МАШИН, ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ. IMPROVING THE RELIABILITY AND EFFICIENCY OF MACHINES, PROCESSES AND SYSTEMS

IV Міжнародна науково-практична конференція

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

**13-15 квітня 2022 року
м. Кропивницький**

Відповідальні за випуск: В. В. Аулін, професор кафедри експлуатація та ремонт машин ЦНТУ України.

Редактор: В. В. Аулін.

Дизайн і верстка: С. В. Лисенко.

**Редакційна колегія не несе відповідальності за зміст представлених
матеріалів**

Підписано до друку 11.04.2022 р. Формат 60x80/16.
Ум друк. арк. – 12,4. Обл.-вид. – 11,7.
Наклад 100 прим. Зам № 21/2022.

РВЛ ЦНТУ. 25006, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8
Тел. 390-441, 559-245.