

# ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ МАШИН І ОБЛАДНАННЯ. INCREASE OF MACHINE AND EQUIPMENT RELIABILITY



April 15-17, 2020  
с. Кропивницький

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



# **ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ МАШИН І ОБЛАДНАННЯ**

Міжнародна науково-практична конференція

## ***МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ***

15-17 квітня 2020 року  
м. Кропивницький

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



# **INCREASE OF MACHINE AND EQUIPMENT RELIABILITY**

**International scientific and practical conference**

## ***CONFERENCE MATERIALS***

**April 15-17, 2020**

**c. Kropyvnytskyi**

ББК 34.41:39.3  
УДК 62-192:656.02

Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability", 15-17 квітня 2020 р. – Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 273 с.

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

Друкується згідно листа Міністерства освіти і науки України, Державної наукової установи "Інститут модернізації змісту освіти" від 05.02.2020 року №22.1/10-280 "Про Перелік наукових конференцій з проблем вищої освіти і науки у 2020 році" та наказу ректора Центральноукраїнського національного технічного університету.

## ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

**Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability:**

*Голова* – *Левченко О.М.*, д-р. екон. наук, проф., проректор з наукової роботи Центральноукраїнського національного технічного університету.

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

*Секретар* – *Лисенко С.В.*, канд. техн. наук, доц. кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету.

### **Члени оргкомітету:**

*Афтанділянц Є. Г.* – д-р. техн. наук, проф., завідувач кафедри ТКМіМ НУБіП України;

*Барановський В. М.* – д-р. техн. наук, проф., професор кафедри ТіОЗВ ТНТУ ім. І. Пулюя;

*Бєлоєв Х.* – ректор аграрного університету в Русе (Республіка Болгарія);

*Белоцерковський М.А.* – д-р. техн. наук, проф., професор кафедри технології машинобудування БНТУ (Білорусь);

*Біліченко В.В.* – д-р. техн. наук, проф., завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту ВНТУ;

*Борак К. В.* – канд. техн. наук, заступник директора з навчальної роботи ЖАТК;

*Будяй О. В.* – директор ТОВ "Манн+Хуммель фільтрейшен технолоджи Україна";

*Великодний Д.О.* – канд. техн. наук, Автотранспортний коледж КНУ;

*Войтов В.А.* – д-р. техн. наук, проф., завідувач кафедри транспортних технологій і логістики, ХНТУСГ ім. П. Василенка;

*Войтюк В. Д.* – д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту ім. М. П. Момотенка НУБіП України;

*Герук С. М.* – канд. техн. наук, доц., завідувач кафедри агроінженерії ЖАТК;

*Горбачов П.Ф.* – д-р. техн. наук, проф., завідувач кафедри транспортних систем та логістики ХНАДУ;

*Григор Н.В.* – керівник МОВ ЦНТУ;

*Гриньків А.В.* – канд. техн. наук, с.н.с., докторант кафедри експлуатації та ремонту машин ЦНТУ;

*Дзюра В.О.* – канд. техн. наук, доц., начальник НДЧ ТНТУ ім. І. Пулюя;

*Диха О.В.* – д-р. техн. наук, проф., завідувач кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства ХНУ;

*Дмитрик В.В.* – д-р. техн. наук, проф., НТУ (ХП);

*Жорнік В.І.* – д-р. техн. наук, проф., ДНЗ "Об'єднаний інститут машинобудування НАН Білорусі" (Білорусь);

*Захарчук О.В.* – д-р. економ. наук, проф., завідувач відділу ринку матеріально-технічних ресурсів ННЦ "ІАЕ" НААН;

*Іванов С.С.* – директор НДІ МСГ Латвійського сільськогосподарського університету (Латвійська Республіка);

*Ковалишин С.Й.* – канд. техн. наук, доц., декан факультету механіки та енергетики ЛНАУ;

*Кравчук В.І.* – д-р. техн. наук, проф., директор ДНУ "УкрНДІПВТ ім. Леоніда Погорілого", член-кореспондент НААН;

*Крочко В.* – професор інженерно-технічного факультету Словацького університету наук про життя;

*Кузьмінський Р.Д.* – д-р. техн. наук, проф., завідувач кафедри експлуатації та технічного сервісу машин ім. О. Д. Семковича ЛНАУ;

*Ловейкін В. С.* – д-р. техн. наук, проф., завідувач кафедри конструювання машин і обладнання НУБіП України;

*Лузан С.О.* – д-р техн. наук, проф., ХНТУСГ ім. П. Василенка;

*Лукач В. С.* – директор ВП "Ніжинський агротехнічний інститут" НУБіП України;

*Ляшук О.Л.* – д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри автомобілів ТНТУ ім. І.Пулюя;

*Магопець С.О.* – канд. техн. наук, доц., кафедра експлуатації та ремонту машин ЦНТУ;

*Марчук А.* – декан агроінженерного факультету Природничого університету в Любліні (Республіка Польща);

*Науменко О. А.* – канд. техн. наук., проф., завідувач кафедри технічних систем та технологій тваринництва ім. Б. П. Шабельника ХНТУСГ ім. П. Василенка;

*Новицький А. В.* – канд.техн. наук, доц., завідувач кафедри надійності техніки НУБіП України;

*Ольт Ю.* – професор Естонського університету наук про життя (Естонська Республіка);

*Паскуці С.* – професор університету Барі Альдо Моро (Італія);

*Підгурський М.І.* – д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри технології та обладнання зварювального виробництва ТНТУ ім. І.Пулюя;

*Полянський П. М.* – в.о. завідувача кафедри загально-технічних дисциплін МНАУ;

*Пушка О.С.* – канд. техн. наук., доц., декан інженерно-технологічного факультету Уманського національного університету садівництва;

*Роговський І.Л.* – канд. техн. наук, с.н.с., директор НДІ техніки і технологій НУБіП України;

*Савуляк В.І.* – д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри технології підвищення зносостійкості ВНТУ;

*Савченко В.М.* – канд. техн. наук., доц., завідувач кафедри машиновикористання та сервісу ТС ЖНАЕУ;

*Свірень М.О.* – д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри сільськогосподарського машинобудування ЦНТУ;

*Собчук Г.* – директор Представництва Польської академії наук в м. Києві;

*Толстушко М. М.* – канд. техн. наук., доц., кафедри галузевого машинобудування ЛДТУ;

*Хабутдінов Р.А.* – д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри транспортних технологій НТУ;

*Черновол М.І.* – д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри експлуатації та ремонту машин, ректор ЦНТУ;

*Шлапак Л.С.* – д-р тех. наук, проф., завідувач кафедри зварювання конструкцій та відновлення деталей машин ІФНТУНГ;

*Яцун В.В.* –канд. техн. наук, доц., декан факультету проектування та експлуатації машин ЦНТУ.

# **1. ФІЗИЧНІ ТА МАТЕМАТИЧНІ ОСНОВИ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ МАШИН І ОБЛАДНАННЯ**

УДК 621.891

## **КВАНТОВО-МЕХАНІЧНА ВЗАЄМОДІЯ В КОНТАКТНИХ ТРИБОСИСТЕМАХ**

**О.В. Диха**, *д-р. техн. наук, проф.*,

**Ю.П. Заспа**, *канд. ф-м. наук, доц.*,

**В.О. Дитинюк**, *асп.*,

*Хмельницький національний університет, м.Хмельницький, Україна*

Динамічний контакт, твердих тіл, що деформуються, є джерелом широкого спектру збурень, які попередньо ведуть до катастрофічних наслідків [1-4]. Наявність контактних розривів в режимах сухого і граничного тертя, часова і просторова дискретність контактування обмежують можливості методів механіки суцільного середовища і класичної теорії поля при описі таких режимів. Тут доцільно використовувати ідеї і методи, розвинені в квантовій теорії поля, а також в теорії турбулентності [5-7]. Одним з найбільш ефективних методів такого роду є опис збурень у вигляді квантового ансамблю квазічасточок, які приймають участь у специфічній обмінній взаємодії, відсутній у класичній механіці [5, 6]. Ця взаємодія, яка виникає на фоні звичайних процесів електромагнітного характеру, визначає, зокрема, катастрофічні режими контактної-наведеного флатера і бафтінга, характерні також для гідро (аеро) динамічних систем в умовах розриву суцільності потоку. Разом з тим, рідкісним корисним ефектом, пов'язаним з обмінною взаємодією, є відомий ефект беззношування (вибіркового переносу), теорія якого потребує суттєвого уточнення.

Контраверсивним режимом тут виступає водневе зношування, який описується до теперішнього часу без урахування обмінної взаємодії і вихрехвильового переносу в трибо системах. Специфіка контактної тертя проявляється також в різких градієнтах температури, що обумовлює формування корпускулярно-вихрехвильових термомоделей, які приймають участь в обмінній взаємодії. Колапсні процеси в системі таких термомоделей, по суті і є головним джерелом контактної-наведеного збурень. Задачею теперішньої роботи являється формування фізичної моделі контактної генерації збурень в трибо системах, яка враховує обмінну взаємодію і колапс корпускулярно-вихрехвильових термомоделей.

В роботі розглянуті фізичні механізми утворення і трансформації корпускулярно-вихрехвильових термомоделей в контактних трибо системах, засновані на квантово-механічній обмінній взаємодії в ансамблях тотожних квазічасточок. Наявність контактної розриву двох термостатів з різними знаками абсолютної температури визначає генерацію пар квазічасточок збурень, стабілізованих по довжині хвилі в кооперації з фотонами вимушеного теплового випромінювання, а також за частотою у взаємодії з фононами. Внутрішня нестійкість і колапсні процеси в такій системі збурень ведуть до дефекту утворення в матеріалі трибопари і лежать в основі аварійних режимів тертя. Наведені конкретні технічні приклади генерації корпускулярно-хвильових термомоделей при фретинзі, терті ковзання і коченні, різанні. Запропонований корпускулярно-хвильовий механізм вибіркового переносу і водневого зношування в трибо системах.

Руйнівний характер фретингу при досить низьких значеннях швидкостей реверсивного ковзання (проковзування) в значному ступеню обумовлений генерацією і колапсом корпускулярно-вихрехвильових термомоделей.

Автори більшості робіт відмічають розділення сигналу акустичної емісії на два кластера – вузькосмуговий низькочастотний і широкосмуговий високочастотний. В нашій інтерпретації це розділення відповідає рівноважному (в кожному з двох термостатів окремо) і нерівноважному складу збурень. В останньому випадку генеруються джетові (смугові)



форми вихрехвильового поля швидкостей, формуючі часточки зносу. Придушення (часткове) таких форм за рахунок збільшення контактної навантаження зменшує знос. Відмітимо, що обміна взаємодія, яка тут розглядається, має той самий характер, що і адгезія (тяжіння). Тому сумарний ефект може значно перевищити контраверсивну дію сил в під контактних шарах, що веде до схоплення і заїдання. Навпаки, зменшення адгезії, наприклад, за рахунок різномірності матеріалів трибопари, стабілізує процес тертя.

Коллапсна складова генерації збурень значно підсилюється режимах руйнування матеріалів, в т.ч. при різанні. В якості прикладів можна навести спектри акустичної емісії, яка співставляє різання сталевих прутків на токарному верстаті в ненормативних режимах флатера-бафтингу. Тут чітко прослідковується зворотній енергетичний каскад в ансамблі квазидвовимірних сферичних генераторів збурень, який здійснюється на мезоскопічному рівні. Макроскопічна стабілізація цих збурень на власних частотах приводу ( $\nu_1 \approx 13$  Гц,  $\nu_2 \approx 40$  Гц) обумовлює домінуючі смугові максимуми в центральній частині спектру. Розділення сигналу акустичної емісії при різанні на два кластера, пов'язані з короткохвильовим і довгохвильовим пакетами збурень в цілому ряді випадків формує характерний провал в центральній частині спектру. Відсутність домінуючих дискретних ліній тут свідчить про нерівноважність процесу генерації збурень. Аналогічний провал в спектрі збурень виникає також при ударній взаємодії зубців передаточних шестерень в електромеханічних машинах.

Настільки різні по своєму трибологічному значенню процеси, як вибіркового перенос (ефект беззношуваності) і водневе зношування мають, як не дивно схожі механізми свого виникнення. Відома критичність вибіркового переносу атомів міді (та інших металів) до температурного режиму із складу мастильного матеріалу пояснюється умовою, яка накладає певні обмеження на параметри формування корпускулярно-вихрехвильових термокомплексів в зоні тертя. Зокрема при  $m \approx 63$  а.е.м. (мідь) і  $T \approx 300^\circ \text{K}$  слідує значення  $\rho \approx 1,26 \text{ г/см}^3$ , практично рівне щільності гліцерину, або щільності масла фреонової суміші в компресорних системах холодильних установок.

Вихрехвильовий перенос цих збурень вглиб контактної зони пояснює також виражені пластичні деформації в глибині зони тертя при відсутності (в певних випадках) сильних пластичних деформацій безпосередньо на поверхні тертя.

Таким чином, розглянуті практичні приклади підтверджують запропонований фізичний механізм контактної генерації збурень в трибосистемах.

### Список літератури

1. Свириденко А.И., Мышкин Н.К., Калмыкова Т.Ф., Холодилов О.В. Акустические и электрические методы в триботехнике / Под ред. В.А. Белогою – Мн.: Наука и техника. - 1987
2. Акау А. Acoustics of friction // J. Acoust. Soc. Am. – 2002 (111), №4, 1525-1548.
3. Сергиенко В.П., Бухаров С.Н., Купреев А.В. Вибрация и шум в тормозных системах мобильных машин. Часть 1. Экспериментальные методы исследования (обзор) // Трение и износ. – 2008 (29), №3, 306-314.
4. Сергиенко В.П., Бухаров С.Н. Вибрация и шум в тормозных системах мобильных машин. Часть 2. Теоретические методы исследования // Трение и износ. – 2009 (30), №3, 296-310.
5. Физика микромира. Маленькая энциклопедия / Под ред. Д.В. Ширкова. – М.: Сов. энц. – 1980.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. – М.: Наука. – 1975.
7. Данилов С.Д., Гурарий Д. Квазидвумерная турбулентность // УФН. – 2000 (170), №9, 922-968.



## **КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ІЗ ЗОНИ ТЕРТЯ ТРИБОСИСТЕМ**

**В.А. Войтов**, *д-р. техн. наук, проф.*,

**К.А. Фененко**, *асп.*,

*Харківський національний технічний університет сільського господарства ім.  
П.Василенка, м. Харків, Україна*

Акустичні коливання, які генерує трибосистема в процесі роботи, виникають внаслідок ударної взаємодії шоркостей поверхонь тертя їх пружнопластичній деформації, процесами утворення та руйнування фрикційних зв'язків, структурно-фазовою перебудовою матеріалів, утворенням та розвитком мікротріщин у поверхневих шарах контактуючих тіл, відділенням частиць зношування. Реєстрація акустичних сигналів дозволяє з високою точністю визначити час подій, що відбуваються, які включають в себе пружні взаємодії мікроступів сполучених поверхонь, утворення та руйнування адгезійних зв'язків, появу мікротріщин та відділення частиць зношування.

Перші публікації щодо застосування акустичної емісії (АЕ), як метода діагностування вузлів тертя, з'явилися в кінці 1970-х років, як спосіб діагностування процесів тертя та зношування. При сучасному розвитку засобів реєстрації сигналів застосування такого способу дозволяє отримувати інформацію про стан поверхонь тертя в онлайн-режимі.

Метою даного дослідження є розробка методики аналізу фрейма сигналів АЕ із зони тертя трибосистеми з розподілом сигналу на групи джерел його генерації, що дозволить діагностувати процеси тертя та зносу.

Розглянуті напрямки застосування методу акустичної емісії для дослідження стаціонарних та перехідних процесів в трибосистемах під час експлуатації. Показано, що застосування такого методу дозволить отримувати інформацію про стан поверхонь тертя та швидкість зношування під час перехідних процесів (припрацювання) в онлайн-режимі.

Для обґрунтування вибору інформативних параметрів АЕ виконано кластерний аналіз фреймов сигналів АЕ із зони тертя трибосистеми з поділенням сигналу на групи джерел його генерації. Установлена кореляційна залежність між коефіцієнтом тертя  $f_{mp}$  та значеннями пік-фактора кластера  $K2$ , коефіцієнт кореляції  $r = 0,99$ , а також швидкістю об'ємного зношування  $I$ ,  $\text{м}^3/\text{год}$  і значеннями пік-фактора кластера  $K3$ , коефіцієнт кореляції  $r = 0,99$ . Значення пік-фактора кластера  $K4$  корелює зі швидкістю об'ємного зношування під час припрацювання, коефіцієнт кореляції  $r = 0,98$ .

Експериментальним шляхом підтверджено, що кластерний аналіз сигналів акустичної емісії із зони тертя трибосистеми дозволяє ідентифікувати поверхневі процеси під час зношування, тим самим підвищити робастність та інформативність методу АЕ. Даний аналіз може бути основою для розробки методики діагностування трибосистем під час їх експлуатації, що дозволить вимірювати швидкість зношування в будь-який момент часу та розраховувати ресурс трибосистеми.

### **Список літератури:**

1. Войтов В.А., Бекіров А.Ш., Войтов А.В. Вибір інформативних параметрів акустичної емісії для визначення швидкості зношування трибосистем на перехідних режимах. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2019. № 15. С. 190–202.
  2. Чечельницький В.Я., Троянський А.В. Пик-фактор многочастотных шумоподобных сигналов, кодированных эквивалентными классами современных двоичных решеток, Труды Одесского политехнического университета, 2005, вып.2(24), с.181-186.
  3. Жажигаев Л.С., Кишьян А.А., Романиков Ю.И. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента, М.: Атомиздат, 1978. – 232 с.
- Шевченко С.А. Класифікація та обґрунтування вимог до акустико-емісійних ознак дефектів пар тертя механізмів, Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім.П.Василенка, 2012, вип.121, с.159-163.

***INFLUENCE OF THE CRYOLITE MODULE ON THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF THE FLUX IN THE AUTOMATIC WELDING OF ALUMINUM WITH A CLOSED ARC***

**V.Ya. Zusin** *Doctor of sciences., Prof.,*  
**A.M. Zusin** *PHD,*  
**S.V. Siminenko** *stud.,*

*State Institution of Higher Education "Priazovsky State Technical University", c. Mariupol, Ukraine*

The flux for welding aluminum with a closed arc contains potassium chloride, sodium chloride and cryolite, the concentration of which is 44% of the total weight. Factories produce cryolite with a different module (cryolite module, or cryolite ratio, consider the molar ratio of NaF / AlF<sub>3</sub>). The use of cryolite of various compositions for the manufacture of welding fluxes leads to a change in the physicochemical properties of fluxes (melting point, density, electrical conductivity, viscosity), which in turn affects the formation of a weld on the properties of welded joints.

In electric arc welding of aluminum with a closed arc, the flux must have a melting point and a density lower than that of the metal being welded, a certain fluidity and low electrical conductivity, which ensures a stable arc welding process.

When the cryolite modulus changes from 1,52 to 1,65, the melting temperature of the fluxes changes insignificantly and amounts to 615 - 630 °C. With an increase in the cryolite modulus over 1,65, an increase in the melting temperature of the flux occurs. With a cryolite modulus of 1,75, the flux melting point is close to the melting point of the metal being welded, and with a cryolite modulus of 2,13, it significantly exceeds it and amounts to 730 °C.

With an increase in the cryolite modulus, the flux conductivity increases, since the concentration of low-melting Na<sup>+</sup> cations increases and the number of complex AlF<sub>3</sub><sup>-6</sup> anions, which practically do not participate in the transfer of electric current, decreases. With an increase in the cryolite module by 0,1, the specific conductivity of the flux increases by 0,06 – 0,07 Ohm<sup>-1</sup> • cm<sup>-1</sup>.

An increase in the cryolite modulus leads to an increase in flux density. With an increase in the modulus by 0,1, the flux density increases by 0,04-0,06 g/cm<sup>3</sup>, however, the obtained flux density values do not exceed the density of the molten metal being welded. With increasing temperature, the flux density decreases linearly.

A decrease in the cryolite modulus entails an increase in the fluidity of the flux, which is explained by an increase in the content of complex ions AlF<sub>3</sub><sup>-6</sup>, which has a layered structure. With increasing temperature, the fluidity of all fluxes increases.

As a result of studies of the physicochemical properties of fluxes with various cryolite modules, fluxes manufactured on cryolite having indices of 1,55 – 1,70 are most fully compliant.

## **НОВИЙ ПОГЛЯД НА ФІЗИЧНУ ПРИРОДУ ПРОЦЕСІВ ТЕРТЯ**

**В.В. Аулін**, *д-р. техн. наук, проф.*,  
**С.В. Лисенко**, *канд. техн. наук, доц.*,  
**А.В. Гриньків**, *канд. техн. наук*,  
**І.В. Жилова**, *асп.*,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна*

Відомо, що взаємодія в трибоспряженнях деталей супроводжуються механоємісійними, механохімічними та газорозрядними процесами, протіканням реакцій, синтезом деяких сполук, а також виникненням частинок з великою енергією, збуджених молекул, атомів, іонів, швидких електронів, фононів (звукових квантів), фотонів (квантів електромагнітного випромінювання).

Останнім часом на основі ряду відкриттів [1-4] встановлено невідому раніше закономірність адитивності магнітної післядії в об'ємних частинах і поверхневих шарах трибоспряжень деталей з феромагнітних матеріалів. Ефект полягає в тому, що в пружних і пластичних областях зони їх фрикційного контакту відбувається підсумовування (адитивність) магнітних післядій, супроводжуваних пружні і пластичні післядії. Ця післядія визначає поведінку атомів водню в матеріалах трибоспряжень: інтенсивна дифузія, високий ступінь накачування, молізація і взаємодія з атомами інших хімічних елементів. Зазначене обумовлене спрямованим переміщенням дислокацій в матеріалах деталей, які несуть атоми водню в зону фрикційного контакту з пружних і пластичних областей приповерхневих шарів матеріалів та здійснюють вплив на їх структуру та рухливість в них стінок доменів.

Щоб створити узагальнену теорію процесів тертя необхідно з'ясувати сукупність явищ, які спостерігаються на макро-, мезо-, мікро- та нанорівнях. Особливу увагу слід приділити наноконтактним процесам на більш високому фундаментальному рівні. Першим кроком в цьому напрямку є розгляд характеристик і властивостей окремих мікро- та наноконтактів, а потім шляхом інтегрування або усереднювання по поверхні перейти до дослідження на мезорівні та до макрорівні. Такий підхід став доступним тільки в останні роки в зв'язку з розвитком техніки наноіндентування і наноскрабування. Наступним кроком на шляху створення фізичної теорії тертя спряжень деталей систем і агрегатів машин є перехід до досліджень на атомарному рівні.

Виявлено, що спрямоване переміщення дислокацій, які несуть, наявні в матеріалах деталей впроваджені атоми вуглецю і азоту в зону фрикційного контакту з пружної і пластичної областей та впливає на структуру і рухливість доменних стінок матеріалу.

Необхідно відзначити, що атоми впровадження вуглецю С і азоту N, так званий вуглецево-азотний цикл, відповідальні за синтез гелію в зоні тертя.

Виявлені умови в яких тертя практично відсутнє і реалізується явище надковзання аналогічне надпровідності або надплинності. Трибофізична модель цих явищ створена на основі реалізації вуглецево-азотного циклу. При цьому водень перетворюється в гелій і відбувається ряд хімічних реакцій:



В останні роки отримані численні експериментальні реалізації в матеріалах трибоспряжень деталей, характерні для ядерних реакцій при низьких енергіях, тобто

спостерігається протікання ядерних реакцій в конденсованих середовищах. Це так званий холодний ядерний синтез (ХЯС). На основі ХЯС пропонується замінити ядерні процеси, індуковані кристалічною ґраткою матеріалу. Розглянуті стохастичні низько температурні ядерні процеси мають аномальний характер, з точки зору вакуумних ядерних зіткнень. Це передусім злиття ядер з виділенням нейтронів, що існують в нерівноважних твердих матеріалах деталей в процесі тертя, які стимулюються трансформацією пружної енергії в кристалічній ґратці при фазових переходах, механічних впливах, сорбції або десорбції водню (дейтерію). ХЯС достовірно зафіксовано в цілому ряді фізичних і фізико-хімічних процесів за участю дейтерію. Багато з таких процесів, але за участю природного водню, мають місце і в природних процесах. До їх числа можна віднести явища: сорбції-десорбції водню в металах; окислювально-відновлюючий вплив на з'єднання водню; механічне пошкодження і подрібнення водневовмісних порід.

Супроводження пружними і пластичними післядіями (компресонні і ділатонні локальні області) обумовлюють спрямоване переміщення дислокацій, що несуть водень в зону контакту. В результаті цього в зоні контакту протікає ряд хімічних реакцій:



На основі цього сформульовано механізм ХЯС, що виникає в поверхневих шарах матеріалу деталей трибоспряжень й обумовлюється спрямоване переміщення дислокацій в їх кристалічних структурах з реалізацією протонного циклу. В результаті цього водень перетворюється в гелій.

Створення нанотехнологій і нового класу приладів мікроелектромеханічних і наноелектромеханічних систем на основі існуючих наукових відкриттів, що стосується мікро- і нанотрибології, дасть нові конкурентоспроможні результати, зокрема, за рахунок створення і використання трибосистем з гелієвим зношуванням. Фізичне обґрунтування ядерних процесів, індукованих кристалічною ґраткою являють інтерес як з точки зору фундаментальних досліджень, процесів тертя по створенню фундаментальної їх теорії, так і для прикладних цілей з метою впровадження істотних фізичних ефектів в поверхневих шарах матеріалу спряжень деталей систем і агрегатів машин.

### Список літератури

1. Научное открытие (Диплом № 258) // Закономерность аддитивности упругого последействия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения / Г.С. Ивасьшин. - М: РАЕН., МААНОиИ, 2004.
2. Научное открытие (Диплом № 277) // Закономерность аддитивности магнитного последействия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных материалов / Г.С. Ивасьшин. - М.: РАЕН., МААНОиИ, 2005.
3. Научное открытие (Диплом № 289) // Закономерность аддитивности диффузионного магнитного последействия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных материалов и сплавов / Г.С.Ивасьшин.- М.: РАЕН МААНОиИ, 2005.
4. Научное открытие (Диплом № 302) // Закономерность аддитивности водородного магнитного последействия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных материалов / Г.С. Ивасьшин. – М.: РАЕН., МААНОиИ, 2006.
5. Аулін В.В. Фізика структурних перетворень матеріалу в зоні обробки концентрованими потоками енергії та тертя і зношування //Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2007. – №2 (44) – С. 57-59.
6. Аулін В.В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія. – Кіровоград: Вид. Лисенко В.Ф., 2014. - 370 с.

## 2. ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСІВ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ ВУЗЛІВ ДЕТАЛЕЙ ТА РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН І ОБЛАДНАННЯ

УДК 621.891

### АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ В АБРАЗИВНІЙ МАСІ

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

*Білоруський державний аграрний технічний університет, м. Мінськ, Білорусь*

**К.В. Борак**, канд. техн. наук,

*Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир, Україна*

Питаннями математичного моделювання процесу зношування в абразивній масі займалися У.А. Ікрамов, М.М. Тененбаум, М.М. Сєверньов, М.М. Хрущов, Б.І. Костецький, В.В. Аулін та інші.

У.А. Ікрамов запропонував математичну модель для визначення величини зносу при мікрорізанні початково-вільними абразивними частинками:

$$U_{\delta} = I_h L 10^3, \quad (1)$$

де  $U_{\delta}$  – знос при мікрорізанні початково-вільними абразивними частинками;

$L$  – шлях тертя;

$I_h$  – інтенсивність абразивного зношування:

$$I_h = \frac{h b n_a}{A_a} 10^{-6}, \quad (2)$$

де  $h$  – глибина входження абразивної частинки в матеріал деталі;

$b$  – ширина подряпини;

$n_a$  – кількість абразивних частинок;

$A_a$  – номінальна площа контакту.

Ширина подряпини у відповідності може бути розрахована за формулою:

$$b = 1,4 R_a, \quad (3)$$

де  $R_a$  – радіус абразивної частинки.

Зношування в реальній абразивній масі може носити змішаний характер. Тоді сумарний знос можна буде визначити із залежності:

$$U = U_v + U_{\delta}, \quad (4)$$

де  $U_v$  – знос при полідеформаційному руйнуванні:

$$U_v = V_v \frac{n_M}{e^{\lambda} - 1}, \quad (5)$$

де  $V_v$  – об'єм одиничного пошкодження матеріалу при полідеформаційному процесі;

$n_M$  – число актів мікрорізання;

$\lambda$  – степеневий показник:

$$\lambda = \frac{n_p}{n_d}, \quad (6)$$

де  $n_p$  – число циклів руйнування;

$n_d$  – число циклів пластичного деформування.

М.М. Тененбаум увів поняття критичного степеню змішаності деформуючих і ріжучих частинок  $\left(\frac{n_M}{n_A}\right)_{\epsilon\delta}$ , який відповідає відношенню зносу при полідеформаційному й прямому руйнуванні:

$$\left(\frac{n_M}{n_D}\right)_{кр} = \frac{\ln\left(1 + \frac{V_v}{V_\delta}\right)}{n_p}, \quad (7)$$

При  $V_\delta = V_v$  і значенню числа циклів до руйнування  $n_p = 10 \dots 10^3$   $\left(\frac{n_M}{n_A}\right) = 0,07 \dots 7\%$ .

Відповідно, навіть при малій кількості зерен, які ріжуть поверхню, вони зношують поверхню тертя більше, ніж в результаті пластичної деформації.

У роботі М.М. Тенебаума запропоновано визначати знос матеріалу в результаті зношування в абразивній масі за математичною залежністю:

$$U = \int_{\sigma_{MT}}^{\sigma_{МП}} f(\sigma_M) \Phi_1(\sigma_M) d\sigma_M + \int_{\sigma_{МП}}^{\sigma_{M2}} f(\sigma_M) \Phi_2(\sigma_M) d\sigma_M, \quad (8)$$

де  $\Phi_1(\sigma_M), \Phi_2(\sigma_M)$  – характеристика збільшення об'ємів одиничного руйнування поверхневого шару з ростом напруження в діапазоні  $\sigma_{i\delta} - \sigma_{i2}$ , умовно віднесено до одного акту механічної дії при певному значенні напружень.

Рівняння (8) мало б розрахунковий характер (з відомими функціями  $f(\sigma_M), \Phi_1(\sigma_M), \Phi_2(\sigma_M)$ ), якщо б інші властивості матеріалів залишалися при зношуванні незмінними.

Проф. М.М. Севернев запропонував математичну залежність для визначення величини зносу деталей ґрунтообробних машин:

$$U = U_{em} m_{em} \varepsilon \frac{k_\gamma}{k_H}, \quad (9)$$

де  $m_{em}$  – питомий знос еталонним абразивом при відносній швидкості переміщення  $v_{\epsilon\delta} = 1$  см/с за час  $t = 1$  с площа тертя  $S = 1$  см<sup>2</sup>, і тиску абразиву  $p = 1$  кГ/см<sup>2</sup>;

$\varepsilon$  – відносний знос матеріалу;

$k_\gamma$  – величина відношення об'ємної маси деталі до об'ємної маси еталонного зразка;

$k_H$  – величина відношення твердості деталі до твердості еталонного зразка;

$U_{em}$  – знос еталонного зразка еталонним ґрунтом:

$$U_{em} = k'' \frac{p v_{\epsilon\delta} t S \gamma_{em}}{H_{em}}, \quad (10)$$

де  $k''$  – коефіцієнт пропорційності;

$p$  – питомий тиск на зразок;

$\gamma_{em}$  – об'ємна вага еталонного зразка;

$H_{em}$  – твердість еталонного зразка.

У праці Б.І. Костецького з мікроскопічної точки зору зношування різальних елементів ґрунтообробних машин на основі класичної схеми протікання процесу описано стохастичним диференціальним рівнянням:

$$\frac{dU}{dt} = \varphi(U, t) + \psi(U, t) \xi(t), \quad (11)$$

де  $U(t)$  – функція відносного зносу;

$$U(t) = \frac{u(t)}{u_{zp}}, \quad u(t) – \text{поточний знос};$$

$u_{zp}$  – граничний знос;

$\varphi(U, t), \psi(U, t)$  – детерміновані функції, що характеризують інтенсивність зносу;

$\xi(t)$  – випадкова складова;

$t$  – тривалість зношування.

Випадкова функція  $U(t)$  описує безперервний марківський процес, якщо значення функції  $\xi(t)$  – незалежні випадкові величини.

У існуючих математичних моделях зносу деталей машин, що працюють в абразивній масі, можна відмітити наступні недоліки: громіздкість і незручність використання, не враховано можливість зношування матеріалів різних властивостей (на одній деталі), обмеженість набору параметрів, які впливають на знос та складність, а іноді й неможливість їх вирішення за допомогою ПК.



## **ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ МАСШТАБНОГО ФАКТОРУ НА ТРИБОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ В ЗОНІ КОНТАКТУ ЗРАЗКІВ ТА ДЕТАЛЕЙ**

**В.В. Аулін**, *д-р. техн. наук, проф.,  
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

**О.Л. Ляшук**, *д-р. техн. наук, проф.,  
А.Б. Гупка*, *канд. техн. наук, доц.,  
Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна*

**С.В. Лисенко**, *канд. техн. наук, доц.,  
А.В. Гриньків*, *канд. техн. наук,  
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Істотну роль в трибологічних процесах відіграють геометричні характеристики контактуючих поверхонь тертя (масштабний фактор) спряження зразків та деталей. Це коефіцієнт взаємного перекриття  $K_{en}$ , який змінює швидкість трибологічних процесів при переході від точкового до лінійного та площинного контактів. В умовах граничного навантаження це призводить до зміни співвідношення процесів утворення, трансформації та руйнування захисних вторинних структур.

Характерним є те, що значна частина триботехнічних завдань в даний час вирішується малоефективним, емпіричним шляхом, що призводить до великих матеріальних та енергетичних витрат. Слід зазначити, що показники трибологічної надійності систем і агрегатів транспортних машин не враховуються на етапі їх конструювання. Ремонт зношуваних деталей або їх заміна на нові – це незаплановані значні матеріальні витрати. Серед інших причин - це і відсутність комплексної методики дослідження, яка б включала в себе кінетичні критерії оцінки процесів в зоні фрикційного контакту, універсальні машини тертя.

Поряд з цим сучасний розвиток термодинаміки незворотних процесів, фізики твердого тіла, матеріалознавства, синергетики, експериментальних методик дозволив одержати різноманітні дані про механізми трансформації та руйнування поверхневих шарів, створити банк триботехнічних даних, побудувати відповідні фізичні моделі процесів, виявити загальні закономірності процесу тертя та зношування, дати конкретні практичні рекомендації.

В конкретних випадках, коли необхідно перенести результати лабораторних досліджень на реальні трибоспряження деталей систем і агрегатів транспортних машин потрібно використовувати елементи теорії моделювання із врахуванням теплової динаміки процесу тертя. Аналізуючи вхідні параметри та умови експлуатації важконавантажених трибоспряжень зразків і деталей, попередні експериментальні дослідження, вибрана необхідна схема трибоконтракту зразків (рис. 1): пальчиковий зразок 1 - плоска торцева поверхня диску 2.

Спряжений зразок здійснює обертовий рух (однонаправлений або реверсивний) із плавним характером зміни частоти обертання в горизонтальній площині. Величина  $K_{en}$  визначається із співвідношення:

$$K_{en} = \frac{S_1}{S_2} K_{en}, \quad (1)$$

де  $S_1$  – площа тертя пальчикового зразка 1 (величина постійна в межах одного експерименту);  
 $S_2$  – площа тертя спряженого зразка 2 (змінна величина в межах одного експерименту).

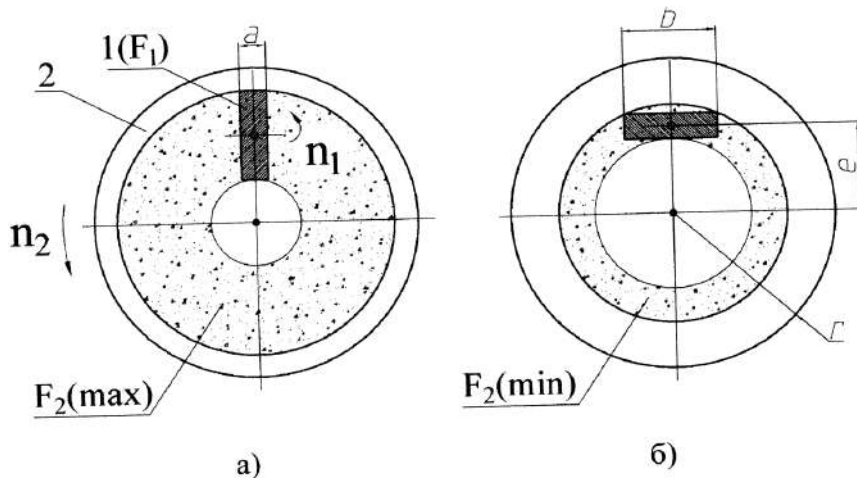


Рисунок 1 – Схема контакту трибоспряження зразків та дослідження зміни коефіцієнту взаємного перекриття  $K_{en}$ :  $K_{en} \rightarrow \min$  (а),  $K_{en} \rightarrow \max$  (б):  $n_1$  - частота обертання зразка 1,  $n_2$  - частота обертання спряженого зразка 2;  $a, b$  - розміри зразка 1,  $e$  - ексцентриситет,  $r$  - радіус зразка 2

Враховуючи площі тертя спряжених зразків визначено граничні значення величини коефіцієнту взаємного перекриття:

$$K_{en} = \frac{ab}{\pi \left[ \left( e + \frac{b}{2} \right)^2 - \left( e - \frac{b}{2} \right)^2 \right]}; \quad (2)$$

$$K_{en} = \frac{ab}{\pi \left( \frac{b^2}{4} + 2ea \right)}. \quad (3)$$

Цикл проведених лабораторних досліджень, одержані експериментальні дані, їх системний аналіз з позиції структурно-енергетичної теорії тертя та зношування дозволили побудувати фізичну модель впливу масштабного фактора  $K_{en}$  на основні протікаючих процесів в зоні фрикційного контакту (рис.2).



Рисунок 2 – Фізична модель впливу масштабного фактору на процеси в зоні фрикційного контакту:  $N$  – зусилля навантаження на зразок,  $m$  – мастило,  $n_1, n_2$  – частоти обертання зразка та контртіла,  $a, b$  – розміри досліджуваного зразка,  $r$  – розмір контртіла спряженого зразка (диску),  $e$  – ексцентриситет,  $I_u$  – інтенсивність зношування,  $f_{mp}$  – коефіцієнт тертя,  $R$  – параметр контактного електроопору,  $T_{mp}$  – температура в зоні тертя,  $K_{en}$  – коефіцієнт взаємного перекриття.

Створена комплексна установка дослідження трибологічних характеристик та властивостей на базі машини тертя дозволяє планувати і проводити вирішенні ряду основних практичних завдань трибології: підбір матеріалів і технологій виготовлення трибоспряжень зразків і деталей, формування композиційного мастильного матеріалу, геометричних параметрів вузлів тертя, засобів захисту від абразивного зношення. При цьому весь цикл дослідження проводиться без зупинки машини тертя, заміни досліджуваних зразків, що не порушує цілісності фізики процесу тертя та зношення в зоні фрикційного контакту, безпосередньо інформує про кінетику зміни основних триботехнічних, електричних параметрів в залежності від зміни структурного стану поверхонь тертя - утворення, трансформації та руйнування вторинних структур.

### **Список літератури**

1. Аулін В.В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія. Кіровоград: Вид. Лисенко В.Ф., 2014. - 370 с.
2. Аулін В.В., Лисенко С.В., Кузик О.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення. Монографія. – Кропивницький: видавець Лисенко В.Ф., 2016. 304 с.

## **МЕХАНІЗМ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПОСІВНИХ КОМПЛЕКСІВ**

**В.М. Савченко**, канд. техн. наук, доц.,

**Т.Б. Веремій**, студ.,

*Поліський національний університет, м. Житомир, Україна*

Великий внесок у вивчення явищ, які відбуваються при абразивному зношуванні, зробили М.М. Хрущов, І.В. Крагельский, Б.І. Костецький, М.М. Тененбаум, В.І. Дворук, В.А. Войтов, В.В. Аулін та інші.

На даний час різні дослідники по-різному пояснюють механізм абразивного зношування. Найбільш розповсюджене пояснення зводиться до уявлення абразивного процесу зношування, як результату дряпання металу абразивними частинками, яке викликає мікрорізання поверхні металу. Подібного трактування дотримуються В.Ф. Лоренц, В.Д. Кузнецов, А.К. Зайцев, В.Н. Кащеев, В.М. Глазков та інші.

Під абразивним зношуванням М.М. Хрущов і М.А. Бабічев розуміють руйнування поверхні металу абразивними частинками мінерального походження.

Б.І. Костецький запевняв, що руйнування при абразивному зношуванні проходить унаслідок зім'яття й зрізання мікрооб'ємів металу та утворення стружки сколювання й зміцнення поверхневих шарів. Науковою школою Б.І. Костецького теоретично обґрунтовано загальну закономірність процесів тертя і зношування в умовах абразивного середовища, у якій механохімічний фактор посідає одне з основних місць.

У реальних умовах роботи обладнання та інструментів при абразивному зношуванні можливі різні схеми зовнішньої силової дії абразиву. Костецьким Б.І. систематизовано абразивний вид зношування за характером дії абразивної частинки на контактні поверхні зношування:

- ковзання по монолітному абразиву;
- удар по абразиву;
- кочення по абразиву;
- дія абразивного потоку;
- рух у масі незакріплених абразивних частинок.

Проф. Ткачов В.М. виділив окремо зношування при терті з абразивним прошарком.

Зношування в незакріпленій абразивній масі найбільш характерне для сільськогосподарської техніки.

Проф. М.М. Тененбаумом зазначив, що для сільськогосподарських машин абразивний знос при русі в масі абразивних частинок можливо поділити на два підвиди:

- при переміщенні в ґрунтовій масі й мінеральних добривах;
- при переміщенні в органічній масі, яка вміщує абразивні частинки.

У сільському господарстві абразивному зношуванню найбільше піддаються деталі машин, що працюють в ґрунтовій масі (ґрунті).

Розглянемо схему фрикційного контакту (рис. 1) при переміщенні деталі в середовищі ґрунту. Як показано на схемі (рис 1), з поверхнею деталі стикаються порівняно слабо зв'язані між собою тверді частинки, з різноманітними механічними властивостями, різною формою й розмірами; на кожен частинку діє визначена для абразивної маси нормальна сила  $P_i$ , і кожна з контактуючих частинок здатна витримувати до суттєвої зміни свого положення (щодо сусідніх частинок) деяку силу  $F_i$ , направлену паралельно поверхні деталі. Абразивне середовище з такими зв'язками є напівзакріпленим.

Контакт твердої частинки з поверхнею деталі здійснюється на площі малої величини, яку в першому наближенні можна вважати сферичною. Радіус цієї сфери  $R_i$  загалом не має прямого зв'язку з розміром абразивного зерна (рис. 1).

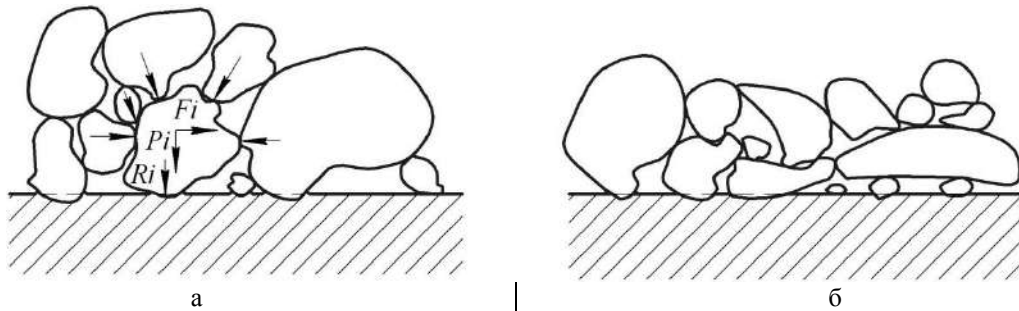


Рисунок 1 – Схема контакту абразивних частинок із поверхнею деталі: а) – при взаємодії з відносно великими частинками абразиву; б) при взаємодії з відносно невеликими частинками абразиву.  $R_i$  – радіус контактної поверхні абразивної частинки,  $P_i$  – нормальне навантаження, що припадає на конкретну частинку,  $F_i$  – сумарна дотична сила, яка втримує частинку від зміщення по відношенню до сусідніх частинок (така сила визначається ступенем закріпленості абразиву)

На ділянці, де відбувається взаємодія абразивної маси з поверхнею деталі, виникає контактне напруження:

$$\sigma_M = f(R_i; \Pi_i; P_i; F_i), \quad (1)$$

де  $R_i$  – радіус контактної поверхні абразивної частинки;

$\Pi_i$  – показник механічних властивостей абразивної частинки (міцність, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона);

$P_i$  – нормальне навантаження, що припадає на певну абразивну частинку;

$F_i$  – сумарна дотична сила, яка втримує частинку від зміщення щодо сусідніх абразивних частинок (така сила визначається ступенем закріпленості абразиву).

Залежно від величини виникаючих напружень  $\sigma_M$  механічні процеси, що протікають у поверхневому шарі, який контактує з масою абразивних частинок, можуть бути такими:

- пружне деформування мікрооб'ємів матеріалу; зменшення міцності поверхневого шару при одночасній дії середовища; втомлювальне руйнування об'ємів;
- пластичне деформування мікрооб'ємів матеріалу; зменшення міцності поверхневого шару при одночасній дії середовища; полідеформаційне руйнування мікрооб'ємів матеріалу;
- руйнування мікрооб'ємів матеріалу шляхом зрізу або відриву.

Питаннями переходу від пружного деформування до пластичного деформування й переходу до зрізу займався І.В. Крагельський. Закономірності, встановлені для металічних тіл, не враховують факторів (міцність абразивних зерен, ступеня закріпленості, форма абразиву), характерних для зношування в абразивній масі.

## ***THEORETICAL REPRESENTATIONS ABOUT DESTRUCTION OF METAL LAYERS WITH VARIABLE COMPOSITION AND PROPERTIES***

**Peremitko. V.**, *d.t.s., professor*

**Kolovoyets I.**, *postgraduate*

*Dniprovsk State Technical University, c.Kamyanske, Ukraine*

Most of machines (85-90%) fail because of wear of parts. The complexity of repair and technical service of many road and construction vehicles, their service life is about 15 times higher than the manufacture of new ones [1]. The unevenness of fracture over area is the feature of many contact surfaces' friction. As a solution to this problem, the formation of layers of variable composition and properties by arc surfacing was proposed [2,3,4]. In scientific works, views regarding the nature and course of wear of both the directly contact surfaces of parts [5] and metal layers formed by arc surfacing with various orientations of deposited beads have been formulated [6]. But there is no understanding of destruction process of surfaces with variable composition and properties.

Considering this, this, it was decided to simulate destruction case of two metal surfaces with variable composition and properties under dry friction. Providing variable composition and properties within the same surface, zones of different hardness and zones of different phase composition can alternate. To provide variable composition and properties within the same surface, zones of different hardness and zones of different phase composition can be alternated. The orientation of such zones can be transverse or longitudinal to the rotation of the bodies that are wearing.

In all cases the products of destruction will be pushed by the direction of destruction. However, if in the case of lateral orientation products will accumulate between zones of higher hardness, then in the case of longitudinal orientation, they will most often fall off from the surface. But if during transverse orientation products will accumulate between zones of higher hardness, then during longitudinal orientation, they will most often crumble from the surface.

The process of friction of surface with longitudinally alternated components with different wear resistance is an exception. Despite the specifics of the surface configuration, products of sticking will be localized in more loaded areas [1].

From orientation on the contact surfaces of zones of different wear resistance, control of the transport of fracture products depending on the orientation of the differentiated zones, preventing adhesion bonds and, as a result, tearing metal due to the transverse rotation of the orientation of the zones of increased hardness are expected.

### **Bibliography**

1. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безысность): Учебник. — 4е изд., перераб. и доп. — М.: "Издательство МСХА", 2001. 616 с.
2. Лещинский Л. К., Гулаков С. В., Степнов К. К., Носовский Б. И. Валки с наплавлением флюем новой констукции повышают эффективность работы прокатных станов. Наплавка. Опыт и эффективность применения. / ред. П. В. Гладкий. Киев. 1985. С. 17-20.
3. Иванов В.П. Теоретичні і технологічні основи підвищення ефективності процесу електродугового наплавлення на основі моделювання формоутворення зварювальної ванни : дис. ... док. тех. наук : 05.03.06 / Приазовський державний технічний університет. Маріуполь. 2019. 360 с.
4. Яриза-Стеценко А. В. Вдосконалення технології дугового наплавлення шару змінного хімічного складу легуванням його з флюсу: автореф. дис...канд. техн. наук : 05.03.06., - Краматорськ, 2012. 220 с.
5. Крагельский И. В. Трение и износ. Изд. 2-е перераб. и доп. М., изд-во "Машиностроение", 1968, 480 стр.
6. Чигарев В. В., Иванов В. П., Псарёва И. С. Повышение работоспособности деталей и инструмента наплавкой гетерогенного слоя. В. В. Чигарев, В. П. Иванов, И. С. Псарева // Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. пр. / ПДТУ. - Маріуполь, 2003. - Вип. 7. - С. 234-237.

## ПРОЦЕСИ НА МЕЖІ РОЗДІЛУ ФАЗ

С.В. Міненко, канд. техн. наук, доц.,

К.В. Сологуб, студ.,

Поліський національний університет, м. Житомир, Україна

На практиці ми завжди маємо справу з поверхнею розділу між двома контактуючими фазами, на властивості якої впливають зміни в будь-якій з фаз.

Відповідно з трьома станами речовини (твердий, рідкий, газоподібний) можна виділити наступні типи поверхні розділу: тверде тіло – тверде тіло (ТТ–ТТ); тверде тіло – рідина (ТТ–Р); рідина – рідина (Р–Р); газ – рідина (Г–Р); газ – тверде тіло (Г–ТТ).

Таким чином, будь-яка гетерогенна система володіє поверхнею розділу фаз і характеризується поверхневою енергією. Впливаючи на поверхню розділу адсорбованими поверхнево-активними молекулами, змінюючи її енергію; можна управляти фізико-хімічними процесами, що відбуваються на межі розділу фаз.

*Межа розділу фаз тверде тіло-тверде тіло.* На такій границі відбувається процес взаємодії (адгезія) між конденсованими тілами при їх контакті. На практиці – це адгезія частинок, плівок, лакофарбових покриттів і структурованих пружно-пластичних мас, наприклад бітумів, смолястих відкладень, отверділого клейового шару і т. д. до твердої поверхні.

При приведенні в контакт поверхонь двох твердих тіл (спряжень, трибоспряжень) на межі розділу виникає зчеплення.

Це зчеплення може бути відносно слабким, якщо воно виникає як наслідок фізичного тяжіння; одного тіла до іншого, або дуже сильним за рахунок хімічних зв'язків. При прикладанні стискаючого навантаження ймовірність виникнення міцного зчеплення підвищується.

Для двох, атомно-чистих контактуючих поверхонь сили тяжіння між твердими тілами достатні, щоб забезпечити, міцне зчеплення завдяки електронній природі їх поверхонь. При цьому адгезійний зв'язок діє на площі фактичного контакту.

При тангенціальному відносному русі поверхонь відбувається розрив адгезійних зв'язків. В реальних умовах ці зв'язки рідко рвуться на поверхні контакту, частіше це відбувається в тілі з більш слабким когезійним зв'язком. Матеріал останнього переноситься на сполучену поверхню контртіла, відбувається зношування, обумовлене адгезією. В деяких системах адгезійне зношування проявляється і без відносного тангенціального переміщення поверхонь. Класичним прикладом таких систем є роз'ємні та розривні електричні контакти.

В узагальненому законі тертя; запропонованому Б.В. Дерягіним, враховуються як зовнішнє навантаження; так і; адгезія на взаємодія:

$$F_{mp} = \mu(F_{ad} + F_0), \quad (1)$$

$$F_0 = P_S S$$

де  $F_{mp}$  – сила статичного тертя;

$F_{ad}$  – сила адгезії;

$F_0$  – сила взаємодії контактуючих поверхонь;

$\mu$  – коефіцієнт тертя;

$S$  – площа істинного контакту;

$P_S$  – тиск, викликаний силою  $F_0$ , яке діє на площу  $S$ .

Дослідження А.С. Ахматова підтвердили, що перший член в рівнянні (1) обумовлений силою адгезії. Коефіцієнт тертя можна представити у вигляді:

$$\mu = \mu_{ad} + \mu_P \quad (2)$$



де  $\mu_{ad}$  і  $\mu_r$  – коефіцієнти тертя за рахунок адгезії і тиску.

*Границя розділу фаз тверде тіло - рідина.* Тверді поверхні обмежують рідку фазу, визначають її форму і обумовлюють появу кордону розділу. При контакті рідини з твердою поверхнею виникає адгезія на взаємодія. Одночасно рідина змочує цю поверхню.

Адгезійна взаємодія між рідкою і твердою фазами поширюється на невелику відстань вглиб рідини. Це відстань вимірюється розмірами молекул. У міру відходу шару рідини від поверхні твердого тіла адгезійна взаємодія зменшується, поступаючись когезійній взаємодії. При видаленні рідини з твердої поверхні можливий або адгезійний відрив на межі рідина-тверде тіло, або когезійний відрив, коли порушується межа рідина-рідина. У деяких випадках має місце адгезійно-когезійний відрив.

На практиці зустрічаються два типи взаємодії рідини з твердим тілом: адгезія обмеженого об'єму рідини, тобто адгезія краплі, і адгезія великої кількості рідини (рідина в ємності, плівка рідини на поверхні твердого тіла і т.д.).

Адгезія і змочування – дві сторони одного і того ж явища, що виникає при контакті рідини з твердою поверхнею. Адгезія обумовлює взаємодію між твердим тілом і рідиною що знаходиться в контакті з ним, змочування виникає в результаті цієї взаємодії.

Адгезія визначається взаємодією на межі розділу фаз, залежних від величин їх питомих вільних поверхневих енергій. Поверхня рідини може мимоволі скорочуватися, що вказує на наявність цієї енергії, яка визначається роботою, яку необхідно затратити на утворення одиниці нової поверхні рідини.

Адгезія і змочування твердої поверхні лежить в основі багатьох процесів. Змочування поверхні металу викликає негативний процес електрохімічної корозії. При боротьбі з зносом велике значення має адгезійна взаємодія мастила з поверхнями спряжень. Залежно від призначення мастильних матеріалів змочування або твердих поверхонь повинно бути різним. Для змащування приладів необхідно збереження мастила протягом декількох років. Такі мастила повинні розтікатися по твердій поверхні, повинні міцно фіксуватися в трибоспряженні і витримувати значні навантаження. При застосуванні мастильних матеріалів для зменшення тертя між рухомими плоскими поверхнями необхідно найбільш повне розтікання мастила. Такі поверхні повинні добре змочуватися, адгезійна взаємодія між мастильним матеріалом і твердою поверхнею повинна бути максимальним. Змочування і адгезія рідин в умовах сільськогосподарського виробництва мають велике значення при обприскуванні хімікатами рослин.

*Границя розділу рідина-рідина.* На границі між двома незмішуваними рідинами виникає прикордонна фаза, що володіє поверхневою енергією, яка визначається складом обох гомогенних рідких фаз.

Поверхневий натяг на межі двох незмішуваних рідин – це міжфазний поверхневий натяг. Так як рідини не є абсолютно незмішувальні, то необхідно завжди брати до уваги їх взаємну розчинність. У випадку двох повністю взаємно розчинних рідин прийнято вважати, що між фазний поверхневий натяг дорівнює нулю.

За правилом Антонова міжфазний поверхневий натяг двох рідин, що знаходяться у взаємній рівновазі, пов'язаний з поверхневим натягом:

$$\sigma_{ab} = \sigma_a - \sigma_b \quad (3)$$

де  $\sigma_{ab}$  – поверхневий натяг на поверхні розділу двох рідин;

$\sigma_a$  і  $\sigma_b$  – відповідно поверхневий натяг рідин  $a$  і  $b$  на поверхні розділу двох рідких фаз.

На практиці застосування знайшли емульсії, що представляють собою систему з двох рідких фаз, одна з яких дисперсійне середовище або безперервна фаза. З однієї пари незмішуваних рідин можна отримати дві емульсії, причому одна з них буде зворотною формою іншої емульсії у відношенні преривної і безперервної фаз. Об'ємне відношення фаз рідко перевищує 1:1000, і злипання крапель при зіткненні внаслідок теплового, тобто броунівського руху, відбувається зазвичай порівняно швидко.

При додаванні емульгаторів об'ємне відношення дисперсної фази збільшується і емульсія стає більш стійкою. Емульгатори можуть збільшити стабільність емульсії двома способами:

- утворюючи навколо дисперсної фази плівку, яка своєю механічною міцністю перешкоджає злипанню при зіткненні;
- знижуючи міжфазну поверхневу енергію до малих величин і зменшуючи тим самим прагнення до злипання.

Емульгатор повинен знаходитися на межі розділу між двома рідинами, надавати їй механічну міцність і впливати на міжфазний поверхневий натяг, знижуючи його.

Основне застосування емульсій в техніці: в дорожньому будівництві; для обприскування рослин у сільському господарстві; для обробки металів; в якості альтернативного палива.

*Границя розділу рідина – газ.* Якщо рідина межує з газом, то з одного боку, відбувається проникнення молекул рідини в область газу (випаровування), з іншого – проникнення молекул газу в середовище молекул рідини (розчинення).

Якщо система Р – Г знаходиться в замкнутому об'ємі, то (при достатній кількості рідини) настає рухлива рівновага між молекулами, що переходять із рідини в газ і назад. Рухлива рівновага буде повною тільки в тому випадку, якщо кількість молекул газу, що розчиняються в рідині і та що виділяються : з розчину, через будь-яку з частини його поверхні за будь-який проміжок часу будуть рівні. При цьому концентрація газу в розчині досягне певного рівноважного значення. Рівноважне значення концентрації залежить від: хімічної природи газу та рідини, температури і тиску.

Перехід з рідкого стану в газоподібний пов'язаний, зі значним збільшенням об'єму і зменшенням густини речовини. При збільшенні об'єму теплота пароутворення витрачається на здійснення роботи проти зовнішнього тиску і на підвищення внутрішньої енергії. При зворотному процесі конденсації пари в рідину виділяється теплота конденсації.

На поверхні розділу Р – Г відбуваються такі явища:

- утворення плівки на поверхнях складних органічних речовин, якому сприяють наявність в'язкої рідини і низький поверхневий натяг на межі розділу рідина - повітря;
- піноутворення;
- окислення вуглеводнів за рахунок дифузії молекул кисню з газоподібної фази в рідку ;
- втрати рідин при зберіганні у відкритих ємностях або негерметичній упаковці:

*Границя розділу газ-тверде тіло.* Газ, приведений в зіткнення з твердим тілом, адсорбується на поверхні в кількості, яка залежить від природи газу і твердого тіла, від парціального тиску газу і структури твердого тіла. Це явище адсорбції часто ускладнюється абсорбцією (розчиненням в твердому тілі) з утворенням твердих розчинів або хімічних сполук.

У адсорбції беруть участь сили двох типів: фізичні та хімічні. Фізичну адсорбцію створюють дисперсійні сили (далекодючі) і сили, обумовлені дипольними моментами адсорбованих молекул.

При хемосорбції відбувається перехід електронів між твердим тілом і адсорбованими молекулами, внаслідок чого утворюється хімічна сполука, але утворюється вона тільки в одному шарі атомів або молекул на, поверхні твердого тіла. Тому можна сказати , що в процесі хемосорбції беруть участь валентні сили.

Взаємодія газів з поверхнею металу відіграє істотну роль при каталізі, корозії та в інших важливих процесах. Адсорбцію газів на металах використовують для створення надвисокого вакууму. До каталітичних реакцій, що відбуваються на поверхні розподілу метал-газ, відноситься знешкодження вихлопних газів двигунів внутрішнього згорання. Вивчення взаємодії поверхні металу з киснем має велике значення для вирішення проблеми боротьби, з корозією.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ СПРАЦЮВАННЯ ШИЙОК КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ДВИГУНА Д-242 В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД НЕСПІВВІСНОСТІ КОРІННИХ ОПОР БЛОККАРТЕРА**

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

**М.В. Ткаченко**, ст. викл.,

**П.В. Кожушко**, студ.

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Довговічність відремонтованого двигуна значною мірою залежить від надійної роботи сполучень корінних шийок колінчастого валу з тонкостінними вкладишами. Сполучення "вкладиш - корінна шийка" перш за все лімітує довговічність двигуна. В той же час надійність роботи цього сполучення багато в чому залежить від умов опирання багатоопорних колінчастих валів на корінні опори блоку [1, 2]. Тому вивчення стану корінних опор, збільшення терміну служби блоку, а також вивчення зносу і працездатності колінчастого валу і корінних підшипників в реальних умовах експлуатації, встановлення причин, що знижують їх довговічність, має велике практичне значення.

В роботах Білова Е. О. [1], Краснова В.В. [2], Тяжелова І.Н. [3], Фінкельштейна Е.С. [4], Ільякова Б.В. [5] визначено, що однією з основних причин недостатнього терміну служби двигуна після капітального ремонту є деформація базових поверхонь блоку і кришок, яка приводить до зміни форми і розміру корінних опор блоку по діаметру і зсуву центру отворів середніх корінних опор щодо крайніх, тобто приводить до неспіввісності останніх. Все це впливає на початкове взаємне розташування поверхонь тертя і приводить до інтенсивного зношування колінчастого валу і корінних підшипників. Ці чинники є найбільш поширеними в сучасних машинах і виникають через виникнення деформацій від навантажень, що діють, порушення технічних умов на монтаж деталей і ін. [4,5,6].

Впливу зміни діаметру і неспіввісності корінних опор блоку на працездатність колінчастого валу і корінних підшипників присвячений цілий ряд робіт. Теоретичні розробки і експериментальні дослідження Тяжелова І.Н. [3,7] показують, що неспіввісність корінних опор блоку є основним чинником, що визначає як міцність колінчастого валу, так і довговічність корінних підшипників.

Автор робіт [8], займаючись дослідженням двигунів Д-35, Д-54, що поступають в капітальний ремонт, прийшов до висновку, що вирішальне значення на термін служби корінних підшипників і колінчастого валу надають два чинники: неспіввісність корінних опор блоку і зазор в корінних підшипниках.

Краснов В.В. [2,9], розглядаючи вплив неспіввісності опор під вкладиші корінних підшипників на навантаженість колінчастого валу тракторного двигуна, також прийшов до висновку, що одній з основних причин, що приводять до підвищення навантаження на шийки і, в окремих випадках, до поломки валу є неспіввісність корінних опор блоку.

Крім того, Тарасов А.І. в своїй роботі [10] відзначає, що багатоопорні колінчасті вали в результаті неспіввісності опор під вкладиші корінних підшипників сильно прогинаються. Аналіз зв'язку між формою пружного прогину колінчастого валу і розташуванням зон підвищеного зносу по колу і довжині корінної шийки, показує, що підвищений місцевий знос викликаний наслідками пружного прогину валу. А пружний прогин колінчастого валу, спричиняє за собою зміну в положенні шатуна, а значить і поршня в циліндрі. Дослідження, проведені авторами, показують, що нерівномірний знос вкладишів і корінних шийок колінчастого валу двигуна ЗІЛ-І30 є наслідком неспіввісності опор під вкладиші корінних підшипників [11, 12].

Мета дослідження: визначити вплив неспіввісності корінних опор блоккартерів двигуна Д-242 на спрацювання шийок колінчастих валів

Дослідження проводилось в рамках реалізації Програми впровадження регіональних наукових досліджень у промислове виробництво Кіровоградської області на 2017-2020 роки між університетом та координатором виконання заходів і завдань Програми – Департаментом інфраструктури та промисловості Кіровоградської обласної державної адміністрації згідно договору від 22 листопада 2019 року № 31.119 на виконання науково-дослідної роботи "Розробка та впровадження технології та оснащення для відновлення співвісності та оптимальних геометричних параметрів корінних опор блоккартерів ДВЗ".

У основу експериментальних досліджень покладений порівняльний метод, який заснований на аналізі працездатності сполучення "вкладиш – коріна шийка" колінчастого валу і двигуна в цілому по зміні діагностичних параметрів залежно від неспіввісності корінних опор блоку.

Мінімальне число об'єктів спостережень підраховане по ГОСТ 17510-79. Всі заміри проведено згідно ГОСТ 18509-80. Блоки заміряні в зборі з кришками при моменті затягування болтів 30-32 Н-м. Схема вимірів діаметру корінних опор блоків приведена на рис. 1а),б). Виміри проведені в 3-х площинах (А-А, Б-Б, В-В) і 2-х перетинах (І-І, ІІ-ІІ). Перший перетин вибрано найближчий до радіатора, заміри проведені на відстані 8 мм від початку корінної опори блоку. Другий перетин брали на відстані 8 мм від кінця корінної опори. Заміри проведені нутроміром індикаторним 50 - 150 мм. Погрішність вимірювання +12 мкм.

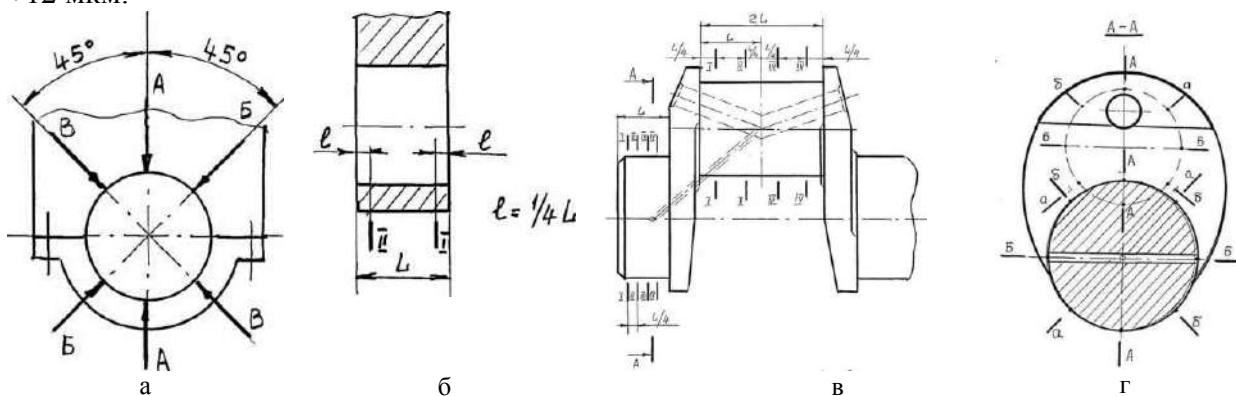


Рисунок 1 – Схема вимірів діаметрів корінних опор та корінних і шатунних шийок колінчастих валів двигунів Д-242

Одночасно з вимірюванням діаметру корінних опор заміряли і деформацію в блоках і кришках цих опор. Виміри проведені пристосуванням, виготовленим по аналогії з приладом Ярославського об'єднання "Автодизель" [7] для виміру деформації корінних опор блоку двигуна ЯМЗ-236. Погрішність вимірювання +4 мкм.

Схема виміру діаметрів корінних і шатунних шийок колінчастих валів приведена на рис. 1в),г). Кожна шийка заміряна в 4-х перетинах (І-І, ІІ—ІІ, ІІІ—ІІІ, ІУ-ІУ) і 2-х взаємноперпендикулярних площинах (А-А, Б-Б). Крім того, кожна шийка додатково заміряна ще в 2-х взаємноперпендикулярних площинах (а-а, б-б), розташованих під кутом 45° до горизонту. Виміри діаметру корінних і шатунних шийок колінчастих валів проведені мікрометром 50-75 мм. Погрішність вимірювання +10 мкм.

Для дослідження зносу колінчастих валів двигунів Д-242, що поступають в капітальний ремонт по ГОСТ 17510-79 підраховано мінімальне число об'єктів спостережень. Мінімальне число колінчастих валів, що поступають в капітальний ремонт з блоками складо 61 (при довірчовальній вірогідності  $\beta = 0,95$ ; відносній помилці  $\delta = 0,10$ ; коефіцієнті варіації  $\gamma = 0,46$ ). Об'єм вибірки прийнятий  $N = 75$ .

Для дослідження впливу неспіввісності на знос колінчастого валу і вкладишів корінних підшипників із загального числа розглянутих блоків, що поступають в капітальний ремонт розглянуто 20 блоків, що мають найбільші і найменші значення неспіввісності

середніх корінних опор, а також знос корінних і шатунних шийок колінчастих валів і нижніх (що мають найбільший знос) вкладишів корінних підшипників, що поступали в капітальний ремонт з даними блоками.

На мал. 2 представлені найбільші (а) і найменші (б) значення неспіввісності 2,3 і 4 корінних опор окремих з розглянутих блоків, і показаний вплив неспіввісності на знос колінчастих валів і вкладишів корінних підшипників. З рис.2 видно, що із збільшенням неспіввісності 2,3 і 4 корінних опор блоків знос корінних і шатунних шийок колінчастих валів, а також знос нижніх вкладишів корінних підшипників збільшується. Із зменшенням неспіввісності середніх корінних опор обох конструкцій блоків, знос корінних і шатунних шийок колінчастих валів і нижніх вкладишів корінних підшипників зменшується (б).

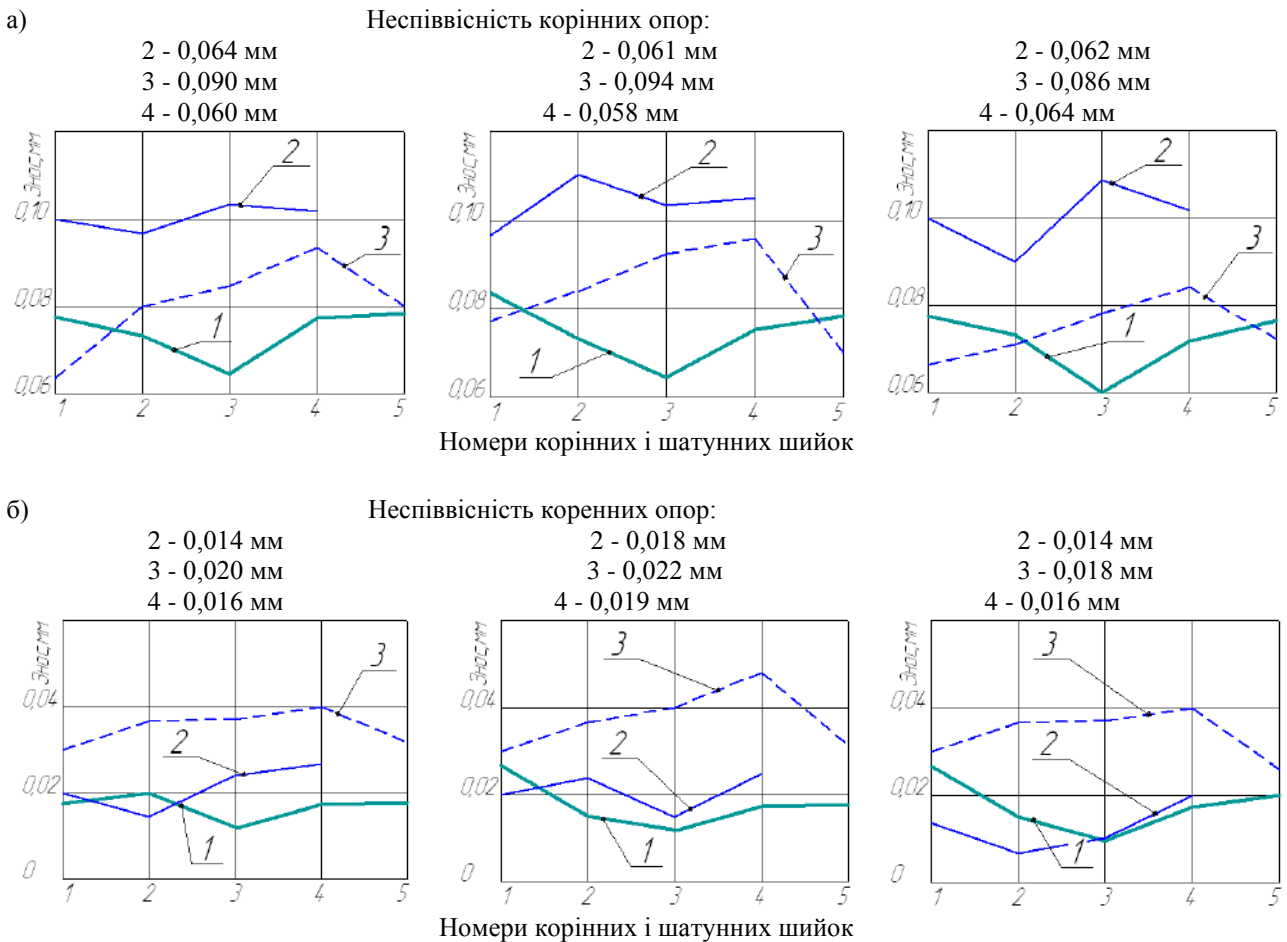


Рисунок 2 – Вплив максимальної (а) і мінімальної (б) неспіввісності корінних опор блоків на знос колінчастих валів і вкладишів корінних підшипників: 1 – спрацювання корінних шийок; 2 - спрацювання шатунних шийок; 3- спрацювання нижніх вкладишів корінних підшипників.

Значення неспіввісності I блоку: неспіввісність 2,3 і 4 корінних опор складає - 0,064, 0,090 і 0,060 мм відповідно, 2 блок: неспіввісність 2,3 і 4 корінних опор складає - 0,061, 0,094 і 0,058 мм відповідно, 3 блок: неспіввісність 2,3 і 4 корінних опор складає - 0,062, 0,086 і 0,064 мм відповідно)

Найбільший знос колінчастих валів і вкладишів корінних підшипників складає: 0,085 мм - знос корінних шийок, 0,113 мм - знос шатунних шийок, 0,083 мм - знос нижніх вкладишів корінних підшипників. Така ж залежність спостерігається і при зменшенні неспіввісності середніх корінних опор: неспіввісність 2,3 і 4 корінних опор - 0,014, 0,020 і 0,016 мм відповідно, 2 блок: 0,018, 0,022 я 0,019 мм відповідно, 3 блок: 0,014, 0,018 і 0,016 мм відповідно.

Аналогічна зміна зносу колінчастих валів і нижніх вкладишів корінних підшипників залежно від неспіввісності корінних опор блоку спостерігається у всіх колінчастих валів і вкладишів корінних підшипників, що працюють в розглянутих 20 блоках.

Висновок.

Знос колінчастих валів і вкладишів корінних підшипників знаходиться в прямій залежності від неспіввісності корінних опор блоку.

### Список літератури

1. Билев Е.А. Ремонт базовых поверхностей блока цилиндров двигателя ЗИЛ-120. - Автомобильный транспорт, 1958, № 8, с.25-27.
2. Краснов В.В. Влияние несоосности коренных подшипников на нагруженность коленчатого вала тракторного двигателя. - Трудн НАГМ, 1970, вып.206, с.73-84.
3. Тяжелов И.Н. Разработка методов оценки деформации и напряжений в кривошипно-шатунном механизме. - Отчет МАДИ, 1970. 251 с.
4. Финкельштейн З.С. Исследование надежности подшипников автомобильного двигателя. - Сб.: Надежность и контроль качества. Ежемесячное приложение к журналу "Стандарты и качество", 1971, № 9, с.69-74.
5. Ильяков Б. В. Контроль диаметра и соосности опор коренных подшипников. - Автомобильный транспорт, 1970, 10, с.39-40.
6. Кузнецова С.А. Исследование износов постелей блока двигателей ЯМЗ-238НБ, поступающих в капитальный ремонт. - Научные труды ЛСХИ, т.339, Ленинград-Пушкин, 1976, с.51-54.
7. Тяжелов И.Н. Теоретическое и экспериментальное исследование прочности и жесткости коленчатых валов. - Отчет МАДИ, 1968, с.25-31.
8. Суроев В. Ремонт блока цилиндров. - Автомобильный транспорт, 1968, II 8, с.37-38.
9. Краснов В.В., Адамович А.В. Исследование нагруженности и прочности коленчатых валов тракторных двигателей. - Тракторы и сельхозмашины, 1971, В 10, с.9-11.
10. Тарасов А.И. Напряженное состояние вкладышей подшипников коленчатого вала и изнашивание в напряженном состоянии. - Труды Новосибирского с.х. института: Пути увеличения продукции с.х., Новосибирск, 1967, с.32-37.
11. Ильяков Б. В. Контроль диаметра и соосности опор коренных подшипников. - Автомобильный транспорт, 1970, 10, с.39-40.
12. Финкельштейн Э.С., Липкинд А.Г., Синельников А.Ф., Рябов А.И. Некоторые причины снижения долговечности двигателей ЗИЛ-130. - Автомобильный транспорт, 1973, № 7, с.42-45.

### **3. ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ТА ВУЗЛІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТА ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ**

УДК.669.715

#### **ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ ЛАЗЕРНОЮ ОБРОБКОЮ**

**О.Д. Мартиненко**, канд. техн. наук, доц.,  
**Т.С. Скобло**, д-р. техн. наук, проф.,  
**О.В. Сайчук**, д-р. техн. наук, доц.,  
**О.О. Гончаренко**, канд. техн. наук, доц.,  
**В.О. Мартиненко**, студ.,

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, м. Харків, Україна*

Моторесурс ДВЗ пов'язаний, в першу чергу, з довговічністю та надійністю деталей циліндропоршньової групи, зокрема, гільз циліндрів. В даний час застосовуються наступні методи зміцнення робочої поверхні гільз циліндрів [1, 2]:

- легування чавунних гільз циліндрів, яке базується на забезпеченні зміцнення металевої матриці, що відбувається завдяки гальмуванню дислокацій впроваджених атомів. Така методика зміцнення дозволяє підвищити твердість поверхні гільзи при нагріванні і опір деформації;

- азотування чавуну гільзи циліндрів - засноване на утворенні пластичної карбонітридної фази, яка підвищує твердість і зносостійкість робочої поверхні чавунної гільзи циліндрів. Недоліком азотування чавуну гільзи циліндрів є поганий підрізок поверхні під час експлуатації, що веде до погіршення шорсткості поверхні гільз. Отже, застосування азотування чавунних гільз циліндрів двигунів, які працюють в запиленому середовищі, не рекомендується.

- сульфидування і фосфатування чавуну гільзи циліндрів - утворює на поверхні гільзи циліндрів міцний шар сірчистого заліза, який має гарні характеристики, що забезпечують низький коефіцієнт тертя, високу зносостійкість, гарну роботу. Недоліком сульфидування чавуну гільзи циліндрів є утворення корозії з високою ймовірністю.

- поверхневе пластичне деформування чавуну гільзи циліндрів – засноване на застосуванні пластичності матеріалу. Обробка пластичним деформуванням дозволяє підвищити зносостійкість, твердість, корозійну стійкість, втомну міцність матеріалу за рахунок видалення мікротріщин і рисок на поверхні.

- загартування гільз циліндрів - заснована на використанні струмів високої частоти і забезпечує зміцнення на глибину до 2,5мм. Такий спосіб загартування забезпечує хорошу твердість матеріалу в 38-48HRC. Глибина зміцнення при загартуванні гільз циліндрів двигуна дає можливість проводити шліфування гільз під ремонтні розміри, що є безперечною перевагою цього способу, з точки зору продовження робочого ресурсу відновлюваної деталі, що говорить про переваги методики зміцнення загартуванням.

Однак використовуване в даний час загартування струмами високої частоти (СВЧ) пов'язано з великою неоднорідністю властивостей і високим відсотком браку внаслідок розтріскування і деформації деталей в процесі обробки. Недоліком загартування гільз циліндрів СВЧ є висока ймовірність виникнення тріщин і геометричної деформації. Для зменшення ймовірності виникнення небажаних дефектів підбирають оптимальні режими нагріву і інтенсивності охолодження деталі. Для усунення недоліків гарту СВЧ в якості джерела тепла застосовують лазер великої потужності.

Зі сказаного вище випливає, що для обробки чавунних гільз циліндрів необхідно використовувати такі альтернативні методи зміцнення, які забезпечують високу якість



поверхні та необхідні її характеристики. Слід зауважити, що за хімічним складом, згідно стандартам, матеріал гільз циліндрів двигунів вироблених у країнах СНД і чавуни, що використовуються спеціалізованими іноземними фірмами, розрізняються незначно.

Зарубіжний і вітчизняний досвід застосування ЛТО в промисловості показує, що при обробці відповідальних деталей масового і великосерійного виробництва, особливо в автомобілебудуванні, транспортному і сільськогосподарському машинобудуванні досягаються високі показники надійності і значний економічний ефект [3, 4, 5, 6].

Для відпрацювання технології ЛТО гільз було відібрано 6 гільз. За результатами хімічного аналізу матеріалу дослідних гільз, видно, що хімічний склад широко варіюється щодо вимог по стандарту, характерно кілька знижений у порівнянні з вимогами стандарту вміст марганцю та хрому, а також підвищений вміст сірки.

Роботи по ЛТО гільз проводилися [5, 6, 7, 8] на спеціалізованій CO<sub>2</sub> лазерній установці безперервної дії "Комета-2" і технологічному модулі ЛТК-3 "Клімат" в інтервалі потужності 0,8-1,2кВт. Обробку робочої поверхні гільзи здійснювали по однозаходній спіралі, одержуваної за рахунок одночасного обертання та поздовжнього переміщення лазерного променя вздовж гільзи. Необхідний радіус плями лазерного випромінювання регулювався фокусною відстанню і при обробці становив 2-4мм. Різні схеми зміцнення внутрішньої робочої поверхні гільзи реалізувалися за рахунок зміни швидкості поздовжнього переміщення променя в процесі ЛТО.

Необхідно відзначити, що обробку проводили за режимами, які забезпечували зміцнення поверхні без її оплавлення, з частковим та повним оплавленням поверхні.

Базою для порівняння вибрано гільзу, яка зміцнена за серійною технологією (базовою) з гартуванням СВЧ, глибина загартованого шару в якій становила 1,5 - 2,0 мм при 100%-ій обробці поверхні гільзи. Результати випробувань на зносостійкість темплетів (час випробування склало 100годин), вирізаних з гільз циліндрів двигуна КАМАЗ, показали, що ЛТО у всіх випадках забезпечує зносостійкість приповерхневих шарів дзеркала гільз циліндрів, що значно перевершує зносостійкість серійних деталей (загартованих СВЧ). При цьому, найбільш високим опором зношування мають гільзи, оброблені без оплавлення або з локальним опалювальному робочої поверхні. Важливим результатом є і те, що при роботі в парі з деталями зміцненими ЛТО істотно зменшується знос сполученого контртіла - хромованого поршневого кільця.

Висновок. Результати випробувань на зносостійкість зразків при різних варіантах зміцнення робочої поверхні показали, що зносостійкість гільз циліндрів, зміцнених лазером, збільшується в 2,2-4,5 рази в порівнянні з серійним варіантом зміцнення (гарт струмами високої частоти) при цьому найбільш високі результати по зносостійкості отримані при зміцненні 70-80% робочої поверхні гільзи без оплавлення або з локальним опалювальному поверхні.

### Список літератури

1. Захаров Ю. А., Рыбакова Л. А. Основные способы упрочнения рабочей поверхности гильз цилиндров двигателей автомобилей // Молодой ученый. - 2015. - №2. - С. 157-160.
2. Ивашенко С.Г., Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Шержуков И.Г., Тридуб А.Г. Анализ качества и износа гильз цилиндров дизелей зарубежного производства // "Механизация и электрификация сельского хозяйства" / М.:1997, № 7. С. 29...30
3. Saychuk O.V., Kolpachenko N.M., Martynenko O.D., Honcharenko O.O. An Analysis Of Efficient Use Of Modifying Additives In Restoration Of Agricultural Machinery // International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 29, No. 8s, (2020), pp. 2531-2537.
4. Сідашенко О.І., Тіхонов О.В., Скобло Т.С., Мартиненко О.Д., та ін.. Практикум з ремонту машин. Загальний технологічний процес ремонту та технології відновлення і зміцнення деталей машин. Том 1. / За ред. О.І. Сідашенко О.І., О.В. Тіхонова. Навчальний посібник. Харків: ТОВ "Пром-Арт". - 2018. - 416с.
5. Аулін В.В. Визначення технологічних параметрів лазерної обробки деталей з урахуванням специфіки впливу променя на конструкційні матеріали / В.В. Аулін, О.Й. Мажейка, Є.К. Солових // Вісник інженерної академії України. -2002. -№ 2. -С.30-41.
6. Мартыненко А.Д., Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Слоновский Н.В. Способ восстановления и упрочнения деталей лазерным лучом. // Сб. науч. тр.: Повышения надежности восстанавливаемых деталей машин. Вып. 4. -

Харьков: ХГТУСХ, 2000. – С.82-87.

7. Мартыненко А.Д., Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Науменко А.А., Слоновский Н.В. Метод восстановления длинномерных деталей, предварительно подвергнутых химико-термической обработке // Труды 5<sup>-ой</sup> Междунар. науч.- прак. конф. "Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве". – Харьков: ХНПК "ФЭД". 2002. – С. 367-371.
8. Мартыненко А.Д., Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Слоновский Н.В. Математическое обоснование режима лазерной обработки деталей, предварительно подвергнутых химико-термической обработке для повышения прочности восстанавливаемых покрытий // Вестник Национального технического университета "ХПИ". Сб. науч. тр. тем. вып. "Динамика и прочность машин". Вып. 10. Т.2. – Харьков: НТУ "ХПИ". 2002. - С. 138-160.

## **ВПЛИВ ДІАМЕТРА ЕЛЕКТРОДНИХ ПОРОШКОВИХ ДРОТІВ НА АБРАЗИВНУ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТІВ**

**М.М. Студент**, *д-р. техн. наук, ст.н.с.,*

**М.Я. Головчук**, *канд. техн. наук, ст.н.с.,*

**В.М. Гвоздецький**, *канд. техн. наук, ст.н.с.,*

*Фізико-механічний інститут ім.Г.В. Карпенка НАН України, м.Львів, Україна*

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

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

**Г.П. Похмурська**, *д-р. техн. наук, проф.,*

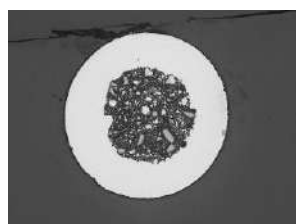
*Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна*

Електродугове напилення покриттів широко використовується у промисловості, для захисту від корозії, відновлення розмірів деталей машин а також від абразивного та газоабразивного зношування, як за кімнатних так і за підвищених температур. Для напилення зносостійких покриттів переважно використовують як електродні матеріали порошкові дроти (ПД). За рубежом як правило використовують ПД діаметром 1,6 мм. Такі ПД не завжди можуть забезпечити високий коефіцієнт заповнення шихтою, а значить і не можуть забезпечити необхідний вміст легувальних елементів у покриттях.. В той же час покриття із ПД, що експлуатуються в корозійних середовищах потребують у своєму складі не менше 12 мас.% хрому. Використання ПД більших діаметрів дозволяє суттєво збільшити їх коефіцієнт заповнення шихтою, а значить суттєво збільшити вміст легувальних елементів у структурі покриттів. Однак досліджень, які б показували вплив діаметра ПД та продуктивності напилювання покриттів на структуру та абразивну зносостійкість, у світовій літературі немає. Це стримує розвиток методу електродугового напилювання покриттів та не дає змоги створювати нові ПД із підвищеним вмістом легувальних елементів.

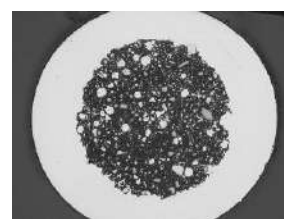
Експериментальні результати: Для напилювання покриттів використовували ПД базових систем легування Fe–Cr–C–W діаметром 1,6 та 2,4 мм (рис. 1, табл. 1), тиск повітряного струменю 0,4 МПа, напруга дуги 30В.

Таблиця 1 - Хімічний склад використаних модельних порошкових дротів

Марка ПД	Ø ПД, мм	Вміст елементів, мас. %									
		Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	B	V	Mo	W
250X21ВФГС	1,6	74,4	2,80	0,30	0,39	21,1	-	-	0,60	-	0,40
	2,4	74,00	2,51	0,62	0,38	21,4	-	-	0,52	-	0,55
50X6Г2МС	1,6	91,7	0,41	0,40	1,56	5,4	-	-	-	0,50	-
	2,4	90,6	0,47	0,40	1,40	6,6	-	-	-	0,51	-



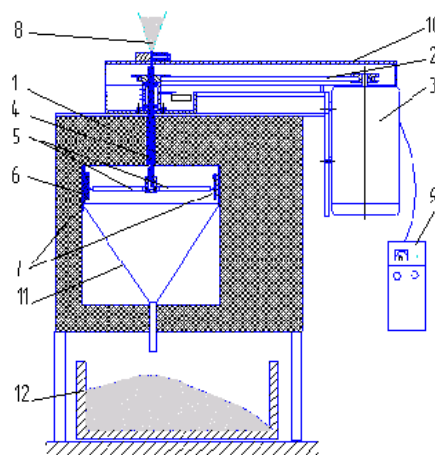
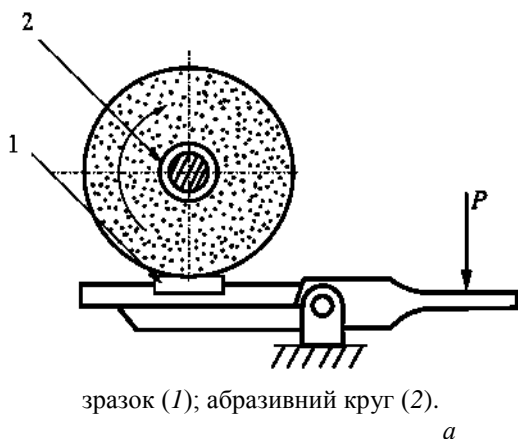
а



б

Рисунок 1 - Поперечний переріз порошкових дротів діаметром 1,6 (а) та 2,4 (б) мм

Для визначення абразивної зносостійкості використовували абразивний диск із електрокорунду середньом'якої твердості СМ-2 на керамічній зв'язці 7К15 діаметром 150 мм та шириною 8 мм (рис.2). Зернистість електрокорунду становила 250...315  $\mu\text{m}$  (25А, 25Н), лінійна швидкість тертя – 100 м/хв, навантаження в зоні лінійного контакту – 1,5 кг. Знос оцінювали за втратою маси зразків з точністю до  $2 \cdot 10^{-4}$  г електронній аналітичній вазі марки KERN ABJ 220 4М.



1 – корпус, 2 – пасова передача, 3 – електродвигун постійного струму, 4 – трубка подавання абразиву, 5 – трубки, 6 – оправка для кріплення зразків, 7 – зразки, 8 – абразив, 9 – блок управління, 10 – захисний кожух, 11 – конус для усування відпрацьованого абразиву з камери установки, 12 – сміття для абразиву

б

Рисунок 2 - Схема установки для дослідження: абразивного зношування-а, газоабразивного зношування -б

Оскільки процес напилювання покриттів проводили з використанням повітряного струменя, то виявилось, що у багатьох випадках ламелі покриттів відокремлені одна від одної тонкими прошарками оксидних фаз (рис. 3). Показали, що із збільшенням дистанції напилювання від 80 до 120 мм (що рівноцінно зростанню часу перебування крапель у повітряному струмені) вміст оксидної фази у покриттях зростає удвічі. У покриттях сформованих із ПД діаметром 2,4 мм виявили на 40...100 % більше оксидної фази, ніж у покриттях сформованих з ПД діаметром 1,6 мм. Це зумовлено більшим об'ємом шихти у ПД більшого діаметру, порожнини між порошокинками якої заповнені повітрям, яке інтенсивно окиснює краплини розплаву всередині ПД і на їх торцях під час напилювання покриттів.

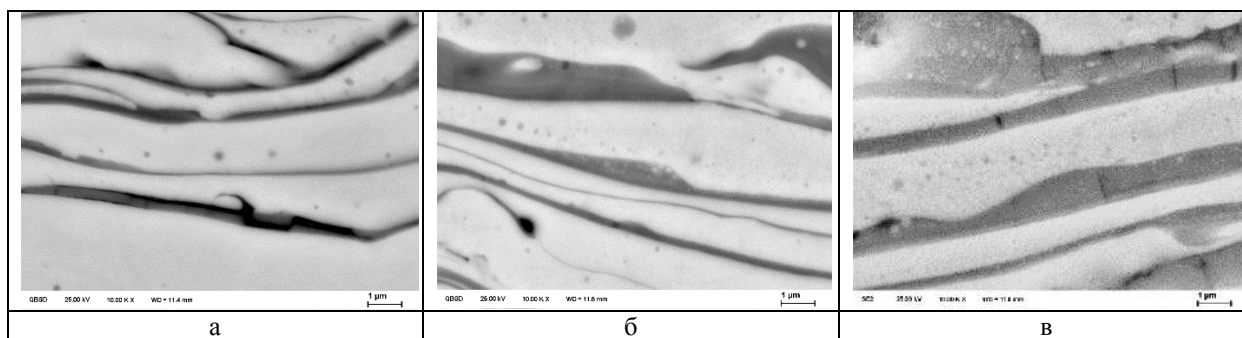


Рисунок 3 - Оксидні прошарки між ламелями у структурі покриттів, напилених порошковим дротом з дистанції 80 (а), 100 (б), 120 (в) мм

Фазовим аналізом встановили, що матричною фазою структури покриття із ПД 250Х21ВФГС був залишковий аустеніт з невеликою кількістю мартенситу та оксидів хрому та заліза ( $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_3\text{O}_4$ ) (табл. 2). Швидка кристалізація краплин на сталевій основі сприяла утворенню у структурі покриття великої кількості залишкового аустеніту. Матричною фазою покриття із ПД 50ХН2Р5ГС був мартенсит, в якому виявили нанорозмірні

включення складнолегованого бориду FeCrB та невелику кількість оксиду заліза Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. У цьому випадку швидка кристалізація краплин привела до утворення великої кількості центрів кристалізації боридів, які за браком часу встигали вирости лише до нанорозмірів.

Таблиця 2 - Фазовий склад елементів структури покриттів із досліджуваних ПД

Марка ПД	$\alpha$ -Fe, мас.%	$\gamma$ -Fe, мас.%	Оксиди, мас.%	FeCrB мас.%
250X21ВФГС	28 мартенситу	60 залишкового аустеніту	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	-
50ХН2Р5ГС	47 мартенситу	-	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	40

Із збільшенням товщини ламелей у структурі покриттів, напилених ПД 250X21ВФГС (особливо більшого діаметра), їх абразивна зносостійкість зменшується (рис. 4а). Такий результат пояснили більшою кількістю залишкового аустеніту у покритті (табл. 2), який має меншу мікротвердість ніж мартенсит. Із менших за діаметром краплин вигоряє більше вуглецю ніж із більших краплин. Тому в покритті, напиленого ПД діаметром 1,6 мм вуглецю менше, ніж у покритті з ПД діаметром 2,4 мм, а значить і менше залишкового аустеніту.

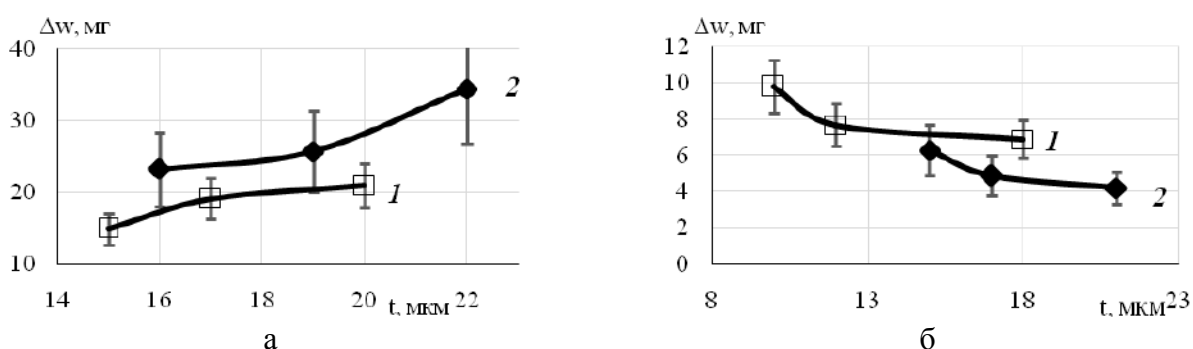


Рисунок 4 - Вплив товщини ламелей  $t$  у структурі покриттів із 250X21ВФГС (а) та ПД 50ХН2Р5ГС (б) діаметром 1,6 (1) та 2,4 (2) мм на їх абразивну зносостійкість за втратою маси зразків  $\Delta w$

Із збільшенням товщини ламелей у покриттях, напилених ПД 50ХН2Р5ГС (особливо більшого діаметра) їх абразивна зносостійкість ( $1 / \Delta w$ ) зростала. Це зумовлено збільшенням твердості таких покриттів та меншим рівнем залишкових напружень розтягу. У таких покриттях напруження розтягу релаксують завдяки утворенню мікротріщин, які, однак, не знижують абразивної зносостійкості.

Характер зміни газоабразивної зносостійкості покриттів із цих ПД аналогічний до отриманого для абразивної зносостійкості. Газоабразивна зносостійкість покриттів з ПД 250X21ВФГС зменшувалася із збільшенням товщини ламелей та діаметра ПД (рис. 5а), тоді як покриттів із ПД 50ХН2Р5ГС – вона зростала і для покриттів із ПД більшого діаметра була вищою (рис. 5б).

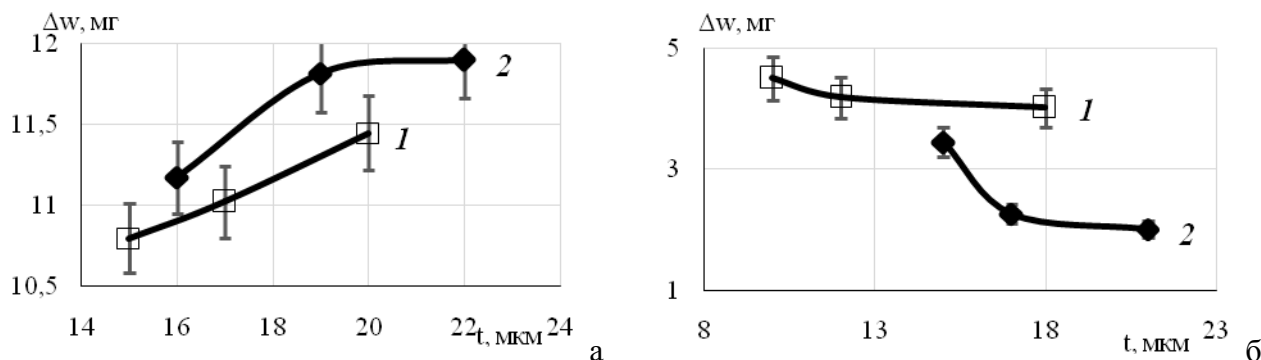


Рисунок 5 - Вплив товщини ламелей  $t$  у структурі покриттів із ПД 250X21ВФГС (а) та ПД 50ХН2Р5ГС (б) діаметром 1,6 (1) та 2,4 (2) мм на їх газоабразивну зносостійкість за втратою маси зразків  $\Delta w$

**Висновки:**

1. Із збільшенням діаметра ПД250Х21ВФГС та товщини ламелей абразивна зносостійкість покриття зменшується. Такий результат пояснюється більшою кількістю залишкового аустеніту у покритті, який має меншу мікротвердість ніж мартенсит.

2. Із збільшенням товщини ламелей та діаметра ПД250Х21ВФГС газоабразивна зносостійкість покриття зменшується, тоді як зносостійкість покриття із ПД 50ХН2ГР5С зростає. Причому зносостійкість покриття із ПД 50ХН2ГР5С більшого діаметра є вищою.

3. Газоабразивна зносостійкість покриттів із ПД250Х21ВФГС зменшується із збільшенням дистанції напилювання. Це очевидно зв'язано із збільшенням вмісту крихкої оксидної фази у покриттях. Для покриттів із ПД 50ХН2ГР5С дистанція напилювання практично не впливає на зносостійкість, так як у цих покриттях кількість оксидної фази є найменшою.

## **НЕКОТОРЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ПОКРЫТИЙ**

**Л.А. Лопата, н. с.,**

**В.Л. Кобзарь, асп.,**

**В.М. Кулыжский, асп.,**

*ИПП им. Г.С. Писаренко НАН Украины, г. Киев, Украина*

**А.В. Лопата, асп.,**

**И.В. Смирнов, д-р. техн. наук, проф.**

*Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт им Игоря Сикорского", г. Киев, Украина*

**В.Я. Николайчук, препод.**

*Винницкий национальный аграрный университет, г. Винница, Украина*

**Состояние проблемы.** Независимо от области применения покрытия адгезионная прочность (прочность сцепления) является основным фактором, определяющим его пригодность. Согласно ДСТУ 3761.1 – 98 – ДСТУ 3761.5 – 98 "Зварювання та споріднені процеси", адгезионная (прочность сцепления покрытия с основой) – условное напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей отделению покрытия от основы. Прочность сцепления принимается в качестве основного параметра оптимизации технологических процессов нанесения покрытий [1].

Вопросы адгезионной прочности затрагивают покрытия, клеевые и паяные соединения, биметаллы, композитные материалы с металлической, полимерной и кристаллической матрицей. Исследователи адгезионной прочности, как правило, рассматривают применимость теорий адгезии к какому-либо определенному виду покрытий (лакокрасочных, гальванических, жаростойких) [2, 3]. Каждый вид покрытий отличается свойствами и областью применения и для каждого вида присущи определенные теории адгезии, методы экспериментального исследования и приборы.

В работе дан анализ состояние существующих теоретических подходов и методов оценки адгезионной прочности, применяемых в исследовании различных видов адгезионных соединений.

**Цель исследований.** Оценить возможность применения существующих гипотез и теорий адгезии для решения проблем прочности материалов с покрытиями.

**Результаты исследований.** Несмотря на большое количество исследований при создании покрытий еще не разработана общая теория адгезионной прочности. Адгезионная прочность покрытий определяется лишь экспериментальными исследованиями. Существующие теории и гипотезы адгезии остаются дискуссионными. Отсутствие расчетов прочности сцепления обусловлено трудностями теоретического и экспериментального анализа формирования покрытия и сложной зависимостью процессов от большего числа параметров [1].

Обзор современных концепций и представлений, касающихся разрушения адгезионных соединений, указывает на аналогию с механикой разрушения [1]. В проведенной нами работе приведен обзор современного состояния теоретических представлений физических, химических и механических явлений адгезии.

Адгезия покрытия – образование атомной или молекулярной связи между основой и частицами покрытия во время нанесения покрытия. Многочисленными экспериментами установлено, что сцепление покрытий с основой происходит за счет различных явлений и процессов, происходящих при их нанесении – механического зацепления, физической адгезии, образования химической связи, сил усадки, металлургического взаимодействия, диффузии [2]. В соответствии с этим в основу многих теорий адгезии положены эти

отдельные явления и процессы. В основном каждая теория адгезии рассматривает одно из этих явлений как главную причину образования прочной связи, пренебрегая остальными. [3].

При образовании адгезионного соединения различают первичные (возникновение молекулярной или химической связи (ионной, ковалентной, механической)) и вторичные (химические и электрохимические реакции, растворение, диффузия) процессы [3].

Прочное сцепление возникает в результате химического взаимодействия отдельных компонент [2]. Для систем основа (металл) - покрытие предложены теория кислотно-основного взаимодействия, окисная, дендритная и электролитная гипотезы [2]. Теория и гипотезы, предложенные для объяснения сцепления металлов, довольно противоречивы, не дают зависимости способности к сцеплению от физико-химических свойств компонентов [2].

Рекристаллизационная гипотеза [2] объясняет сцепление совместной рекристаллизацией зерен на границе раздела слоев. Металлографический анализ опровергает эту гипотезу, она не объясняет многих явлений.

Энергетическая гипотеза основана на активировании сцепления пластической деформацией [2, 3]. Развитие ее привело к дислокационной гипотезе сцепления, согласно которой адгезионная связь вызвана движением дислокационных границ отдельных контактов до образования связей на всей площади контакта. Однако обе эти гипотезы не могут объяснить от каких физико-химических свойств материалов зависит адгезионная прочность.

Адсорбционная гипотеза отмечает незначительное влияние на адгезию чистых металлов физически адсорбированного газа и более значительное влияние химически адсорбированного газа [2]. Адсорбционная гипотеза развита в адсорбционную теорию адгезии, объясняющую сцепление взаимодействием межмолекулярных сил (дисперсионных, водородных, индукционных, ориентационных, электростатических). Адсорбционная теория не объясняет больших значений прочности сцепления [2].

Молекулярная теория адгезии является развитием адсорбционной теории, она учитывает поверхностную и объемную диффузию, микрореологию и эффект поверхностных сил [2]. Молекулярная теория может послужить базой для создания единой теории адгезии.

Электронная теория адгезии основана на возникновении двойного электрического слоя на границе раздела фаз. Электризация при разрушении адгезионного контакта и возникающие за ее счет силы электрического притяжения обуславливают высокие значения прочности сцепления [2, 3]. Электронная теория является своеобразным развитием адсорбционной теории. В развитие электронной теории предложена электрорелаксационная теория адгезии, учитывающая работу разрушения двойного электрического слоя на границе раздела, диффузионные явления и зависимости работы деформации адгезива от скорости деформирования [3].

Механическая адгезия зависит от шероховатости и пористости контактных поверхностей [3]. Электрохимическая теория сцепления с металлом покрытий объясняет адгезионную связь неравномерным растворением поверхности электрохимической коррозией и увеличением механической составляющей адгезии [2].

Для покрытий решающей является стадия химического взаимодействия, а в образовании адгезионной связи покрытий велика роль диффузионных процессов [2]. Согласно диффузионной теории сцепления диффузия один из эффективных способов достижения молекулярного контакта между компонентами в покрытии и в системе покрытие-основа.

Анализ теорий и гипотез адгезии, а также экспериментальных данных подтверждают достоверность диффузионной теории адгезионной прочности. Диффузионная теория адгезии развита до микрореологической, в основе которой лежат процессы, которые зависят от времени, температуры, давления [2, 3]. Диффузионная теория рассматривает адгезию как объемное явление, а не поверхностное. Диффузионное взаимодействие на границе раздела фаз приводит к образованию межфазного слоя с особыми механическими свойствами [2, 3]. Поэтому в исследовательской практике стали уделять больше внимания изучению



межфазной, интерфейсной, связующей, промежуточной зоне в покрытиях и композитах. Основные вопросы – структура и свойства этой зоны [2, 3]. Металлографический анализ переходной зоны представлен на рис. 1 [4-6].

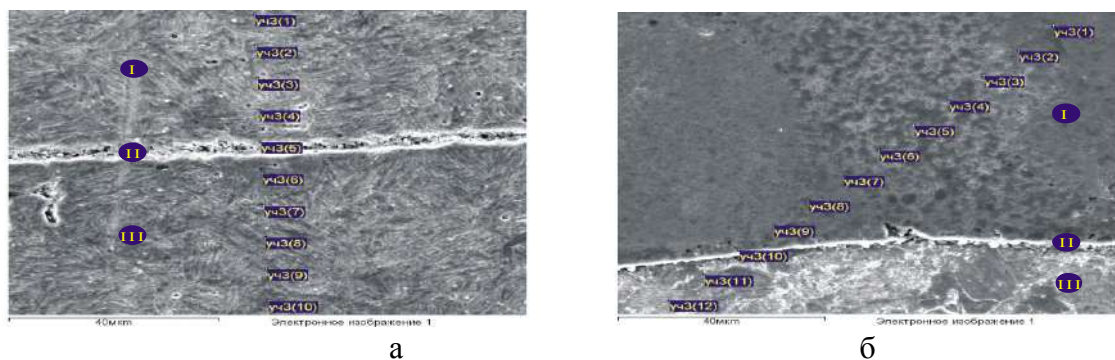


Рисунок 1 - Микроструктура покрытий (x1000), полученных электроконтактным припеканием. Материал покрытия: (а) ПГ-СР4; (б) ПГ-С1. 1 – покрытие; 2 – переходная зона (диффузионная зона), 3 – основа (подложка).

Диффузионная теория адгезии широко применяется в технологиях нанесения упрочняющих покрытий. Особенно эффективно ее применение при нанесении газотермических покрытий. На практике теория реализуется различными видами термической и механотермической обработки покрытий. Влияние термообработки на прочность сцепления различных материалов свидетельствует о роли диффузионных процессов и переходных слоев [1, 3]. Адгезионная прочность повышается за счет диффузионных процессов благодаря эффекту аномального переноса, который имеет место как при механотермической обработке покрытий, так и при термической обработке [4]. Этот эффект реализуется в технологии газотермических покрытий и их электроконтактной обработке [5]. На примере электроконтактной обработки (ЭКО) покрытий, полученных газопламенным (ГПН) и электродуговым напылением (ЭДН), достигнуто повышение адгезионной прочности покрытий с основой в два раза. При механотермической обработке (МТО) [4] напыленных покрытий (например, электроконтактной и др.) газотермических покрытий скорость диффузии ускоряется на несколько порядков [5, 6].

Адгезионная прочность (прочность сцепления) покрытий зависит как от состава покрытия, так и от рельефа поверхности, на которую наносится покрытие, от образования промежуточных слоев при нанесении покрытий [1]. Существующие теории и гипотезы адгезии рассматривают только соотношение между теоретической и реальной адгезионной прочностью и не противоречат, а только дополняют одна другую.

На снижение адгезионной прочности системы основа-покрытие влияют остаточные напряжения ( $\sigma_{ост.}$ ) [7]. Увеличение остаточных напряжений ( $\sigma_{ост.}$ ) может привести к растрескиванию и отслоению покрытия. Если бы удалось полностью исключить влияние на реальную адгезию остаточных напряжений ( $\sigma_{ост.}$ ), то показатели ее были бы занижены влиянием концентраторов напряжений. Определяемая экспериментально адгезионная прочность – это часть прочности удержания или еще меньшая часть реальной адгезионной прочности. Приняв эту теорию за основу в Институте проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины исследовали влияние на адгезионную связь напряженного состояния основы и установили функциональные зависимости между этими факторами [1, 7]. Из эксперимента получали интегральную характеристику реальной адгезии и остаточных напряжений  $\sigma_{ост.}$  (прочность удержания покрытия на основе (подложке) или техническая адгезия).

**Выводы.** Существующие теории и гипотезы адгезии не противоречат, а только дополняют одна другую. Для применения любой теории адгезии в каждом случае необходим конкретный анализ адгезионных явлений. В практике многооперационных технологий упрочняющих покрытий наиболее распространена и востребована диффузионная теория адгезии, реализуемая при различных видах термомеханической, механической, термической

и химико-термической обработки. Прочность сцепления (адгезионная прочность) является функцией смачивающей способности и химической активности материала покрытия, энергии межатомных связей и формы микрорельефа поверхности, на которую наносится покрытие.

### Список литературы

1. Ляшенко Б.А., Агеев М.С., Лопата Л.А. Роль теорий адгезии в формировании упрочняющих покрытий *Инженерия поверхности и реновация изделий*: матер. 18-й Междун. науч.-техн. конф. (Свялява, 4-8 июня 2018). Киев, АТМ Украины. 2018.-С. 6-10
2. Аппен А.А. О теоретических критериях адгезии покрытий в металлах. [Текст] – В кн.: Неорганические и органические покрытия. Л.: 1975, - С 3-11.
3. Э.С. Уманский, Б.А. Ляшенко, В.В. Ришин и др. О применении различных теорий адгезии к жаростойким покрытиям. *Защитные покрытия на металах*. Рес. межвед. сб. Вып. 12, Киев: Наукова думка, 1978. – с.125-132.
4. Л.А. Лопата, Б.А. Ляшенко, А.О. Корниенко, В.Н. Корж. Влияние аномального массопереноса на адгезионную прочность износостойких порошковых покрытий, полученных механо-термическими методами. *Прогрессивные технологии и системы машиностроения*, Междун. сб. научн. трудов: Донецк: 2008, Вып. 36. – С. 257-261.
5. Лопата Л.А. Влияние аномального массопереноса на адгезионную прочность порошковых покрытий при электроконтактном припекании. *Вісник Черкаського національного технічного університету*, 2007. Вип.117, серія фіз-мат. наук. - С. 87-94.
6. Д.В. Миронов, В.Ф. Мазанко, Д.С. Герцикен, Л.А. Лопата, В.П. Бевз Влияние эффекта Троицкого на диффузионные процессы в деформируемых металлах при электроконтактном припекании. *Журнал Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*, 2013 г., №3, - С 27-34.
7. Лопата Л.А. Адгезионная прочность и остаточные напряжения при электроконтактном припекании порошковых покрытий. *Проблемы прочности*. 2010, № 4. – С. 71-76.

#### **4. ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН І ОБЛАДНАННЯ**

УДК 621. 793.7.001.5

#### **УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ**

**М.С. Агеев**, канд. техн. наук, доц.,

*Херсонская государственная морская академия, г. Херсон, Украина*

**М.А. Белоцерковский**, д-р. техн. наук, зав. лаб.

*ОИМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь*

**Р.Г. Мнацаканов**, д-р. техн. наук, проф.,

**О.В. Радько**, канд. техн. наук, доц., н.с.

*Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина*

**А.В. Дудан**, канд. техн. наук, доц., декан

*Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Беларусь*

Из многообразия способов нанесения УЗП наиболее распространенными технологиями, используемыми при повышении эксплуатационных свойств деталей, являются методы газотермического напыления (ГТН), среди которых самым дешевым и простым методом является метод электродугового напыления (ЭДН) [1, 2].

Главные недостатки напыленных покрытий – низкая прочность сцепления из-за значительной пористости, недостаточно высокая износостойкость и микротвердость из-за выгорания углерода и легирующих элементов при напылении [1, 2]. Для улучшения этих характеристик покрытий сложилась тенденция применения интегрированных многооперационных технологий. Существенное повышение свойств покрытий, полученных ЭДН, возможно путем сочетания ЭДН с лазерной (ЛО), ультразвуковой (УЗО), электроискровой (ЭИЛ), электронно-лучевой (ЭЛО) и др. методами обработки [4, 5]. Эффективным путем решения задачи повышения эксплуатационных характеристик ЭДН-покрытий является формирование в них высокопрочных поверхностных слоев посредством использования различных методов химико-термической обработки (ХТО) [4, 6]. В попытках повышения свойств ЭДН-покрытий методами ХТО отмечают преимущество азотирования. Методы азотирования отличаются технологичностью, экологической безопасностью и экономической эффективностью. Для улучшения свойств обработки ЭДН-покрытий было выбрано газотермоциклическое импульсное азотирование (ГТЦ ИА) [7-9].

Объединение нанесения покрытий ЭДН с азотированием позволяет создать комбинированный метод инженерии поверхности. С целью обоснования и доказательства целесообразности разработки технологий формирования УЗП на основе сочетания процесса ЭДН с азотированием нами были проведены исследования. В результате проведенных исследований была произведена оценка возможности повышения качества покрытий, полученных ЭДН (ЭДН-покрытий) путем последующей обработки азотированием. Напыленные слои, обработанные азотированием, характеризуются повышенным уровнем микротвердости (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние температуры ИИА на микротвердость ЭДН - покрытий

Материал покрытия	Микротвердость, ГПа при различной $T, ^\circ\text{K}$ ГТЦ ИА						
	600	620	650	670	700	720	770
Стали мартенситного класса	8,6	11,3	12,9	14,0	15,9	12,7	11,3
Стали аустенитного класса	5,6	6,2	8,0	8,9	11,1	12,0	11,8

Микротвердость напыленного слоя достигает уровня максимальных значений (14000–15900 МПа). при температуре азотирования 670–720<sup>0</sup>К. Основной причиной, обуславливающей небольшую глубину насыщения азотом ЭДН-покрытий (15–30 мкм) является наличие большого количества оксидных пленок в покрытии, являющихся барьером для осуществления процесса азотирования. Оксиды неизбежно образуются как во время полета расплавленных частиц, так и в процессе их кристаллизации на поверхности детали. По этой же причине покрытия, имеющие пористость более 7 % практически невозможно упрочнить без образования дефектных участков, поскольку поверхность покрыта тонким слоем оксидов железа. Устранить образование оксидных пленок возможно при распылении стальных проволок не воздухом, а продуктами сгорания пропана и воздуха. Согласно полученных данных, по мере увеличения температуры азотирования покрытий до 530–640<sup>0</sup>К, полученных распылением продуктами сгорания пропана и воздуха, возрастает глубина модифицированного слоя до 50...90 мкм. Таким образом, изменяя температуру процесса азотирования напыленных покрытий можно управлять глубиной диффузионного слоя и его микротвердостью.

В результате триботехнических испытаний (давление 0,64 МПа, сухое трение) ЭДН-покрытий после различных режимов азотирования установлено, что увеличение температуры азотирования напыленных покрытий из стали 40X13 приводит к резкому увеличению их износостойкости. Наиболее высокой износостойкостью обладают напыленные покрытия, обработанные азотированием при 670–770<sup>0</sup>К. Интенсивность износа контртела (закаленная сталь 60Г, HV=7800–8000 МПа) несколько снижается при переходе от ЭДН-покрытий к ЭДН-покрытиям после азотирования. Азотирование покрытий из стали X18H10T при 500 – 520<sup>0</sup>К, не сопровождается возрастанием износостойкости поверхности стали в условиях контактного взаимодействия без смазки. При переходе к более высоким температурам (670<sup>0</sup>К, 720<sup>0</sup>К и 770<sup>0</sup>К) износостойкость покрытий существенно возрастает. Повышенная износостойкость напыленного покрытия после азотированного при 770<sup>0</sup>К обусловлена глубиной азотирования высоким уровнем микротвердости. Обработка ЭДН-покрытий азотированием приводит к резкому возрастанию их износостойкости. Так, интенсивность изнашивания покрытий из стали 40X13 при сухом трении снижается с  $I_h = 110$  мкм/км до  $I_h = 19$  мкм/км. На стадии установившегося трения интенсивность изнашивания ЭДН-покрытия после обработки ИИА уменьшается до  $I_h = 5–6$  мкм/км. При этом износостойкость модифицированного слоя из стали 40X13 в 2,6 раза выше износостойкости ЭДН-покрытия (рис. 1).

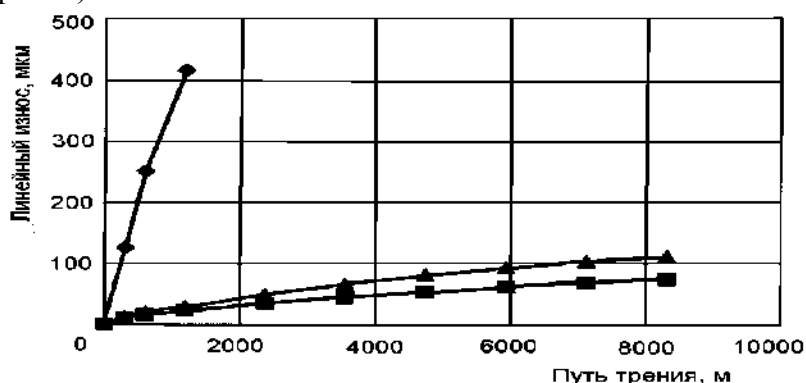


Рисунок 1 – Зависимость линейного износа от пути сухого трения: ■ - ЭДН-покрытие + ГТЦ ИА; ▲ - ЭДН-покрытие; ◆ - литая сталь 45 (закалка и отпуск); материал покрытия - сталь 40X13

Исследование микротопографии поверхностей слоев ЭДН-покрытий после азотирования показало, что пористость покрытий отрицательно сказывается на качестве напыленных поверхностей. Установлено, что на предварительно шлифованных слоях пористостью более 7% после азотирования на поверхности трети образцов появляются участки вспучивания (вздутия) покрытия размером до 200–500 мкм. После отслаивания участки вспучивания превращаются в каверны. Очевидно, что чем больше пористость слоев,

тем сильнее проявляется эффект вспучивания. Поэтому ЭДН-покрытия формировали распылением проволочных сталей 40X13 и 12X18H10T продуктами сгорания пропана и воздуха, а не распыление материала покрытия только воздухом, что обеспечило пористость покрытий менее 7 %. Проведенные исследования показали (табл. 2), что при плотности напыленных слоев более 94% данный эффект не возникает.

Таблица 2 – Результаты исследования топографии поверхности напыленных слоев после азотирования при 580 К

Метод напыления	Напыляемый материал	Пористость слоя, %	Микротопография поверхности
ЭДН (распыление воздухом)	Стали ферритного класса	$\approx 10$ $\geq 8$	вспучивание вспучивание
ЭДН (распыление продуктами сгорания пропана и воздуха)		$\approx 6$ $\approx 5$	гладкая без изменений гладкая без изменений
ЭДН - распыление материала покрытия воздухом	Стали мартенситного класса	$\approx 10$ $\geq 8$	вспучивание вспучивание
ЭДН (распыление продуктами сгорания пропана и воздуха)		$\approx 6$ $\approx 5$	гладкая без изменений гладкая без изменений

Рост прочности сцепления характерен для покрытий, имеющих пористость в диапазоне 5–14 %, и дальнейшее повышение пористости приводит к снижению адгезии. Таким образом, исследование прочности сцепления ЭДН - покрытий показало, что их обработка азотированием позволяет значительно повысить адгезию (табл. 3). Повышение адгезии ЭДН-покрытий после азотирования обусловлено развитием диффузионных процессов на границе между покрытием и подложкой, восстановлением окислов на поверхности подложки, релаксацией внутренних напряжений в покрытии.

Таблица 3 – Влияние пористости на прочность сцепления ЭДН-покрытий (без нанесения подслоя)

Материал покрытия	Прочность сцепления (МПа) при различной пористости (%)					
	$\leq 4$	5–9	7–10	10–14	12–16	13–17
Св-08Г2С	38	49	61	53	40	36
40X13	37	43	55	47	43	35
40X13	41	55	67	63	50	39

**Выводы.** Нами были проведены исследования с целью разработки многооперационной технологии формирования УЗП на основе сочетания процесса ЭДН с последующей обработкой ИИА.

Была произведена оценка возможности повышения качества ЭДН-покрытий из сталей мартенситного (40X13) и аустенитного (12X18H10T) классов путем их обработки азотированием. Исследован фазовый состав и микротвердость покрытий, полученных распылением проволок из сталей аустенитного и мартенситного классов. В результате экспериментальных исследований влияния модифицирующего воздействия азотирования на физико-механические свойства стальных ЭДН-покрытий установлено, что для повышения эффективности процесса азотирования необходимо использовать напыленные покрытия пористостью не более 7 %, что позволяет обеспечить формирование поверхностных слоев с микротвердостью 6,5 – 15,0 ГПа и толщиной 20-50 мкм. Таким образом, насыщение азотом ЭДН-покрытий из проволочных сталей 40X13 и X18H10T приводит к образованию

диффузионного слоя толщиной 40-50 мкм, микротвердостью 6500–15000 МПа. При этом прочность сцепления покрытий увеличивается в 1,6 раза, а износостойкость в 2,5-5 раз.

Показано, что дуплексная (комбинированная) технология, сочетающая электродуговое напыление и азотирование позволяет получить значительный эффект по повышению твердости, прочности сцепления и износостойкости системы деталь-покрытие при снижении вероятности деформации детали. Процесс азотирования не создает сплошного нагрева детали, а обеспечивает нагрев только поверхностного слоя на необходимую для упрочнения глубину. Азотирование не изменяет форму, размеры детали и шероховатость ее поверхности, поэтому его можно использовать в качестве финишной обработки. Циклический характер процесса нагрева позволяет сократить в 2.5 раза мощность источников питания. В связи с изложенными результатами исследований и дальнейшей необходимостью проведения исследований по дуплексной технологии электродугового напыления и азотирования и прочностных свойств элементов конструкций с этими покрытиями.

### Список литературы

1. Ильющенко А.Ф. Формирование газотермических покрытий: теория и практика. [Текст] / А.Ф. Ильющенко, В.А. Оковитый, С.П. Кундас, Б. Форманек - Мн.: 2002. – 245 с.
2. Бороненков В. Н. Основы дуговой металлизации. Физико-химические закономерности. [Текст] / В. Н. Бороненков, Ю. С. Коробов – Екатеринбург, УрГУ, Унив. изд-во; 2012, - 267 с.
3. Студент М.М. Розробка захисних та відновних електрометалізаційних покриттів з використанням порошкових дрітків: автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.02.01. Львів, 1998. 18 с.
4. Витязь П.А. Упрочнение газотермических покрытий. [Текст] / П.А. Витязь, Р.О. Азизов, М.А. Белоцерковский – Мн.: Бестпринт, 2004. – 192 с.
5. Лопата Л.А., Медведева Н.А., Туник Т.М, Салий С.Г. Повышения качества напыленных покрытий. Мир Техники и Технологий, Международный технический журнал, №8 (54), 2005. – С.54-56.
6. Витязь П.А., Азизов Р.О., Белоцерковский М.А., Кукареко В.А. Повышение качества газотермических покрытий из проволочных материалов методами химико-термической обработки. Трение и износ. – 2003. – Т. 24, № 6. – С. 666–672.
7. Белоцерковский М.А. Константинов В.М., Ткаченко Г.А. Упрочнение химико-термической обработкой покрытий, полученных высокоскоростным распылением стальных проволок. Инженерия поверхности, Новые порошковые композиционные материалы. Сварка: сб. докл. Межд. Симпозиума (Минск, 25-27 марта 2009). – ГНПО ПМ НАН Беларуси, Минск: ОИМ НАН Беларуси, 2009. – С. 178–184.
8. Ляшенко Б.А., Белоцерковский М.А., Лопата В.Н., Брусило Ю.В., Е.В. Корбут Газотермическое напыление и ионное азотирование – перспективное сочетание. Инжен. поверхн. и реновация изделий: матер. 14-й Междун. научн. – техн. конф. (Свалява, 2-6 июня 2014). Киев: АТМ України, 2014. - С.79-80.
9. M. Ageev, L. Lopata, T. Smirnova, A. Dudan Of combined electric arc coatings. International scientific Journal Prombles of tribology 2019, Vol 24 № 3/93. - P/ 56-61.

## **ОДНОСТОРОННЄ ВИСОКОШВИДКІСНЕ ЗВАРЮВАННЯ ТРУБ ДЛЯ ГАЗО- И НАФТОПРОВІДНИХ МАГІСТРАЛЕЙ**

**С.В. Щетинін**, *д-р. техн. наук, проф.*,  
**В.І Щетиніна**, *д-р. техн. наук, проф.*,  
**П.В. Никитенко**, *асп.*,  
**Елсаєд Халед**, *асп.*,  
**О.В. Коваль**, *асп.*,

*Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь, Україна*

Одностороннє зварювання труб для газо- и нафтопровідних магістралей обмежено витіканням рідкого металу, порушенням формування і зниженням ударної в'язкості зварних з'єднань. Тому підвищення якості і ударної в'язкості зварних з'єднань є важливою науково-технічною проблемою.

При односторонньому зварюванні на флюсовій подушці на рідкий метал зварювальної ванни діють спрямовані вниз тиск дуги  $P_D$ , тиск електродного металу  $P_E$ , магнітний тиск  $P_{EM}$ , гідродинамічний тиск рідкого металу  $P_G$ , тиск флюсу  $P_F$  і спрямовані вгору поверхневий натяг  $P_{ПН}$  і тиск флюсової подушки  $P_{ФП}$ . Якісне формування швів забезпечується при рівновазі тисків:

$$P_D + P_E + P_{EM} + P_G + P_F = P_{ПН} + P_{ФП},$$

коли енергія дорівнює нулю.

Рівновага в значній мірі визначається тиском дуги, зниження якого найбільш ефективно за допомогою форми електроду.

Для одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей розроблено спосіб зварювання складовим електродом з дроту в середині U-подібної стрічки, прямолинійні ділянки якої розташовуються попереду дроту. Дуга під дією електромагнітної сили рухається по торцю електроду в поздовжньому і поперечному напрямках, площа, по якій рухається дуга зростає, що приводить до зниження тиску дуги:

$$P_D = 10^{-7} \frac{I^2}{\pi r_a^2}, \text{Па.}$$

Розрахунково-експериментальним шляхом встановлено, що при односторонньому високошвидкісному зварюванні складовим електродом тиск дуги внаслідок збільшення площі активної плями знижується в 4 рази у порівнянні зі зварюванням дротом з 42 кПа до 10,5 кПа, що забезпечує якісне формування зворотного валика на флюсовій подушці зі стандартним склоподібним флюсом.

Розроблений спосіб одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей складовим електродом забезпечує рівновагу тисків і мінімум енергії, якісне формування швів на флюсовій подушці зі склоподібним флюсом і підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань в 2 – 2,5 рази.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ІОННОАЗОТОВАНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ НА ІЗОТЕРМІЧНУ ТА ТЕРМОЦИКЛІЧНУ ПОВЗУЧІСТЬ**

**А. В. Рутковский**, канд. техн. наук, ст.н.с.,  
Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренко НАН України, м. Київ, Україна  
**С.І. Маркович**, канд. техн. наук, доц.,  
**С.С. Михайлюта**, асп.,  
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Зростання експлуатаційних параметрів двигунів внутрішнього згорання викликає неухильне підвищення робочої температури конструктивних елементів двигуна, особливо деталей циліндро-поршнєвої групи [1]. Застосування для виготовлення поршнів алюмінієвих сплавів обумовлено їх високою питомою міцністю і малою питомою вагою, проте великим недоліком цих матеріалів є низька теплостійкість [2].

Перспективним для поверхневого зміцнення деталей автотракторних двигунів внутрішнього згорання вважається метод іонно-плазмового азотування. Його сутність полягає у тому, що у розрідженому газовому середовищі, яке містить азот, між катодом (деталлю) та анодом (стінками вакуумної камери) збуджується тліючий розряд. При цьому позитивні іони газу з високою енергією, бомбардуючи поверхню катоду, нагрівають її до температури насичення та дифундують в цю поверхню, формуючи твердий розчин азоту в металі, а при досягненні межі розчинності - нітридні фази. Температура азотування 470-580°C, тиск  $(1,33-13)10^2$  Па, робоча напруга коливається від 400 до 1000 В [2,3]. Разом з тим актуальною є задача дослідження основного параметру, що обмежує застосування алюмінієвих сплавів при форсуванні двигунів - теплостійкості та її залежності від дифузійних іонноазотованих шарів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При проведенні термомеханічних випробувань, до яких належить і дослідження на повзучість матеріалів, найбільш поширені три методи нагрівання: прямим пропусканням струму (резистивне нагрівання), струмом високої частоти (СВЧ) і пічне радіаційне нагрівання. Усі ці методи розглядаються як альтернативні. Резистивний метод нагрівання й нагрівання струмом високої частоти особливо привабливі для проведення випробувань на термовтому при різких теплосмінах. Та сама програма досліджень використовує для ізотермічних випробувань звичайну нагрівальну піч, а для термоциклічних - нагрівання струмом високої частоти [2].

Порівняльна оцінка методів нагрівання показує істотні розходження (більш ніж у 2 рази) характеристик міцності, що отримані при зовнішньому радіаційному нагріванні та електричними методами [3, 4]. Ще більш істотний недолік електричних методів нагрівання виявляється при наявності тріщин у зразку. Неоднорідність у виділенні тепла й щільності струму у вершини тріщини є основними причинами збільшення швидкості росту тріщин.

Рівень знань, що отриманих в інших галузях науки, дозволяє відзначити специфічні явища, які виникають при електричних методах нагрівання:

- електропластичний ефект, що полягає в підвищенні пластичності й зниженні опору деформуванню при безпосередньому припущенні електричного струму через зразок [5].
- магнітопластичний ефект як результат впливу магнітних полів на взаємодію дислокацій із границями магнітних доменів і посилення їх рухливості [6, 7].
- явище електроміграції чи перенесення маси при підвищених температурах і високій щільності струму. Це явище приводить до прискореної дифузії у результаті взаємодії електронів провідності з атомами, що дифундують у метал [8].

Некоректність і недоліки електричних методів нагрівання зразка привели до необхідності пошуку методів, найбільш придатних для дослідження покриттів. Головною



вимогою є зовнішнє підведення контрольованого теплового потоку, питома величина якого повинна відповідати умовам експлуатації конструктивних елементів. Тому однією з тенденцій розвитку високотемпературних лабораторних засобів є більш широке застосування променевого нагрівання [9].

Промєневе нагрівання не робить специфічного впливу на механічні характеристики конструктивних матеріалів. Тому, запропоновано принцип, що поєднує замкнутість дзеркальної порожнини і її фокусуючу дію. На основі цього принципу в Інституті проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, під керівництвом доктора технічних наук професора Ляшенко Б.А., розроблено ряд лабораторних установок в т.ч. установка "Щелкунчик". Фокусоване промєневе нагрівання особливо зручне для термоциклювання при максимальних швидкостях нагрівання за рахунок мінімальної теплової інерційності пристрою. Реалізується термоциклювання відсіченням чи перерозподілом променевого потоку [10,11].

Спеціальні оптичні камери фокусуючої дії дозволяють досягти необхідний рівномірний розподіл температур по зразку і можуть бути убудовані в стандартну розривну машину. В якості джерел промєневої енергії застосовують графітові нагрівання, Хе-дугові лампи потужністю до 30 кВА, галогенні і вольфрамові лампи.

З застосуванням зазначеного обладнання проведені значні дослідження на ізотермічну та термоциклічну повзучість лопаток компресора авіаційних газотурбінних двигунів змінених багатофункціональними градієнтними вакуум-плазмовими покриттями (PVD) [12], титанових сплавів ВТ5-1 з жаростійкими емалєвими покриттями [13] та ін.

Разом з тим недостатньо вивчено повзучість іонноазотованих алюмінієвих сплавів при ізотермічних і термоциклічних режимах .

**Виклад основного матеріалу.** Для дослідження використовувався комплекс лабораторного устаткування на основі установки "Щелкунчик", що забезпечує циклічну зміну температури й навантаження зразка, контроль та запис значень температури, навантаження й деформації та функціонування в автоматичному режимі. Установка складається з пристроїв для циклічної зміни температури й навантаження зразка, а також включає системи виміру й запису температури, навантаження й деформації

Система навантаження установки забезпечує лінійний напружений стан у зразку і складається з механізмів навантаження, важеля й систем тяг із шарнірами із співвідношенням плеч 1:10. Проводили порівняльні випробування на ізотермічну та термоциклічну повзучість при фіксованому значенні навантаження 0.8а, згідно ДСТУ 2637-94, в умовах осьового розтягу при нагріванні робочої ділянки зразка шляхом фокусування промєневої енергії у замкнутій оптичній безінерційній системі. Це дозволяє нагрівати зразок до 1000°C, без впливу електромагнітопластичного ефекту та здійснювати охолодження зразка зі швидкістю до 100 град/с. Це дозволяє нагрівати зразок до 1000 °С, без впливу електромагнітопластичного ефекту та здійснювати охолодження зразка зі швидкістю до 100 град/с. Характеристики термічного циклу: 500 °С ↔ 720 °С. час нагрівання - 10 сек., охолодження 15 сек., що відповідає реальним умовам експлуатації поршнів.

При цьому використовувалися плоскі зразки з алюмінієвого сплаву АЛ21 (рис. 1) з теплозахисними дифузійними іонноазотованими шарами, що нанесені в установці ВПА-1 та зразки без обробки.

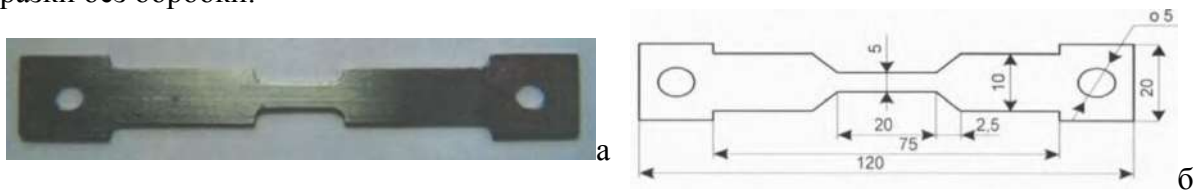


Рисунок 1. Загальний вигляд та креслення зразка для випробування на ізотермічну та термоциклічну повзучість згідно ДСТУ 2637-94 [5].

Навантаження  $P$  визначали за формулою:

$$P = \sigma \cdot F$$

де:  $\sigma$  - задане напруження, МПа;  $F$  - площа поперечного перерізу робочої частини зразка, мм. Фіксоване значенні навантаження складало  $0,8\sigma_B$  згідно ДСТУ 2637-94 та критеріїв визначення допустимого напруження в Нормам ASME (80% середньої величини напружень які приводять до сумарної деформації 1%). Навіть у реальних металевих матеріалах із низькою пластичністю при сумарній деформації  $< 1\%$  не проходить руйнування, тому цей параметр і прийнято в якості вказаного критерію.

Відносну деформацію  $\varepsilon$  у відсотках визначали вимірюванням переміщення рухомого захвату зразка (видовження зразка)  $\Delta l$  і подальшим розрахунком за формулою:

$$\varepsilon = \left( \frac{\Delta l}{l_0} \right) \cdot 100, \quad (1)$$

де:  $l_0$  - початкова розрахункова довжина зразка, що вимірюється при температурі  $293 \pm 5$  К перед випробуваннями, м.

Результати випробувань відображено у вигляді графіків кривих повзучості в координатах відносна деформація повзучості час. Загальний інтервал часу до руйнування зразка з покриттям становить

$$t = t_1 + t_2 + t_3$$

де:  $t_1 + t_2 + t_3$  - відповідно час деформації 1, 2 та 3 ділянок кривої повзучості, с.

Граничну деформацію при руйнуванні  $\varepsilon_p$  зразка (покриття) визначали у відсотках за формулою

$$\varepsilon_p = \left( \frac{\Delta l_p}{l_0} \right) \cdot 100$$

де:  $\Delta l_p$  - видовження робочої частини зразка при руйнуванні, м:

$$\Delta l_p = l_k - l_n = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3$$

де:  $l_k$  - кінцева розрахункова довжина зразка після руйнування покриття, виміряна при температурі  $293 \pm 5$  К, м;  $\Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3$  - відповідно подовження робочої частини зразка на 1, 2 та 3 ділянках кривої повзучості, м.

Швидкість повзучості  $\varepsilon$  в одиницях за секунду визначалася на ділянці сталої повзучості 2 кривої повзучості за формулою

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_2}{(\tau_2 \cdot 60)}, \quad (2)$$

де:  $\varepsilon_2$  - визначається за формулою 1.

Таким чином, крива повзучості є чуттєвим інструментом, що характеризує стан покриття й поверхні адгезійного контакту. Крім того, побудова залежності комплексу термомеханічних характеристик покриття від часу та числа тепломінів дозволяє визначити такі важливі характеристики як термостабільність властивостей та спрогнозувати ресурс покриття.

Спільний розгляд таких характеристик як ізотермічна та термоциклічна повзучість дозволяє створити метод оцінки працездатності теплозахисних дифузійних іонноазотованих шарів в умовах, що наближені до експлуатаційних. Цей метод базується на порівняльному аналізі кривих ізотермічної та термоциклічної повзучості алюмінієвого сплаву зі зміцненим поверхневим шаром, що несуть у собі інформацію про кінетику деформування та накопичення пошкоджень під впливом експлуатаційних факторів. Для отримання достовірних кривих повзучості та отримання з них необхідної інформації було проведено ряд заходів, що включають подальше вдосконалення методики проведення досліджень та модернізації експериментальної установки.

В результаті проведених порівняльних експериментальних досліджень зразків із алюмінієвого сплаву АЛ21, як без обробки так і з зміцненим поверхневим шаром отримано криві повзучості та встановлено вплив конструктивних, технологічних і експлуатаційних факторів на ізотермічну та термоциклічну повзучість.

В результаті експериментальних досліджень було встановлено, що величина деформації при руйнуванні не має яскраво вираженої зміни при температурі дослідження до 500 °С. Очевидно, цей факт можна пояснити тим, що ця температура, близька до температури формування зміцненого шару.

Також, відмінність термоциклічних випробувань від ізотермічних пов'язана з двома причинами:

- зміна в часі полів температур і напруг приводить до різкої інтенсифікації дифузійних процесів між окремими шарами покриттів і між покриттям і основою;
- зміна напруг у шарах покриття, за абсолютною величиною і за знаком є основною причиною виникнення тріщин.

При всіх режимах випробування криві ізотермічної повзучості зразків аналогічні кривим повзучості при термоциклічних умовах і мають три стадії. Зміна температури в циклі приводить до зміни кривих повзучості. Якщо при дослідженні зразків при більш високих температурах криві повзучості мають тривалу за часом третю ділянку, то на кривих повзучості зразків, що випробувані при менших температурах, переважає ділянка сталої повзучості. Це можна пояснити тим, що цикли зміни деформацій протягом більшого часу дослідження носять, практично, стабільний характер. При цьому ділянка несталої повзучості з миттєвими швидкостями повторюється циклічно. Накопичена за цикл деформація повзучості має постійне для будь-якого циклу значення і, отже, стає прямою лінією, тобто процес нестационарної повзучості стає сталим. Лише в декількох перших циклах і на заключному етапі випробувань перед руйнуванням такої стабільності не спостерігається. Це тому, що високі температури володіють більш негативним впливом на алюмінієвий сплав, то і пристосованість матеріалу до даних режимів дослідження здійснюється гірше і, отже, вичерпання пластичних властивостей матеріалу наступить раніше.

Встановлено, що величина швидкості повзучості має кореляційний зв'язок із твердістю теплозахисних дифузійних іонноазотованих шарів та залежить від їх товщини. В таблиці 1 представлено значення швидкості ізотермічної та термоциклічної повзучості зміцненого алюмінієвого сплаву АЛ21. Розрахунок значень швидкості ізотермічної та термоциклічної повзучості проводився за формулою 2;

Таблиця 1 - Швидкість ізотермічної та термоциклічної повзучості

№ п/п	Швидкість ізотермічної повзучості $\epsilon_i, c^{-1}$	Швидкість термоциклічної повзучості $\epsilon_i, c^{-1}$
1	10,278	7,619
2	1,135	0,658
3	17	32,635
4	1,882	1,481
5	0,808	0,235
6	57,333	37,866
7	5,814	5,025
8	0,721	0,398
9	10,095	1,562
10	1,923	0,33
11	84,26	62,33
12	7,956	5,694
13	4,177	2,85
14	43,225	10
15	0,702	2,41
16	1,675	1,531

**Висновки.** На основі отриманих кривих ізотермічної та термоциклічної повзучості встановлено, що:

- криві ізотермічної та термоциклічної повзучості алюмінієвого сплаву АЛ21 із теплозахисними дифузійними іонноазотованими шарами мають чітко виражені три ділянки повзучості, в залежності від температури тривалість їх різна. Це зумовлено наявністю в поверхневому шарі зміцнюючої фази AlNi; рівномірністю розподілу компонентів покриття по поверхні й ступінню їх тугоплавкості. З цим пов'язано ускладнення руху дислокацій, які на своєму шляху зіштовхуються з необхідністю долати при своєму русі великі перепони, що викликані наявністю зміцненого шару;
- вид кривих повзучості залежить від температури та умов її впливу на композицію "основа-покриття";
- час до руйнування при термоциклічному режимі випробувань менший, ніж при ізотермічному;
- у процесі повзучості алюмінієвого сплаву АЛ21 із теплозахисними дифузійними іонноазотованими шарами спостерігається два конкуруючих процеси: зміцнення в наслідок пластичної деформації та зняття зміцнення під впливом підвищеної температури;
- незважаючи на різний склад теплозахисних дифузійних іонноазотованих шарів, опір ізотермічній та термоциклічній повзучості зміцненого алюмінієвого сплаву АЛ21 підвищився в 1,8...2,2 рази.

### Список літератури

1. Гречихин Л.И. Двигатели внутреннего сгорания: физические основы технической диагностики и оптимального управления [Текст] / Л. И. Гречихин. – Минск : Наука і тэхніка, 1995. – 270 с.
2. Шалай А.Н. Как повысить долговечность поршня? [Текст] / А.Н. Шалай // Двигателестроение. – 1996. – №2. – С. 42-51.
3. Kouta F.H.H. Cyclic-temperature cyclic-stress torsion machine // Modell. Simul. and Contr. - 1985. - В2, № 4. - P.11-21.
4. Woodford D.A. The effects of prior temperature cycling on rupture life of superalloys // Mater. 4th Int. Conf. Fract. Waterloo. "Adv. Res. Strength Fract." - New York e.a. - 1977 - P.803-812.
5. Клыпин Б.А. Установка для испытаний на растяжение и кратковременную длительную прочность при высоких температурах // Вопросы высокотемпературной прочности в машиностроении. - Киев: АН УССР. - 1963.-С.95-105.
6. Конради Г.Г., Федотов М.А. Замечания к методу прямого нагрева образцов при исследовании механических свойств материалов // Вопросы высокотемпературной прочности в машиностроении. - Киев: АН УССР. - 1963. - С.58-63.
7. Копанев А.А. К вопросу о природе электропластического эффекта в металлах // Пробл. прочности. - 1991. - № 1. - С.47-51.
8. Гиндин И.А., Лавриненко И.С., Неклюдов И.М. Влияние магнитного поля на ползучесть никеля // Физ. твердого тела. - 1976. - 18, №4. - С.1182-1185.
9. Каменецкая Д.С., Пилецкая И.Б., Ширяев В.И. Влияние магнитного поля на пластическую деформацию ферромагнитных материалов // Пробл. металловед. и физ. мет. - Москва: Металлургия. - 1973. - №2. — С. 119—
10. Мірненко В.І., Рутковський А.В., Зенкін М.А. Автоматизована система контролю та управління дослідженням ізотермічної та термоциклічної повзучості // Технологические системы. - 2004. - №3. - С. 69-72.
11. Устройство для нагрева образцов при механических испытаниях: А. с. 678384 СССР, МКИ С23С14/48 / Б.А. Ляшенко, З.С. Уманский, В.М. Товт, О.В. Цыгулев (СССР). - № 2432985/22-02; Заяв. 10.05.77; Оpubл. 04.03.79, Бюл № 29. -4 с.
12. Артюшин Л.М., Мірненко В.І., Громенко В.Ю. Технологічне забезпечення довговічності лопаток компресора авіаційних газотурбінних двигунів.// Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. - Київ: 2009. Вип. №12. С. 43-48.
13. Товт В.М., Ліпатов С.Ю. Дослідження процесів складного теплообміну та визначення термомеханічних характеристик титанового сплаву ВТ5-1 з жаростійкими покриттями при ізотермічному та термоциклічному режимах.// Вісник Київського національного університету технологій та дизайну.-Київ: 2009. № 3. С. 64-67

## **ЗВАРЮВАННЯ МІДІ ТА СТАЛІ**

**В.В. Чигарьов**, *д-р. техн. наук, проф.*,

**В.С. Пікуз**, *асп.*,

*Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь, Україна*

Зварювання різнорідних металів міді та сталі є необхідним процесом для забезпечення підвищених експлуатаційних характеристик зварних з'єднань в таких галузях промисловості, як металургія, машинобудування, хімічне машинобудування та інших.

Для міді і сталі характерні відмінності в температурі плавлення, густині, коефіцієнтах теплофізичних властивостей, особливо в коефіцієнтах лінійного розширення та інших фізико-механічних властивостей.

Основними особливостями зварювання міді із сталлю є:

- низька розчинність міді в залізі і заліза в міді;
- відмінності в температурі плавлення і кипіння, теплоти перетворень і випарюванні;
- відмінності в складі, структурі і властивостях металів, які з'єднуються при зварюванні;
- можливість утворення в зоні сплавлення міді із сталлю крихких кристалізаційних і дифузійних прошарків які виникають із-за міжкристалітного проникнення міді в сталь;
- створення в зварному шві зовсім нових фазових і структурних складових, які відсутні у вихідних металах;
- широкий температурний діапазон кристалізації сплавів міді при зварюванні, який сприяє утворенню дефектів зварювання – гарячих тріщин;
- існування температурного інтервалу провалу пластичності мідних сплавів і збільшення крихкості;
- висока спорідненість міді до кисню, причому вона збільшується з-за розчинів між рідким металом і  $\text{Cu}_2\text{O}$ ;
- з-за виділення водню з рідкої міді є можливість утворення несучільностей – пор у металі зварного шва, при охолодженні і кристалізації.

Не зважаючи на низьку розчинність заліза в міді при зварюванні кристалізація розплавленого металу іде з великою швидкістю і в результаті те залізо, яке розчинилося в рідкій міді не встигає виділитися з твердого розчину (заліза з міддю) і тому залишається у зварному шві у вигляді пересиченого і понаднасиченого твердого розчину навіть при концентрації до 2% заліза.

Тому що мідь і її сплави мають високу теплопровідність то для місцево го розплавлення металу при зварюванні необхідно застосовувати джерела теплоти з високою тепловою потужністю і концентрацією енергії в плямі нагріву. Із-за високої теплопровідності і швидкого відведення теплоти погіршується формування шва, зростає схильність до появи в зварних швах дефектів (непроварів, підрізів, напливів, тріщин, пористості). У зв'язку з цим зварювання металу великої товщини (більш 10÷15 мм) зазвичай виконують з попереднім і супутнім підігріванням. Попереднє підігрівання забезпечує більш рівномірний розподіл теплоти в зварювальній ванні, покращує умови кристалізації зварного шва, знижує внутрішню напругу і вірогідність виникнення тріщин. Найчастіше вироби при зварюванні підігрівають газовим полум'ям, розосередженою дугою і іншими способами. Вироби з міді підігрівають до температури 250÷350 °С.

Доцільніше для попереднього підігрівання використовувати джерела, які дозволять отримувати імпульсний нагрів металу, при якому можна отримати виборчий нагрів саме в тих місцях зварного з'єднання, де це необхідно, а також зменшити величину зони термічного впливу.

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ $\beta$ -ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА С ОПТИМАЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ СВОЙСТВ ДЛЯ ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТОВ**

**А.В. Овчинников**, проф., д-р техн. наук,  
**А.Е. Капустян**, канд. техн. наук, доц.,  
**Р.Ю. Белый**, студ.,

*Национальный университет "Запорожская политехника", г. Запорожье, Украина*

В настоящее время имплантаты производят преимущественно из титана и его сплавов. Наиболее применяемым являются сплавы (6 % Al, 4 % V) Grade 5, Grade 23 ASTM B348. Однако они не в полной мере соответствуют современным требованиям совместимости с живым организмом: биохимической (наличие ванадия) и биофизической (модуль упругости в три раза превышает модуль упругости костной ткани). Поэтому актуальными являются научные исследования и разработки технологий для создания современных материалов не содержащих токсичные элементы и с модулем упругости не более чем в два раза превышающим модуль упругости костной ткани. Максимально этим требованиям удовлетворяет цирконий. Однако, технически чистый цирконий обладает низкими прочностными характеристиками для нагруженных элементов дентальных имплантатов. Для повышения уровня механических свойств циркония и одновременного снижения модуля нормальной упругости возможно применение изоморфных легирующих компонентов. С учетом необходимости сохранения биохимической совместимости наиболее подходящими легирующими элементами являются титан, ниобий, тантал. Из существующих наиболее подходящими являются сплавы системы Zr-Nb-Ti, которые имеют модуль упругости менее 55 ГПа, что удовлетворяет критерию биофизической совместимости. В тоже время технология получения промышленных заготовок для имплантатов сложная техническая задача.

Целью настоящей работы состояла в получении заготовок для дентальных имплантатов из низко модульного  $\beta$ -циркониевого сплава на основе заданного химического состава Zr-Nb-Ti со структурой, обеспечивающей необходимый уровень механических и специальных свойств.

Разработана технологическая схема получения заготовок. Выбрано оборудование и подобраны режимы для реализации разработанной схемы. Опытные сплавы были получены методом трехкратного вакуумно-дугового переплава. Получены слитки заданного состава с равномерным распределением легирующих элементов. Проведены металлографические исследования макроструктуры и микроструктуры слитков с применением оптической и электронной микроскопии, а также рентгеноструктурный анализ для определения фазового состава и параметров кристаллической решетки сплава. Механические свойства определяли методом одноосного растяжения на стандартных образцах. Твердость опытных сплавов определяли стандартными методами Роквелла и Бринелля.

Проведенные исследования позволили разработать оптимальную технологическую схему и режимы получения слитков заготовок с заданным химическим составом, структурой, механическими и физическими свойствами, отвечающих требованиям химической, механической и физической совместимости с костной тканью. Разработана технология и режимы получения конечных прутковых заготовок заданной геометрии (диаметр 6 мм длина 1500...3000 мм, шероховатость Ra 1,6...3,2, кривизна не должна превышать 0,5 % длины), необходимой для их применения в промышленном производстве широкого спектра номенклатуры дентальных имплантатов.

## **ВИСОКОШВИДКІСНЕ НАПЛАВЛЕННЯ НА НИЗЬКІЙ ПОГОННІЙ ЕНЕРГІЇ РОБОЧИХ І ОПОРНИХ ВАЛКІВ**

**С.В. Щетинін**, *д-р. техн. наук, проф.*,

**В.І Щетиніна**, *д-р. техн. наук, проф.*,

**О.В. Коваль**, *асп.*,

**П.В. Никитенко**, *асп.*,

**Елсаєд Халед**, *асп.*

*Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь, Україна*

Робочі і опорні валки прокатних станів експлуатуються в умовах високих питомих тисків і виготовляються із високовуглецевої сталі 90ХФ, схильної до утворення тріщин. Тому підвищення тріщиностійкості є важливою науково-технічною проблемою.

Дані впливу погонної енергії на тріщиностійкість наплавленого металу суперечливі. Загальновідомо, що при зниженні погонної енергії, внаслідок зростання швидкості охолодження підвищується ймовірність утворення холодних тріщин. Для підвищення тріщино- стійкості рекомендують проводити наплавлення на високій погонній енергії. Однак М.М. Прохоров зазначає, що значне зниження погонної енергії і відповідне збільшення швидкості охолодження можуть привести до зниження ймовірності утворення холодних тріщин.

Тріщини утворюються, коли зварювальні напруги стають більше межі міцності, тому при наплавленні валків необхідно забезпечити мінімальні зварювальні напруги, які визначаються деформаціями.

Для дослідження впливу погонної енергії на деформацію і зварювальні напруги проводили наплавлення на пластини  $(30 \times 120 \times 900) \cdot 10^{-3}$  м з різною погонною енергією.

Як встановлено, при підвищенні швидкості зварювання і зниженні погонної енергії  $E = q_{II} / V$  внаслідок зниження тепловкладення деформації основного металу і зварювальні

напруги  $\sigma \geq \mu E \frac{q_{II}}{VF}$ , Па знижуються, що значно підвищує тріщиностійкість. Одночасно при підвищенні швидкості зварювання зростає швидкість кристалізації рідкого металу  $V_{KR} = V_{ЗВ} \cos \varphi$  і здрібнюється мікроструктура, зменшується міжатомна відстань, зростає межа міцності. Зниження зварювальних напруг і здрібнення мікроструктури забезпечує підвищення тріщиностійкості.

Результати досліджень впливу погонної енергії на зварювальні напруги і тріщиностійкість підтверджено при наплавленні бандажованих опорних валків стану 3000, коли при наплавленні на високій погонній енергії бандаж поламався. При високошвидкісному наплавленні на низькій погонній енергії бандаж не поламався.

Розроблено процес високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії, що забезпечує зниження зварювальних напруг, здрібнення мікроструктури, підвищення тріщиностійкості і відсутність поломок бандажів. Мінімум енергії – максимум тріщиностійкості.

## **ВІДНОВЛЕННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ НАПЛАВЛЕННЯМ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**М.В. Красота**, канд. техн. наук, доц.,

**Р.А. Осін**, канд. техн. наук, доц.,

**А.І. Боклаг**, студ.,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Сучасний розвиток рівня техніки вимагає розробки нових зносостійких матеріалів. Серед них найбільшим потенціалом володіють композиційні матеріали (далі КМ). Це пояснюється тим, що багато актуальних запитів триботехніки вдається задовольнити шляхом створення гетерофазних структур, здатних тривалий час експлуатуватися без змачення, при підвищених температурах і в інших екстремальних умовах.

КМ - це особливий клас нових гетерофазних матеріалів, що складаються з наповнювача і зв'язуючого, або матриці. Головною перевагою КМ є можливість отримати матеріал з такими властивостями, якими не володіє жоден традиційний, класичний матеріал, а також можливість сконструювати матеріал відповідно до заданих вимог [1]. Крім того, для КМ виявляються ефективними і традиційні шляхи підвищення зносостійкості, і міцності, такі як наповнення твердими мастилами, введення наномодифікаторів для поліпшення структури, термічна і термомеханічна обробки.

Спільна робота різнорідних компонентів дає ефект, рівносильний створенню нового матеріалу, властивості якого кількісно і якісно відрізняються від властивостей кожного з складових. Різноманіття форм КМ, дозволяє направлено регулювати міцність, жорсткість, зносостійкість, рівень робочих температур, і інші властивості матеріалів шляхом підбору складу або зміни співвідношення компонентів. Ефективність застосування композитів залежить від числа, розмірів, форми, характеру розташування і фізико-механічних властивостей структурних складових, а також від міцності зв'язку між ними. Матриця забезпечує передачу і рівномірний розподіл навантаження, перешкоджає поширенню тріщин, формує компактний матеріал із заданим геометричним розташуванням наповнювача.

Згідно з численними роботами в галузі матеріалознавства основні ознаки КМ зводяться до наступних [1, 2]:

- матеріал відсутній в природі в природному вигляді і є штучно створеним продуктом;
  - матеріал містить два або більше компонентів (фаз), що відрізняються за своїм складом і розділених чітко вираженими межами;
  - в матеріалі заздалегідь проектується поєднання, форма, розмір і розподіл компонентів;
  - властивості матеріалу визначаються кожним з його компонентів, які присутні в ньому в достатніх кількостях;
  - матеріал володіє такими властивостями, якими не володіють його компоненти, взяті окремо;
  - матеріал є неоднорідним в мікромасштабі, але може бути однорідний макроскопічно.
- За морфологією армуючих фаз КМ поділяють на:
- нульмерні, або зміцнені частками різної дисперсності, безладно розподіленими в матриці;
  - одномірні волокнисті, або зміцнені односпрямованим безперервними або короткими волокнами;
  - двомірні шаруваті, або містять однаково орієнтовані зміцнюючі ламелі і стрічки.

Можна здійснити і комбіноване армування металевих матриць, наприклад, зміцнення волокнами і стрічками; зміцнення стрічками, волокнами і частинками і т.д.



За розподілом армуючих фаз або схемі армування можна виділити КМ з одноосьовим (односпрямованим), двоосьовим (площинним, наприклад ортогональних) і тривісним (об'ємні) армуванням. КМ перших двох типів є анізотропними, останнього - ізотропним.

За розміром армуючих фаз або розміром осередку армування КМ поділяють на:

- субмікрокомполіти (розміри осередку армування, діаметр волокон або частинок <1 мкм), наприклад дисперсно-зміцнені сплави або волокнисті КМ з дуже тонкими волокнами;
- мікрокомполіти (розмір комірки армування, діаметр волокон, частинок або товщина шарів > 1 мкм), наприклад КМ, армовані волокнами вуглецю, карбїду кремнію, бору, частками діаметром до 100 мкм і т.д., односпрямовані евтектичних сплави;
- макрокомполіти (діаметр або товщина армуючих компонентів > 100 мкм), наприклад, деталі з мідних сплавів, армовані вольфрамової або сталевим дротом, або фольгою.

Основними перевагами таких КМ є високі показники електро- і теплопровідності, теплоємності, демпфуюча здатність, високі технологічні властивості. Крім того, традиційні шляхи підвищення зносостійкості і міцності, такі як введення модифікуючих наповнювачів для поліпшення структури; наповнення твердими мастилами; термічна і термомеханічна обробки виявляються ефективними і для КМ подібного складу [1-3].

Як армуючі наповнювачів або добавок, що модифікують структуру матричного сплаву КМ, зазвичай застосовують високомодульні тугоплавкі речовини з високою енергією межатомного зв'язку - ниткоподібні кристали (НК), частки або короткі волокна кераміки, наприклад, такі як SiC, TiC, TiB<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>C і ін., які мають високі механічні властивості, а також для здійснення режимів самозмащування вуглецевовмісні матеріали різної дисперсності. Серед керамічних наповнювачів найбільшого поширення набули карбїдокремнієвих частки, що характеризуються низькою собівартістю виготовлення і широко представлені на ринку.

Модифікуючими наповнювачами різного складу, морфології і розміру, а також застосування частинок твердого змащення відкривають перспективи для широкого застосування дисперсно-наповнених КМ при відновленні деталей різного призначення.

Наявність в матриці навіть невеликої кількості наповнювачів (до 10 мас.%) Призводить до поліпшення механічних характеристик КМ в широкому інтервалі температур, зниження зносу матеріалу і поліпшенню мікрогідродинаміки процесу тертя [3]. Високі зносостійкість і задиростійкість роблять перспективним і економічно доцільним застосування КМ в парах тертя ковзання [3].

### Список літератури

1. Черновол М.И. Упрочнение и восстановление деталей машин композиционными покрытиями: Учеб. пособие. – К.: Вища школа, 1992, - 79 с.
2. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Справочник. Ю.С. Борисов Ю.А. Харламов и др. – К: Наукова думка, 1987. – 194 с.
3. Лопата Л.А., Красота М.В. Застосування композиційних дифузійно-легованих порошоків при відновленні деталей машин електроконтактним припіканням//Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково технічний збірник. - Кіровоград, КДТУ, 2001 - Вип. 30. - с. 165-169.

## **МОДЕЛЮВАННЯ УМОВ ТЕПЛОВКЛАДЕННЯ ПРИ НАПЛАВЛЕННІ ПРОВОДИН СТАНУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КУЛЬ**

**О.Г. Білик**, *д-р. техн. наук, доц.*,

**Е.О. Синдецький**, *студ.*,

*Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь, Україна*

Проводина прокатного стану для виготовлення куль являє собою масивну плиту, виготовлену зі сталі 45 розмірами 40x165x410 мм (для стану СПШ-120) та 50x186x585 мм (для стану СПШ-125). До торцевої поверхні тіла проводини приварюють сталеве "перо", товщина якого в залежності від діаметру заготовки варіюється від 7÷8 до 25÷30 мм. Для умов ПрАТ "МК "Азовсталь" перо проводини виготовляється з кованої сталі К74.

Функцією проводин (верхньої і нижньої) є обмеження переміщення розігрітої заготовки для виробництва куль в вертикальних напрямках та їх утримання в прокатній кліті.

Робоча поверхня проводини, а саме поверхня пера, піддається інтенсивному тертю об поверхні нагрітої заготовки. Робочі поверхні піддаються цілому комплексу навантажень: адгезійно-окиснювальному механізму зношування, через зниження твердості металу проводок при нагріванні, ударним навантаженням заготовкою, термоциклічним навантаженнями, впливу корозії через охолодження водою прокатної кліті. Зношення робочої поверхні складає 5 -7 мм. Заміна проводин виконується 3÷6 разів на добу на стані СПШ-80 і до 3 разів - на стані СПШ-120. Під час заміни проводок, яка триває 15÷30 хв., кулепрокатний стан простоює, що знижує середньодобову продуктивність цеху. З цієї причини кожної доби підприємство недоотримує, наприклад, від 5 до 15 т куль діаметром у 120 мм.

Відновлення зношеної проводини можливе за рахунок наплавлення або заміни зношеного пера. Наплавлення дозволить відновити розміри робочої поверхні проводини та, якщо використати наплавний матеріал, що забезпечить зносостійкий сплав, зміцнити робочу поверхню для використання в складних умовах експлуатації.

Для відновлення та підвищення зносостійкості проводин кулепрокатного стану запропонована технологія механізованого електродугового наплавлення порошковим стрічковим електродним матеріалом.

Для визначення умов нагріву та виникнення деформацій при напавленні за рахунок тепловкладення від горіння дуги проведено моделювання методом скінчених елементів у програмному середовищі Ansys-ED, де були задані геометричні параметри пера проводини, її матеріал, параметри валику, напавленого порошковим стрічковим електродним матеріалом та температурні параметри нагріву. Отримано модель напавленого пера проводини з сіткою кінцевих елементів.

За результатами моделювання отримано розподіл температурного поля по областях напавленого пера проводини. Завдяки температурному впливу дугового процесу при напавленні порошковою стрічкою, перо проводини піддається впливу пружньо-пластичних деформацій. Згідно отриманих результатів моделювання можна зробити висновок, що доцільно перед напавленням жорстко закріплювати перо проводини для запобігання виникнення деформацій, що дозволить виключити технологічну операцію правки перед приварюванням до тіла проводини. Для отримання якісного напавленого шару процес напавлення необхідно здійснювати із застосуванням попереднього та супутнього підігріву.

## ***ЕЛЕКТРОДИ ДЛЯ РУЧНОГО ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ З ЕКЗОТЕРМІЧНИМ ПОКРИТТЯМ***

**Д.О. Зареченський**, канд. техн. наук, головний зварювальник,  
КТЦ "Азовзагальмаш", м. Маріуполь, Україна

Нарощування обсягів випуску зварних металоконструкцій супроводжується необхідністю підвищення ефективності зварювальних матеріалів за рахунок зростання показників якості та продуктивності. На шляху до підвищення продуктивності ручного дугового зварювання покритими електродами на початку ХХ століття, винахідниками пороводились роботи з пошуку складів і оптимальних конструкцій електродів, працювали над технікою їх застосування.

Дослідження щодо впливу різних типів електродних покриттів, окремих компонентів та їх поєднань на продуктивність плавлення електродних матеріалів дозволили установити оптимальні співвідношення і знайти нові види сировини, а також оптимізувати показники плавлення електродів.

При введенні до складу покриття феросплавів (що містять до 80% заліза) і залізного порошку підвищуються значення коефіцієнта наплавлення електродами за рахунок внесення додаткового заліза в метал шва. Однак, зазначені способи підвищення продуктивності обмежують технологічні можливості електродів та ускладнюють технологію їх виготовлення. Альтернативою використання залізного порошку в покритті електродів є екзотермічні суміші, які дозволяють відновлювати додатковий метал з оксидів з виділенням корисного тепла. Введення екзотермічної суміші в такі типи покриття, як кисле, рутилове й на основі ільменітового концентрату, не дозволяє ефективно використовувати її переваги, оскільки для повного розкиснення металу шва необхідне введення відновника в нестехіометричному співвідношенні з окиснювачем, що може призвести до утворення в металі шва пір і неметалевих включень. Введення екзотермічної суміші недоцільне з технічних та економічних міркувань за наявності в покритті дефіцитних органічних компонентів з високою вартістю. Екзотермічна суміш найбільш ефективно використовується в електродах змішаного та основного типів покриття, що дозволяє отримати метал шва, який задовольняє за механічними властивостями.

При розробці електродів для ручного дугового зварювання з титанотермітною сумішшю в кількості до 60% від маси покриття, що складається з гематиту (92%  $Fe_2O_3$ ) й феротитану (32%  $Ti$ ), було досягнуто збільшення коефіцієнтів наплавлення й розплавлення електроду на 8-30%. Такий ефект отримано за рахунок зниження витрат тепла на плавлення покриття у зв'язку зі зменшенням вмісту газошлакоутворювальних компонентів у покритті й збільшенням частки тепла, що йде на розігрівання крапель і розплавлення стрижня, у тому числі екзотермічних реакцій.

При визначенні впливу товщини покриття електродів з екзотермічною сумішшю на показники їх плавлення авторами використовувалися електроди з діаметром стрижня в 5 мм і товщиною покриття від 0,5 до 2,6 мм, що відповідало зміні коефіцієнта маси покриття від 0,17 до 1,14. Аналіз показників плавлення електродів з екзотермічною сумішшю при збільшенні товщини покриття показали зростання кількості відновленого заліза, коефіцієнтів наплавлення й виходу наплавленого металу, втрат елементів розкиснювачів і зниження коефіцієнтів розплавлення стрижня виходу придатного металу та втрат електродного металу на розбризкування.

Зниження втрат на розбризкування в певних границях вмісту екзотермічної суміші в покритті електрода пов'язано з поліпшенням зварювально-технологічних властивостей електродів, найбільш раціональним співвідношенням газошлакоутворювальної складової з іншою частиною покриття та неінтенсивним протіканням екзотермічної реакції.

## ***МАГНІТНЕ ДУТТЯ ПРИ ОДНОСТОРОННЬОМУ ВИСОКОШВИДКІСНЕ ЗВАРЮВАННЯ ТРУБ ДЛЯ ГАЗО- И НАФТОПРОВІДНИХ МАГІСТРАЛЕЙ***

**С.В. Щетинін, д-р. техн. наук, проф.,**  
**В.І Щетиніна, д-р. техн. наук, проф.,**  
**П.В. Никитенко, асп.,**  
**Елсаєд Халед, асп.,**  
**О.В. Коваль, асп.,**

*Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь, Україна*

При односторонньому високошвидкісному зварюванні труб для газо- і нафтопровідних магістралей посилюється магнітне дуття і порушується формування швів. Тому підвищення якості та ударної в'язкості зварних з'єднань є важливою науково-технічною проблемою.

Згідно закону мінімуму енергії всі процеси в природі самовільно протікають в сторону меншої енергії. Струм тече від більшого до меншого потенціалу, газ рухається від більшого до меншого тиску, тепло розповсюджується від більшої до меншої температури, елементи ди-фундують від більшої до меншої концентрації, дуга прагне горіти при меншій напрузі, дуга відхиляється в сторону меншого магнітного поля.

Магнітне поле зварювального струму складається з поля дуги, що створює пінч-ефект, стабілізує дугу, і поля струму, що тече по виробу, електромагнітна сила якого приводить до магнітного дуття. Зростання магнітного дуття при зварюванні труб є результатом закону мінімуму енергії, дуга відхиляється в сторону меншого поля.

Для дослідження природи магнітного дуття розроблена методика виміру магнітного поля, при якій по виробу пропускають струм і заміряють індукцію поля в стику тесламетром EM4305. Як встановлено, при протіканні струму по пластинах індукція магнітного поля на середині товщини дорівнює нулю. При наближенні до поверхні індукція зростає і досягає максимуму на поверхні. При віддаленні від поверхні індукція різко падає. При переході до другої поверхні магнітне поле змінює напрям, закономірність розподілу не змінюється.

При протіканні струму по трубі максимальне значення індукції досягається на середині товщини стінки труби, при наближенні до поверхні індукція знижується. При віддаленні від поверхні індукція різко знижується. Напрямок магнітного поля в стику труби не змінюється, максимум індукції зростає в  $\pi$  раз в результаті концентрації силових ліній в феромагнетику з більшою магнітною проникністю.

Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей з двостороннім струмопідводом і регулюванням магнітного поля шляхом пропущення струму попереду і ззаду дуги, що забезпечує рівновагу дуги, мінімум енергії, стабільність процесу, відсутність магнітного дуття, підвищення якості та ударної в'язкості зварних з'єднань.

## **ВПЛИВ ВІДПУСКУ НА УДАРНУ В'ЯЗКІСТЬ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ВИСОКОХРОМИСТОЇ СТАЛІ ЗАГАРТОВАНОЇ НА МАРТЕНСИТНУ І АУСТЕНІТНУ СТРУКТУРИ**

**Т.О. Акритова, асп.,**

**М.І. Андрущенко, канд. техн. наук, доц.,**

**М.Ю. Осіпов, канд. техн. наук, доц.,**

**О.Є. Капустян, канд. техн. наук, доц.,**

**Р.А. Куликовський, канд. техн. наук, доц.,**

*Національний університет "Запорізька політехніка", м. Запоріжжя, Україна*

Промисловість з виробництва вогнетривких матеріалів є однією із важливих та затребуваних складових металургійної галузі України. Тільки ПАТ "Запоріжвогнетрив" виготовляє більше 1200 основних марок вогнетривких виробів. Формовані вогнетривкі вироби отримують, в основному, методом напівсухого пресування. Ефективність роботи пресового оснащення та якість готової продукції в значній мірі залежить від строку служби і характеру зношування таких деталей, як облицювальні пластини прес-форм. За конструкцією ці деталі дуже різноманітні, а строк їх служби часто не перевищує декількох днів роботи. Це пов'язано з тим, що, по-перше, в процесі роботи облицювальні пластини піддаються інтенсивному абразивному зношуванню. По-друге, значна їх кількість руйнується внаслідок низької експлуатаційної надійності. Особливо це стосується облицювальних пластин, в яких є концентратори напружень, наприклад, пластини із замками (рис. 1). Збільшення терміну експлуатації облицювальних пластин дозволить підвищити продуктивність обладнання та якість готової продукції, тому проблема підвищення зносостійкості та експлуатаційної надійності деталей прес-форм є досить актуальною.

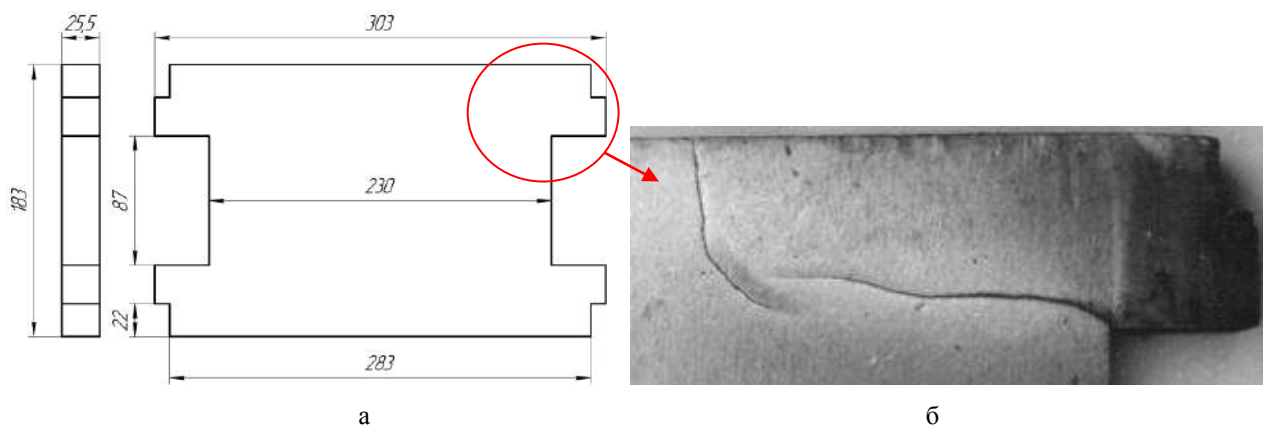


Рисунок 1 – Облицювальна пластина із замками (а) та тріщини, які утворилися в процесі експлуатації (б)

Шляхи вирішення цієї проблеми досить суперечливі. Наприклад, використання в якості матеріалу для облицювальних пластин низьковуглецевих низьколегованих сталей після цементації та гартування забезпечує достатньо високий рівень експлуатаційної надійності, але невисокий рівень зносостійкості. В той же час використання високовуглецевих високолегованих матеріалів, наприклад, високохромистих ледебуритних інструментальних сталей, в тому числі сталі 140X12Ф, забезпечує досить високий опір абразивному зношуванню, але надійність їх в процесі експлуатації все ж недостатня, особливо пластин із замками. Підвищити експлуатаційну надійність деталей можливо за рахунок підвищення ударної в'язкості сталі.

Метою роботи було дослідження впливу відпуску на ударну в'язкість сталей

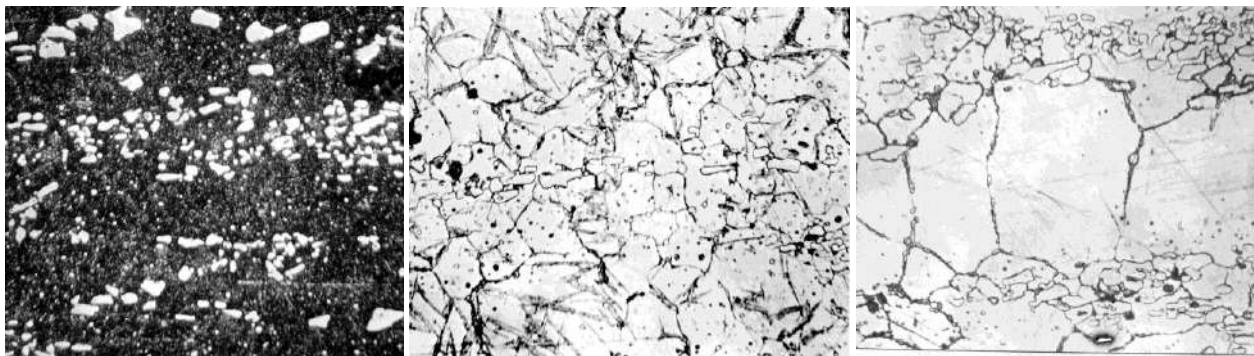
загартованих на мартенсит і структуру з високим вмістом метастабільного аустеніту.

На даний час використовують два основних варіанти гартування сталі 140X12Ф:

а) гартування від температури 1050° С на переважно мартенситну структуру з незначною кількістю аустеніту і 12...13% карбідів  $(CrFe)_7C_3$  (рис. 2 а) [1], твердість сталі становить 58...62 HRC. Така термообробка є найпоширенішою і застосовується, в основному, для деталей вирубних штамів, ножів гільйотинних ножиць та ін. Як правило, для забезпечення надійності в експлуатації після гартування виконується відпуск. Збільшення температури відпуску від 100° С до 600° С забезпечує підвищення ударної в'язкості. Але пластини прес-форм для пресування вогнетривких виробів, які загартовані за цим варіантом, навіть після відпуску володіють низьким опором абразивному зношуванню та недостатньою експлуатаційною надійністю, що приводить до їх руйнування в процесі експлуатації, внаслідок утворення тріщин;

б) гартування від температури 1170° С на структуру, яка в металевій матриці включає 70...75% метастабільного аустеніту, 25...30% мартенситу і 7...8% карбідів  $(CrFe)_7C_3$  (рис. 2 б) [2]. У не відпущеному стані твердість сталі складає 48...52 HRC. Зносостійкість сталі в 2,4...2,7 разів вище у порівнянні зі сталлю, загартованою за першим варіантом, за рахунок високої здатності до самозміцнення поверхні тертя в процесі зношування. Це обумовлено перетворенням метастабільного аустеніту в мартенсит деформації [2]. При цьому експлуатаційна надійність для деталей прес-форм нескладної конфігурації знаходиться на задовільному рівні. Але для облицювальних пластин із замками, в яких є концентратори напружень, надійність при експлуатації все ж недостатня.

Встановлено, що відпуск сталі загартованої за другим варіантом (1170° С) в інтервалі температур від 100° С до 500° С забезпечує підвищення ударної в'язкості, але при цьому за попередніми оцінками зносостійкість зменшується майже в 3 рази. Подальше збільшення температури відпуску (до 600° С) призводить до зниження ударної в'язкості сталі.



а

б

в

а –  $T_{гарт} = 1050^{\circ} C$ ; б –  $T_{гарт} = 1170^{\circ} C$ ; в –  $T_{гарт} = 1220^{\circ} C$

Рисунок 2 – Структури сталі 140X12Ф, загартованої від різних температур ( $T_{гарт}$ ) у не відпущеному стані

На даний час недостатньо даних відносно впливу відпуску на ударну в'язкість сталей, в структурі яких велика кількість метастабільного аустеніту. При цьому, також не можна передбачити, як зміниться здатність метастабільного аустеніту до перетворення в мартенсит деформації в процесі зношування після відпуску. Наприклад, відомо, що в умовах абразивного зношування при температурі 200° С зносостійкість в результаті часткової стабілізації аустеніту зменшується в два рази. А при температурі 450° С аустеніт практично повністю втрачає здатність до перетворення в мартенсит деформації [3]. Зрозуміло, що в процесі зношування при підвищених температурах і зношування сталі без та після відпуску від тих же температур, здатність до фазових перетворень буде відрізнятися, але наскільки, прогнозувати практично неможливо.

В результаті подальших досліджень було обрано третій варіант термообробки сталі 140X12Ф: гартування від температури 1200° С на переважно аустенітну структуру (практично 100%) і 3...5% карбідів  $(CrFe)_7C_3$  (рис. 2 в). Твердість сталі в не відпущеному

стані становить 30...32 HRC.

Відпуск при температурах в інтервалі 100...500° С забезпечує підвищення ударної в'язкості. При цьому, за попередніми дослідженнями, зносостійкість в два рази вища, ніж після гартування за другим варіантом і відпуском при таких же температурах. Подальше підвищення температури відпуску до 600° С зумовлює зниження ударної в'язкості. Мабуть, це зв'язано з тим, що утворюється значна кількість мартенситу відпуску, в'язкість якого суттєво нижча, ніж аустеніту.

Таким чином, виходячи з наведених вище результатів досліджень для забезпечення найбільш високого рівня ударної в'язкості при прийнятному рівні зносостійкості термообробку пластин із замками зі сталі 140X12Ф слід проводити при наступних режимах: гартування від температур 1200° С і відпуск при температурах 300...500° С.

#### **Список літератури:**

1. Инструментальные стали: справочник. / Гуляев А. П. и др. М.: Машиностроение, 1975. 272 с.
2. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин: учебное пособие / под ред. В. С. Попова. Запорожье : ОАО "Мотор Сич", 2000. 394 с.
3. Осипов М. Ю. Износостойкость сплавов с нестабильным аустенитом в условиях абразивного изнашивания при повышенных температурах. Строительство, материаловедение, машиностроение. 2014. Вып. 73. С. 137–142.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛЕННЯ СТРУМУ У ЗВАРЮВАЛЬНІЙ ТОЧЦІ ПРИ КОНТАКТНОМУ НАВАРЮВАННІ**

**М.В. Красота**, канд. техн. наук, доц.,

**Р.А. Осін**, канд. техн. наук, доц.,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Контактне наварювання є одним з найбільш продуктивних і економічних способів нанесення покриттів. При контактному наварюванні використовують, в основному, два типи матеріалів – компактні (дроти, стрічки) та порошкові.

Якість наварюванні покриттів з компактних матеріалів забезпечується виконанням повного технологічного циклу, що складається з окремих операцій: попереднього стискування матеріалу електродами машини, нагріванням металу з утворенням литої зони, і охолодження з'єднання після наварювання.

При наварюванні покриттів з компактних матеріалів за рахунок притискання їх електродами відбувається контакт на границі деталь-покриття окремими мікроступами. При недотриманні режимів наварювання може спостерігатися їх розплавлення при проходженні електричного струму, що приводить до виплесків і порушення процесу наварювання.

При контактному наварюванні покриттів з компактних матеріалів на вуглецеві сталі в метали спостерігаються фазові і структурні зміни, розвиваються місцеві пластичні деформації і напруження. Властивості навареного покриття залежать від умов нагрівання і охолодження. Швидкість охолодження зварної точки може досягати значних величин  $(0,6...12,5) \cdot 10^3$  К/с [1]. Висока швидкість кристалізації приводить до утворення стовпчастих кристалів, що знижують механічні властивості металу [1]. Схема кристалізації має істотний вплив на концентрацію деформацій в металі шва і температурному інтервалі ламкості, на пластичність і хімічну неоднорідність зварного з'єднання.

При проходженні в компактному матеріалі змінного струму спостерігається явище поверхневого ефекту, що приводить до зміни густини струму від периферії до центру поперечного перетину провідника. Ця зміна тим більша, чим вища частота струму і більший діаметр провідника.

При збільшенні товщини покриття спостерігається криволінійна залежність зміни електричного потенціалу. Таким чином, при нанесенні покриттів зростаюча неоднорідність електричного поля — головна причина отримання шарів з нерівномірними фізико-механічними властивостями. При цьому, концентрація дефектів в покриттях (пори, окисні вclusions і т.д.) відбуватиметься в зонах, де густина струму найменша, тобто безпосередньо в місцях викривлення ліній струму.

Характер тепловиділення при контактному наварюванні компактних матеріалів визначається електричним полем в зварюваних деталях і електродах.

Електричне поле — сукупність потенціалів або густини струму в різних точках зварюваних деталей в різні моменти часу. При наварюванні покриттів з компактних матеріалів характерне нерівномірне електричне поле, що пов'язано з дією геометричного, температурного і магнітоелектричного чинників.

Геометричний чинник обумовлений тим, що розміри електричних контактів, як правило, набагато менші розмірів деталей, а також явищем шунтування струму.

Поле густини струму залежить від абсолютних значень потенціалів і електричних опорів деталей і електродів. Найбільша густина струму досягається поблизу границь контактів в результаті розтікання струму в електродах і деталях.



Характер поля залежить також від геометричних розмірів електроду, розташування в ньому охолоджувального каналу. Температурний чинник проявляється в обтіканні струмом більш нагрітих ділянок з'єднання, що відрізняються підвищеним опором, в умовах нерівномірного температурного поля і поля електричних опорів.

Наявність криволінійної залежності розподілу електричного потенціалу при наварюванні порошків з урахуванням особливостей охолодження деталі і тепловідведення в електроди створює градієнт температури в зоні наварювання покриття [3-5].

Нагрівання металевого порошку, так як і електродного дроту, визначається одночасно протікаючими процесами виділення тепла (за законом Джоуля-Ленца) і його поширення (теплопередачею).

Однак, якщо розглядати загальну картину тепловиділення не в суцільній масі металу, а в міжчастинкових контактах металевого порошку і в безпосередній близькості від них, то необхідно мати на увазі ряд самостійних і незалежних один від одного осередків тепловиділення [3, 4]: у зоні контакту, де відбувається викривлення ліній електричного струму; за рахунок електричного опору мікроставів, безпосередньо створюючих контакт; у природних окисних плівках; теплота Пельтье (для випадку використання постійного електричного струму) по межах плівок з металом або по кордонах рідкого металу з твердим, або по кордонах різнорідних металів

Електричний опір порошкового шару при контактному наварюванні — величина змінна, залежна в загальному випадку від температури і тиску процесу. Із зростанням температури пластична деформація частинок порошкового матеріалу приводить до збільшення їх контактних майданчиків, руйнування поверхневих плівок і зниження пористості порошкового шару.

Враховуючи незначний час нагрівання (0,02...0,04с), що характеризується тривалістю пропускання імпульсів електричного струму, можна передбачити, що стабільність тепловиділення в порошковому шарі задаватиметься початковим електроопором. Цей легкоконтрольований параметр характеризує термонавантаження наварювання, визначаючи максимальне значення струму.

При здійсненні процесу наварювання якісне покриття (у якому відсутні ділянки проплавлення, пори і т. д.) досягається лише в тому випадку, якщо шар порошкової шихти має низький і стабільний по перетину початковий електроопір і гарну ущільнюваність при малому тиску пресування (40...70 МПа).

Використання порошкових матеріалів з високим питомим електроопором приводить до зниження електропровідності порошкового, дестабілізації процесу наварювання порошку, що виявляється в утворенні локальних зон нагрівання і виплеску частини металу у вигляді крапель. В результаті цього явища спостерігається зниження міцності зчеплення наварених покриттів. Покриття формується неоднорідним, з великою кількістю дефектів. Різко збільшується зношування електродів, що відбувається, в основному, за рахунок ерозійного руйнування робочої поверхні і налипання на неї розплавленого металу.

На центральній ділянці порошок має максимальну щільність і мінімальний електроопір, що обумовлює проходження через нього електричного струму (струму наварювання). На активному опорі цієї ділянки відбувається виділення тепла. Окисні плівки на границі шару порошку й поверхні деталі завдяки їх високому електроопору повністю розплавляються. Твердість, густина і міцність зчеплення покриття в центральній зоні максимальні. У граничних областях поверхня деталі і порошковий шар нагріваються за рахунок теплопередачі від зони центральної зони. Міцність зчеплення і твердість шару тут знижуються, відмічається низька щільність і велика кількість окисних плівок. Ці ділянки при експлуатації можуть викришуватися.

**Висновки.** При контактному наварюванні як компактних матеріалів так і порошкових має місце неоднорідність електричного поля в одиничній зварювальній точці. Природа і характер цієї нерівномірності для різних типів зварювальних матеріалів різні. Неоднорідність електричних полів приводить до зниження якості покриттів, отриманих

наварюванням, внаслідок нерівномірного нагрівання. Таким чином розробка технологічних прийомів та методів усунення або зниження неоднорідності електричних полів при контактному наварюванні є актуальною проблемою.

### Список літератури

1. Ярошевич В.К. Электроконтактное упрочнение/ Ярошевич В.К., Генкин Я.С., Верещагин В.А. – Минск: Наука и техника, 1982, 256 с.
2. Дорожкин Н.Н. Получение покрытий методом припекания. – Минск: Наука и техника, 1980, - 176 с.
3. Красота М.В. Дослідження впливу параметрів циліндричних електродів на формування покриттів при контактному наварюванні порошків/Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник/ Красота М.В., А.М. Артюхов, І.В. Шепеленко, В.О. Дубовик.// Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 40, частина. I - Кіровоград, КНТУ, 2010, с. 179-185
4. Лопата Л.А. Поєднання процесів електроконтактного припикання порошків і теплового пластичного деформування/ Лопата Л.А., Красота М.В.//Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів. – Київ, НТУ, 2001. – вип. 12, с. 79-86.
5. М.В.Красота. Теоретико-експериментальні дослідження параметрів електроконтактного наварювання порошків/ М.В.Красота, І.М. Соколенко, І.В. Шепеленко.//Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. КДТУ, 2004, Вип. 34, 1 с. 225.

## **ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВАРОЧНО-НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

**А.А. Гончаренко**, канд. техн. наук, доц.,  
**А.Д. Мартыненко**, канд. техн. наук, доц.,  
**С.О. Фещенко**, студ.,

*Харьковский национальный университет сельского хозяйства имени Петра Василенка,  
г. Харьков, Украина*

**Н.В. Фирсова**, заместитель директора,  
*ООО "Научный парк "Агрозоовет"*

**Ключевые слова:** восстановление, сварочно-наплавочные материалы, аддитивные технологии, металлическая 3D-печать, технологии EBF3, LWC, WAAM, RPD

Рост объемов восстановления деталей и разработка новых методов восстановления требуют постоянного улучшения качества сварочно-наплавочных материалов, расширения их номенклатуры. Весьма многообразны материалы, которые используются для восстановления геометрии изношенных или поврежденных изделий, а также для нанесения на изделие компенсирующего слоя металла или металлокерамики, обладающего особыми свойствами (износостойкостью, жаростойкостью, устойчивостью против кавитации, которые имели бы повышенную коррозионную стойкость и т.д.), а в последние годы всё больше используются в аддитивных технологиях. Фактически готовы, стать новым классом промышленных стандартов.

При многочисленных методов наплавки используются:- покрытые металлические электроды, стальная наплавочная проволока, порошковая проволока, порошковая лента, холоднокатаная электродная лента, спеченная лента, литые присадочные прутки, гранулированные порошки, тугоплавкие материалы, плавленные и металлические флюсы и др.

Металлическая 3D-печать все шире используется в таких отраслях промышленности, как авиакосмическая и автомобильная, в энергетике, кораблестроении, медицине, а также в ювелирном деле, исследовательской деятельности, в создании арт-объектов и в ряде других направлений. Аддитивные технологии позволяют увеличивать скорости изготовления изделий, расширить ассортимент используемых материалов, снизить стоимость производства, увеличить размеры производимых изделий, улучшение металлургического качества и качества внешних поверхностей. При этом в них, в качестве материала наплавки, все чаще используются металлической проволоки. Такие технологии в качестве теплового излучения используют различные источники энергии. Например, технология электроннолучевой плавки (Electron-Beam Freeform Fabrication, EBF3) использует электронный луч, лазерная наплавка проволоки (Laser Wire Cladding, LWC) – лазер, электродуговая сварка в среде газа (Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM) – электрическую дугу, быстрая плазменная наплавка (Rapid Plasma Deposition, RPD) – плазму.

Номенклатура сплавов, используемых в качестве плавленного материала, весьма обширна: углеродистые, легированные и высоколегированные стали, легированные чугуны, сплавы на основе железа, никеля кобальта и др.

В последние годы разработано много новых проволок для различных отраслей промышленности. Время прохождения от опытно-промышленных образцов до массового внедрения в производство может занимать до пяти лет. Пользователи металлопорошковых аддитивных систем по достоинству оценивают тот факт, что стоимость сварочной проволоки, в зависимости от металлического порошка дешевле в 2-10 раз. Кроме того,

доступен широкий ассортимент материалов проволоки, а это сотни наименований, доступных на рынках стран Европы, в США, Китае и России. Например, не составит большого труда найти качественную проволоку из титана и титановых сплавов, жаропрочных сплавов, тантала, вольфрама, ниобия, молибдена, нержавеющей, малоуглеродистой, инструментальной, мартенситно-стареющей стали, инвара, сплавов алюминия, циркония, бронзы, меди, медноникелевых, магниевых сплавов и др.

### Список литературы

1. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Власовец В.М., Гончаренко А.А., Марков А.В. Влияние модифицирования углерод- и медьсодержащими добавками вторичного сырья при восстановлении деталей электродуговой наплавкой // Вісник ХНТУСХ ім. П. Василенка "Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві". -Харьков, 2014. - Вип. 146. -С. 227-231.
2. Практикум з ремонту машин. Технологія ремонту машин, обладнання та їх складових частин. Том 2/ Сідашенко О.І., Тіхонов О.В., Скобло Т.С., Мартиненко О.Д., Гончаренко О.О., Сайчук О.В., Аветісян В.К., Автухов А.К., Рибалко І.М., Сиром'ятников П.С., Бантковський В.А., Маніло В.Л./За ред. О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонова. Навчальний посібник. - Харків: ТОВ "Прам-Арт", 2018 – 491с.
3. Патент України № 128982 Спосіб відновлення деталей дисперснозміцнених або зі значним скупченням неметалевих включень сталей / Т.С. Скобло, О.В. Нанка, О.І. Сідашенко, С.П. Романюк, Л.В.Омельченко, О.О. Гончаренко, ЄА. Сатановський, О.К. Олійник, О.В.Марков; заявник та патентоутримувач Скобло Т. С. - и 2018 05772. заявл. 23.05.2018; опубл. 10.10.18., Бюл. № 19.
4. Гончаренко А.А., Телятников В.В., Власовец В.М., Марков А.В., Мальцев Т.В.Применение порошков наноалмазов и шунгита для упрочнения изделий при наплавке // Информационно-аналитический международный технический журнал "Промышленность в фокусе". - 2014. - №10 (22). - С. 56-57.
5. Saychuk O.V.1, Kolpachenko N.M.2, Martynenko O.D.3, Noncharenko O.O.4 An Analysis Of Efficient Use Of Modifying Additives In Restoration Of Agricultural Machinery // International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 29, No. 8s, (2020), pp. 2531-2537
6. Теоретическая оценка особенностей структурообразования при вводе углеродсодержащих порошковых композиций в покрытие / Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Гончаренко А.А., Марков А.В., Спольник А.И., Телятников В.В.// Науковий журнал, Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2016, №4/ Харків 2016. – С. 157-163.

## **ВПЛИВ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ ФЕРОМАГНІТНОЇ ШИХТИ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ НА ТВЕРДІСТЬ НАПЛАВЛЕНОГО ШАРУ**

**С.Ф. Посонський**, канд. техн. наук, доц.,  
Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна

В останній час широкого розповсюдження знайшов спосіб електродугового наплавлення із застосуванням феромагнітної шихти [1]. Феромагнітна шихта для дугового наплавлення деталей машин, виготовлених з залізвуглецевих сплавів, може бути використана при автоматичному зварюванні і наплавленні. Наплавлення ведуть з безперервною подачею електродного дроту, на який подається магнітна шихта, і під дією власного магнітного поля зварювального кола притягається до неї, утворюючи покриття, аналогічне електродному [1]. Для забезпечення притягнення шихти до електродного дроту до складу шихти вводяться феромагнітні компоненти.

Шихта дозволяє отримати бездефектний наплавлений шар, який відповідає необхідним експлуатаційним вимогам без подальших технологічних заходів при відновленні деталей машинобудування, виготовлених з легуваних сталей і чавуну.

З метою підвищення механічних і триботехнічних властивостей наплавленого металу до складу шихти додатково додають мідь і ферованадій. Для забезпечення стійкого горіння дуги на малих струмах і поліпшення магнітних властивостей шихти магнітні і немагнітні компоненти шихти замішуються на рідкому натрієвому склі. Для більш повного протікання металургійних процесів в зварювальній ванні застосовується певний гранулометричний склад компонентів шихти. Отримання бездефектного наплавленого шару, що відповідає необхідним експлуатаційним вимогам без додаткових технологічних заходів, досягається певним відсотковим співвідношенням компонентів шихти. При цьому феромагнітна шихта забезпечує стабільне горіння зварювальної дуги при малих значеннях зварювального струму, що знижує тепловкладення і дозволяє знизити рівень зварювальних деформацій і напружень в у відновлюваному виробі.

Склад феромагнітної шихти підбирається виходячи з наступних умов [2]:

1. Надання шихті магнітних властивостей з метою забезпечення її притягання до електродного дроту під дією електромагнітних сил.
2. Забезпечення стабільного горіння дуги при малих струмах наплавлення в діапазоні від 140 до 170 А, що сприяє зниженню зварювальних деформацій і напружень.
3. Отримання бездефектного наплавленого шару без пір, тріщин, шлакових включень.
4. Забезпечення необхідних властивостей наплавленого шару без додаткових наступних технологічних заходів, таких як термічна обробка, зміцнення поверхневого шару, тощо.
5. Використання при виготовленні шихти дешевих і доступних матеріалів.
6. Забезпечення необхідних триботехнічних властивостей сполучених деталей.

До складу шихти входять рудомінеральні матеріали, феросплави, чисті метали, хімічні продукти, силікати, графіт. Компоненти  $FeCr$ ,  $FeTi$ ,  $FeV$  і вуглець  $C$  в сукупності дозволяють отримати наплавлений метал підвищеної міцності і зносостійкості без наступної термообробки в результаті утворення структури мартенситу з карбідами хрому, ванадію, титану, що володіють більш високою, у порівнянні з карбідами заліза, твердістю. Рідке натрієве скло виконує функцію сполучного компонента при виготовленні шихти, забезпечуючи спікання магнітних і немагнітних компонентів і притягання їх до електродної дроті під дією електромагнітних сил, а також сприяє стабільному горінню дуги на малих струмах.

Виготовлення феромагнітної шихти для дугового наплавлення можливо на будь-якому машинобудівному або ремонтно-механічному заводі. Дану шихту можна готувати в будь-якій кількості в залежності від серійності відновлення деталей машин, причому можливо гнучке варіювання складом шихти при відновленні деталей різного хімічного складу і призначення, забезпечуючи необхідні експлуатаційні характеристики.

Для відновлення деталей машин, виготовлених з легованих сталей, використовується шихта наступного складу при співвідношенні компонентів: вуглець (0-3 %), феротитан (5-15 %), ферохром (1-20 %), ферованадій (0,5-25 %), мармур електродний (12-15 %), плавиковий шпат (12-15 %), силікокальцій (5-12 %), порошок мідний (2-4 %), залізний порошок (залишок) [2].

Пропонований склад феромагнітної шихти дозволяє забезпечити твердість в діапазоні від *HB* 140 до *HB* 650, стабільне горіння дуги на малих струмах в діапазоні від 140 до 150 А, а також отримати бездефектний наплавлений шар, який відповідає необхідним експлуатаційним вимогам без застосування додаткових технологічних заходів.

Даною шихтою можна відновлювати сталеві колінчаті вали, валки прокатних станів, кранові колеса, розподільні вали, кулаки тролейбусів, колеса і бандажі трамваїв і метрополітену, гальмівні вали автобусів.

В даній роботі ставиться мета дослідити вплив хімічного складу основних компонентів феромагнітної шихти (співвідношення концентрацій феротитану (*FeTi*) та мармуру електродного (*CaCO<sub>3</sub>*), на твердість наплавленого шару.

Знаходження функцій, що задають зв'язок між факторами (вміст у відсотках (*FeTi*) і (*CaCO<sub>3</sub>*) та твердістю (*HRC*)) зручно описувати виразом у вигляді полінома. Факторний план одночасно варіює всі фактори таким чином, що ефект кожного фактора оцінюється за всією сукупністю дослідів.

Оскільки необхідно оцінити два фактори, виникає задача проведення двофакторного експерименту. Модель процесу двофакторного експерименту другого порядку має вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1x_2 + b_4x_1^2 + b_5x_2^2. \quad (1)$$

До рівнів факторів з ПФЕ додаються ще два значення, таблиця 1. Проводяться додаткові досліді при основному рівні (0) та зіркових точках (+1,41; -1,41) [3].

Згідно матриці планування, що складається зі стовпців  $x_1, x_2$  якими безпосередньо визначаються умови дослідів [3], виконано вимірювання твердості зразків зі сталі 65Г шихтою змінного складу. Результати випробувань наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Матриця планування експерименту та результати випробувань

№	$x_1$ ( <i>FeTi</i> ), %		$x_2$ ( <i>CaCO<sub>3</sub></i> ), %		<i>HRC</i>
1	-1,00000	6	-1,00000	10	42
2	-1,00000	6	1,00000	14	38
3	1,00000	7	-1,00000	10	50
4	1,00000	7	1,00000	14	46
5	-1,41421	5,8	0,00000	12	34
6	1,41421	7,2	0,00000	12	50
7	0,00000	6,5	-1,41421	7,18	32
8	0,00000	6,5	1,41421	16,82	29
9	0,00000	6,5	0,00000	12	41
10	0,00000	6,5	0,00000	12	41

Обробку даних експерименту та пошук оптимальних значень виконано в демо версії додатку Statistica 6.0. В результаті обробки розраховані коефіцієнти регресії та визначене рівняння регресії для твердості наплавленого шару.

$$HRC = 82,25 - 41,48(FeTi) + 3,94(FeTi)^2 + 11,08(CaCO_3) - 0,48(CaCO_3)^2 + 0,00(FeTi)(CaCO_3). \quad (2)$$

Враховуючи діаграму значимості коефіцієнтів (рис. 1) відкидаємо не значимі коефіцієнти. З рахуванням не значимих коефіцієнтів отримуємо рівняння залежності твердості наплавленого шару від компонентів шихти:

$$HRC = 82,25 - 41,48(FeTi) - 0,48(CaCO_3)^2. \quad (3)$$

За допомогою модуля "Design Analysis of Experiments" (експериментальний проект) даної програми визначено вплив кожного з факторів на твердість наплавленого шару рис. 2, та отримані оптимальні значення факторів.

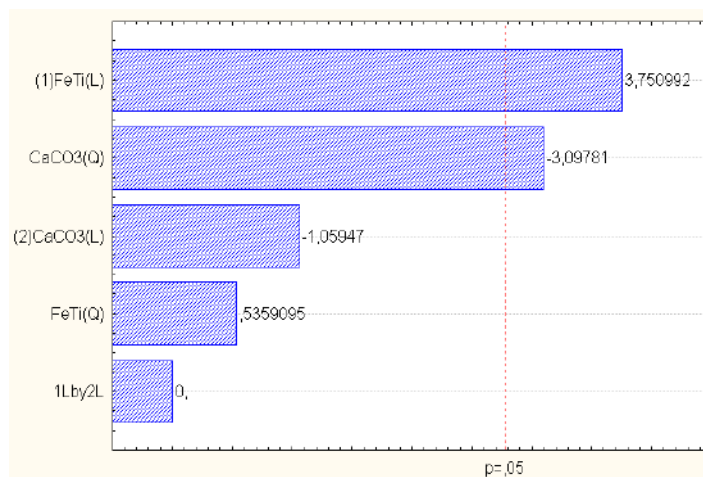


Рисунок 1 – Діаграма значимості коефіцієнтів

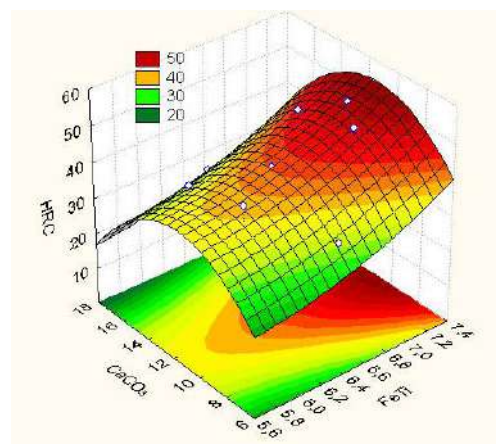


Рисунок 2 – Поверхневий графік залежності твердості наплавленого шару від компонентів шихти

Аналізуючи графік залежності твердості від співвідношення концентрацій феротитану та мармуру електродного в феромагнітній шихті приходимо до висновку, що керуванням співвідношенням концентрацій можливо досягнути різного значення твердості наплавленого шару.

### Список літератури

1. Глазунов С.Н. Технология восстановления стальных и чугунных деталей транспортных машин методом электродуговой наплавки с применением ферромагнитной шихты / С.Н. Глазунов, В.С. Гаврилюк, В.Г. Вялков, А.В. Свешников // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2002. – № 6. С.3-5.
2. Ферромагнитная шихта для дуговой наплавки деталей машин, изготовленных из железоуглеродистых сплавов: пат. 2448823 Российская Федерация: МПК В23К 35/36 / Глазунов С.Н. и др.; заявитель и патентообладатель Апраксин Д.В. – № 2010104100/02; заявл. 09.02.2010; опубл. 27.04.2012, Бюл. № 12. – 7 с.
3. Фаддев М.А. Элементарная обработка результатов эксперимента / М. А.Фаддев. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2010. – 122 с.

**ПІДВИЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗОВНІШНІХ  
ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ "ВАЛ"  
АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ УДОСКОНАЛЕНИМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ  
НАПЛАВЛЕННЯМ**

**С.Є. Катеринич**, канд. техн. наук, доц.,  
**С.К. Солових**, д-р. техн. наук, доц.,  
**С.О. Магопець**, канд. техн. наук, доц.,  
**В.О. Поворознюк**, студ.,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Найбільш прогресивним напрямком в світовому машинобудуванні є технології нанесення зміцнюючих захисних покриттів і модифікація поверхонь деталей машин і механізмів [1].

В багатьох випадках вузли тертя працюють в умовах одночасного впливу циклічно-поверхневого навантаження (вали, вісі, зубці шестерень тощо), тому найбільш небезпечними ушкоджуючи ми факторами можливо вважати знос і втомне руйнування [2].

При відновленні зовнішніх контактних поверхонь валів автомобілів в умовах ремонтного виробництва найбільш застосовуваними залишаються методи наплавлення які при цьому мають цілий ряд відомих недоліків [3].

Слід зауважити, що існує величезний ряд різноманітних способів відновлення і зміцнення зношених поверхонь сучасними методами наплавлення [2, 3].

Аналіз таких методів показує, що і вони не завжди забезпечують необхідні міцнісні властивості покриттів, а одним із найбільш прогресивних способів можливо вважати електромагнітне наплавлення (ЕМН), контактуючих циліндричних поверхонь порошковими металевими матеріалами [4].

Сутність способу міститься в розплавленні зерен феромагнітного порошку імпульсами електричних розрядів і полярному переносі крапель розплаву на відновлювальну поверхню та дифузійному насичуванні нанесеного шару точковими вкрапленнями розплаву, що призводить до підвищення його суцільності та згладжування зміцненої поверхні [5].

Для електромагнітного наплавлення застосовуються різноманітні магнітні порошки, наприклад, типу Fe-C-W-Cr-Mo-V, що обумовлене тим що вони випускаються промислово, мають стійку гетерогенну структуру, підвищенні антифрикційні властивості та зносостійкість [6].

Згаданий спосіб, попри беззаперечні переваги, має певні недоліки: так високошвидкісний тепловідвід (до 150 тисяч  $^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ) [7] при охолодженні наплавленої поверхні від кімнатної температури, викликає деякі вади поверхневого шару, який складається з розрізаних шарів мартенситу, залишкового аустеніту та карбідів і поряд з підвищенням твердості і зносостійкості покриття призводить до різкого зниження втомної міцності, за рахунок створення стовбчастої (дендритної) структури в перехідній зоні між основою і покриттям, до того ж, уздовж вісей дендритів утворюються пори втягнутої форми, що виникають в результаті дії залишкових розтягуючих напружень та певної усадки матеріалу покриття при швидкому охолодженні, а наявність окислів, що виникають при наплавленні, додатково зменшують адгезійну і когезійну міцність покриття і в цілому його якість.

Наявність наведених дефектів структури на межі „покриття-основа” може суттєво знижувати експлуатаційні властивості деталей при їх відновленні і зміцненні в умовах ремонту автомобільної техніки.

Як зазначено вище, основною причиною низької якості ЕМН покриттів, напевне, є дуже висока швидкість охолодження поверхневого шару і тому зменшення швидкості



тепловідводу і вибір його оптимальної швидкості зможе дозволити цілеспрямоване керування процесом кристалізації „конструкції” з наплавленого металу – перехідної зони та зони термічного впливу і забезпечити оптимізацію структури нанесеного шару.

Таким чином, для одержання якісних змін в структурі нанесеного шару і забезпечення комплексного поліпшення його функціональних властивостей, шляхом зменшення швидкості охолодження, пропонується внести певну зміну в технологію відновлення зовнішніх циліндричних поверхонь деталей автомобілів, а саме ввести попередній їх підігрів перед наплавленням до температури 230-270 °С.

Попередній підігрів змінює умови формування покриття і контакту на межі „покриття-підкладинка” і значно впливає на процес структуроутворення зміцненого шару, що призводить до підвищеної однорідності і дрібнодисперсності структури, відсутності пор усадкового походження і дендритної будови перехідної зони, інтенсифікації дифузійних процесів та збільшення кількості карбідів в розплавленому шарі, а також до різкої зміни знаку залишкових напружень з розтягуючих на стискаючі підвищує його когезійну і адгезійну міцність.

Удосконалення, внесені в технологію ЕМ наплавлення дозволили, не тільки поліпшити структуру зміцненого шару, а і значно підвищити експлуатаційні властивості відновлених деталей автомобільної техніки в умовах її ремонту, а саме: забезпечити мікротвердість покриття на рівні 9,5...10 ГПа, підвищити зносостійкість зміцнених поверхонь 1,4...1,9 рази та втомну міцність у 1,15...1,2 рази, а коефіцієнт тертя знизити у 1,2...1,4 рази.

### Список літератури

1. Соловых Е.К. Тенденции развития технологий поверхностного упрочнения в машиностроении /Е.К.Соловых. – Кировоград: КОД. 2012. – 91 с.
2. Ющенко К.А. Инженерия поверхні /К.А.Ющенко, Ю.С.Борисов, В.Д.Кузнецов, В.М.Корж. – К.: Наукова думка, 2007. – 558 с.
3. Ремонт машин та обладнання /За ред.. О. І. Сідашенка та О. А. Науменка. – Харків: ХНТУСГ, 2014, - 739 с.
4. Хасуй А. Наплавка и напыление /А.Хасуй, О.Моричаки. Пер. з японського. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.
5. Алмазо-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле /Под ред.. П.И. Ящерицина. – Мн.: Наука и техника, 1988 – 271 с.
6. Градиський Ю.О. Триботехнічні випробування електромагнітних покриттів із легованих порошків на основі заліза /Ю.О.Градиський, А.В. Челишев //Зб. наук. праць ХУЛ ПС. – 1997. – Вип. 2. – С. 165 – 170.
7. Орлов Ю.Г. Сверхбыстрая закалка порошковых сплавов при электроконтактной наплавке /Ю.Г. Орлов, Л.Р. Дудецкая, К.Ю. Сокольчук и др. //Защитные покрытия на металлах. – 1994. – Вып. 28 – С.35-37.

## **ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ВИБОРУ ЕФЕКТИВНОЇ ЗМІЦНЮЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ТЕХНІКИ**

**В.А. Бантковський, доц.,**

**В.В. Батьков, студ.,**

**В.В. Гайденко, студ.,**

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, м. Харків, Україна*

Аналіз експлуатаційної надійності тракторів та іншої складної сільськогосподарської техніки показує, що із загальної кількості деталей, яка налічує тисячі найменувань, можна виділити кілька десятків, рівень надійності яких обмежує (лімітує) надійність всієї машини. За термін служби машини деякі з лімітуючих деталей доводиться замінювати або відновлювати при ремонті кілька разів, що істотно знижує ефективність використання техніки і збільшує експлуатаційні витрати. При цих умовах при ремонті доцільно підвищити ресурс лімітуючих деталей з компенсацією відповідних витрат за рахунок надбавки до ціни за ремонт.

Можна сформулювати основні передумови, за наявності яких доцільне збільшення ресурсу деталей при ремонті: фактичний ресурс нових деталей або запасних частин малий порівняно з нормативним для машини (агрегату), що призводить до необхідності виконувати за термін служби 2-3 заміни, а витрати, пов'язані із заміною деталей, що відмовили, і втрати, обумовлені простоями техніки в ремонті, великі; на ремонтному підприємстві існує технічна можливість реалізації зміцнюючої технології при відновленні деталей, що відмовили.

Метою роботи є дослідження проблеми вибору ефективної ремонтної технології зміцнення з використанням методики оцінювання довговічності лімітуючих деталей машини.

Під гарантованим забезпеченням надійності ремонтного агрегату будемо розуміти варіант, при якому ремонтне підприємство протягом заданого післяремонтного періоду (гарантійного терміну служби) при виникненні ресурсних відмов виконує повторне відновлення за свій рахунок.

Підвищення конкурентоспроможності ремонтного підприємства, потребує додаткових витрат на аварійне відновлення деталей, вузлів та агрегатів після непередбаченої раптової їх відмови протягом гарантійного терміну. Величина цих витрат залежить від розподілу післяремонтного ресурсу відновлених або заміненних деталей.

Післяремонтний ресурс залежить від способу відновлення деталей, вилучених (відбракованих) при дефектації, і від кількості (частки) деталей, які визнані при дефектації придатними до подальшої експлуатації. При параметричних відмовах ця частка пов'язана з величиною допустимого рівня для параметра стану. Раціональний вибір зазначених факторів дозволяє забезпечити мінімум сумарних витрат ремонтного підприємства при ремонті агрегатів і відновленні протягом гарантійного терміну, що дає можливість підприємству отримати найбільший прибуток. Важливим показником якості ремонту є величина середнього післяремонтного ресурсу. Тому, в якості комплексного критерію раціональності організації ремонту з гарантованим забезпеченням надійності доцільно використовувати величину питомих сумарних витрат при ремонті і гарантійному відновленні працездатності, які припадають на одиницю середнього післяремонтного ресурсу.

В представленій роботі: наведено методику практичного визначення оптимальної величини коефіцієнту підвищення ресурсу, який може бути використаний при виборі технології відновлення конкретної деталі; представлено таблиці з розрахованими коефіцієнтами підвищення ресурсу при зміцнюючій обробці поверхні деталі для різних технологій, різних видів обробки, рекомендованих матеріалів, як по зносостійкості, так і за

втомною міцністю; розглянуто реалізацію викладеної методики на прикладі конкретної деталі із наведенням даних про знос та прогнозовані параметри.

Основними передумовами доцільності збільшення ресурсу деталей при ремонті є достатньо малий фактичний ресурс нових деталей або запасних частин порівняно з нормативним для машини (агрегату), та порівняно значні витрати, пов'язані із заміною деталей, що відмовили, і матеріальні втрати, обумовлені простоями техніки в ремонті.

Оцінка показників довговічності деталей за даними ремонтного підприємства передбачає, що ресурс деталі або вузла визначається величиною такого основного контролюваного при дефектації структурного параметру як розмір в сполученні, зазор і т. п., процес зміни якого є монотонним і відноситься до деградаційних процесів типу зношування. Вихідними статистичними даними для експрес-оцінки довговічності деталей при ремонті можуть служити результати вибіркового вимірювань структурного параметру, які проводяться при дефектації.

В якості комплексного критерію раціональності організації ремонту з гарантованим забезпеченням надійності доцільно використовувати величину питомих сумарних витрат при ремонті і гарантійному відновленні працездатності, які припадають на одиницю середнього післяремонтного ресурсу.

Розподіл післяремонтного ресурсу, як суміш розподілу ресурсу деталей, визнаних придатними при дефектації та ресурсу відновлених деталей для спрощення розрахунків зручно замінити еквівалентним за середнім значенням експоненціальним розподілом зі зміщенням. Розглядаючи верхній рівень рентабельності, як функцію коефіцієнта підвищення ресурсу, можна визначити таку його величину, яка забезпечує максимум рентабельності при ремонті. Знайдений таким способом оптимальний коефіцієнт підвищення ресурсу і слід використовувати при виборі технології відновлення деталі.

### Список літератури

1. Теоретические основы технологии ремонта машин: Учебник в 3-х т. / Сидашенко А.И., Науменко А.А., Скобло Т.С., Войтов В.А., Тихонов А.В., Аветисян В.К., Автухов А.К., Бантковский В.А., Иванов В.И., Лебедь П.К., Мартыненко А.Д., Сыромятников П.С., Шержуков И.Г., Пилипенко Н.С., Луценко А.П., Полетов В.А. / Под ред. А.И. Сидашенко, А.А. Науменко. Том 1 (Теория и технология производственных процессов ремонта машин) – Харьков : ХНТУСГ, 2005. – 590с.
2. Анілович В.Я., Гринченко О.С., Литвиненко В.Л. Надійність машин в завданнях та прикладах. / За редакцією В.Я. Аніловича, -Харків: Око, 2001.-320с.-Рос.
3. Сухарев Э.А. Общая теория капитального ремонта машин: Ровно, РГТУ. – 2001. – 202с.
4. Ремонт сільськогосподарської техніки. Довід. / В.К.Аветисян, В.А.Бантковський, В.О.Деев та ін.; За ред. О.І.Сидашенка, О.А.Науменка. – К.:Урожай, 1992. – 304с.
5. Прогнозирование надежности тракторов / В.Я.Анилович, А.С.Гринченко, В.Л.Литвиненко, И.Ш.Чернявский: Под общ. Ред. В.Я.Анилович, - М.: Машиностроение, 1986. – 224с.,ил.
6. Р.Шторм. Теория вероятностей. Математическая статистика, Статистический контроль качества, М., "Мир", 1970.
7. А.М.Длин. Математическая статистика в технике. Изд. 3 – е, М., "Советская наука, 1958.
8. Е.С. Вентцель. Теория вероятностей Изд.3 – е, М., "Наука", 1965.
9. С.Я.Айвозян. Статистическое исследование зависимостей. М., "Металлургия",1968.
10. Методика статистической обработки эмпирических данных. РТМ-44-62. М., Государственное издательство стандартов, 1963.
11. Я.Б.Шор, Ф.Н.Кузьмин, Таблицы для анализа и контроля надежности. М., "Советское радио", 1968.
12. Прейсман В.И. Основы надежности сельскохозяйственной техники, - К.: Вища школа. 1988.-247с.
13. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки, Терміни та визначення. - К.: ДП "УКРНДНЦ", 1994.
14. Надійність техніки. Оцінювання та прогнозування надійності за результатами випробувань і (або) експлуатації в умовах малої статистики відмов. ДСТУ. - К.: ДП "УКРНДНЦ", 2015. – 54с.
15. Надійність машин. / В.Е.Канарчук та ін. Київ: Либідь, 2003. – 265с.

## **ВПЛИВ ДІАМЕТРА ЕЛЕКТРОДНИХ ПОРОШКОВИХ ДРОТІВ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТІВ**

**М.М. Студент**, *д-р. техн. наук, ст.н.с.,*

**М.Я. Головчук**, *канд. техн. наук, ст.н.с.,*

**В.М. Гвоздецький**, *канд. техн. наук, ст.н.с.,*

*Фізико-механічний інститут ім.Г.В. Карпенка НАН України, Львів, Україна*

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

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

**Г.П. Похмурська**, *д-р. техн. наук, проф.,*

*Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна*

Метод електродугового напилювання покриттів технологічно простий не потребує дороговартісного обладнання та легко може бути впроваджений у виробництво. Порошкові дроти (ПД), які використовуються як витратні електродні матеріали дозволили отримувати покриття із високими фізико-механічними, трибологічними характеристиками, зносостійкістю та газообразивною зносостійкістю і за кімнатних, і за підвищених температур. Порошкові дроти для ЕДП виготовляються в сталевій, нікелевій та алюмінієвій оболонках як правило діаметром 1,6 - 1,8 мм. Вважається, що покриття із ПД більшого діаметру з меншим ущільненням шихти мають суттєво гірші характеристики ніж покриття із дроту діаметром 1.6 мм. Однак дослідження, які б обґрунтували таку відмінність, не проводилися. Водночас ПД більшого діаметру можуть містити більше шихтових матеріалів, а, значить, дають змогу одержувати більш леговані покриття. Однак досліджень, які б показували вплив діаметра ПД та продуктивності напилювання покриттів на фізико-механічні характеристики покриттів, у світовій літературі немає. Це стримує розвиток методу електродугового напилювання покриттів не дає змоги створювати нові ПД із підвищеним вмістом легувальних елементів.

Експериментальні результати: Для напилювання покриттів використовували ПД базових систем легування Fe–Cr–C–W діаметром 1,6 та 2,4 мм (рис. 1, табл. 1), тиск повітряного струменю 0,4 МПа, напруга дуги 30В.

Таблиця 1 – Хімічний склад використаних модельних порошкових дротів

Марка ПД	Ø ПД, мм	Вміст елементів, мас. %									
		Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	B	V	Mo	W
50XH2ГР5С	1,6	90,6	0,55	0,19	1,09	0,20	1,38	5,95	-	-	-
	2,4	91,1	0,45	0,30	1,20	0,22	1,75	4,96	-	-	-
250X21ВФГС	1,6	74,4	2,80	0,30	0,39	21,1	-	-	0,60	-	0,40
	2,4	74,00	2,51	0,62	0,38	21,4	-	-	0,52	-	0,55
50X6Г2МС	1,6	91,7	0,41	0,40	1,56	5,4	-	-	-	0,50	-
	2,4	90,6	0,47	0,40	1,40	6,6	-	-	-	0,51	-



Рисунок 1 – Поперечний переріз порошкових дротів діаметром 1,6 (а) та 2,4 (б) мм

Мікротвердість покриттів визначали на приладі ПМТ-3 при навантаженні на індентор 1 Н з витримкою під навантаженням 30с. (ГОСТ 9450-76). Адгезію покриттів до сталевій основи визначали і склеюванням. покриттів визначали методом просочуванням гасом, який проникає у відкриті пори покриття. Відкрити пористість визначали за об'ємом гасу, що проник у пори покриття при просочуванні поділений на його питому вагу.

Встановили, що із збільшенням діаметра ПД та струму дуги об'єм розплавленого металу на торцях ПД збільшувався і тому повітряний струмінь диспергував його на краплини більшого діаметру. Як наслідок у покриттях всіх систем легування товщина ламелей (як структурна ознака покриттів) зростала (рис. 2).

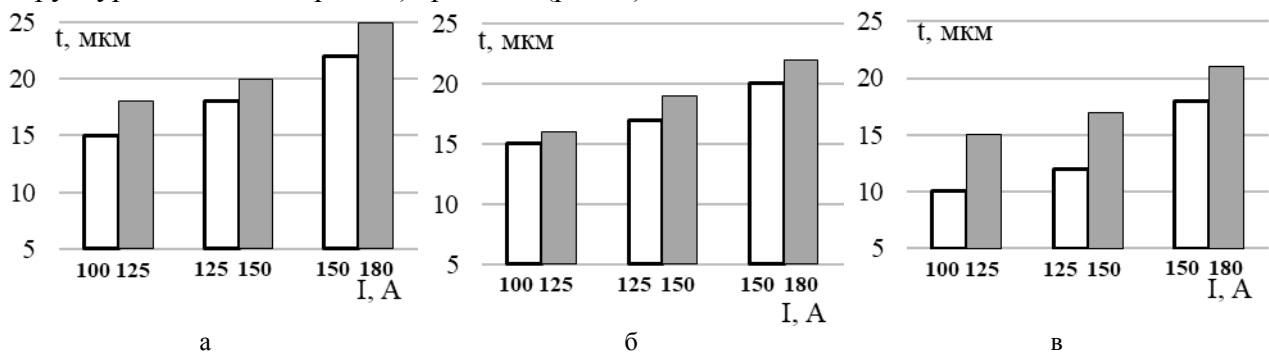


Рисунок 2 – Залежність товщини ламелей  $t$  у покриттях з ПД 50Х6Г2МС (а), ПД 250Х21ВФГС (б) та ПД 50ХН2Р5ГС (в) залежно від продуктивності напилювання покриттів (за величиною струму), отриманих з ПД діаметром 1,6 (світлі стовпчики) та 2,4 (темні стовпчики) мм

Поруватість покриттів всіх систем легування зростала із збільшенням товщини ламелей у структурі напилених покриттів і, відповідно, діаметра ПД (рис. 3). Така закономірність зумовлена зростанням діаметра краплин, які формували покриття. Із збільшенням діаметра краплин при ударі об поверхню напилювання відбувалося інтенсивне їх розбризування, що зумовило виникнення мікропорожнин між ламелями у структурі покриттів.

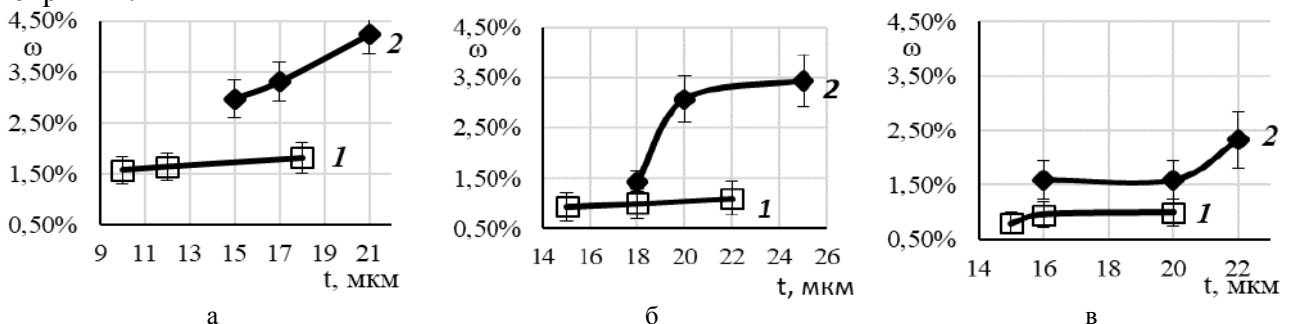


Рисунок 3 – Вплив товщини ламелей  $t$  у структурі покриттів із ПД 50ХН2Р5ГС (а), ПД 50Х6Г2МС (б) та ПД 250Х21ВФГС (в) діаметром 1,6 (1) та 2,4 (2) мм на поруватість покриттів  $\omega$

Встановили, що мікротвердість покриттів із ПД 50Х6Г2МС та ПД 50ХН2Р5ГС зростала із збільшенням товщини ламелей у структурі покриттів, що особливо яскраво проявилось за використання для напилювання ПД більшого діаметра (рис. 4 а, б). Це пояснили випаровуванням та вигорянням легувальних елементів із краплин, особливо вуглецю під час їх розпилювання. Із збільшенням діаметра краплин кількість вуглецю, що

вигорів з краплин зменшувалася. А вищий вміст вуглецю у мартенситній матричній фазі покриттів відповідав за підвищення їх мікротвердості.

Разом з тим в покриттях із ПД 250Х21ВФГС виявили протилежну тенденцію впливу товщини ламелей на мікротвердість за використання дроту більшого діаметру (рис. 4в). Це зумовлено фазовим складом цих покриттів, а саме значною кількістю залишкового аустеніту в них, якому властива нижча мікротвердість, ніж високовуглецевому мартенситу. З дрібних краплин, що формувалися під час розпилювання ПД меншого діаметру, вуглецю вигоряло значно більше, а значить і вміст аустеніту у ламелях покриття був нижчим, а мартенситу - вищим.

Адгезія покриттів із ПД50ХН2Р5ГС та ПД250Х21ВФГС дещо зменшувалася із зростанням товщини ламелей у структурі покриттів, спричиненої особливо за використання ПД більшого діаметра (рис. 5а, б). Це зумовлено виникненням у напилених покриттях напружень розтягу. Внаслідок їх впливу в покриттях виникали мікротріщини або навіть формувалася їх мережа, що суттєво знижувало їх адгезію до сталеві основи. Для покриття із ПД 50Х6Г2МС виявили обернену закономірність (рис. 5в).

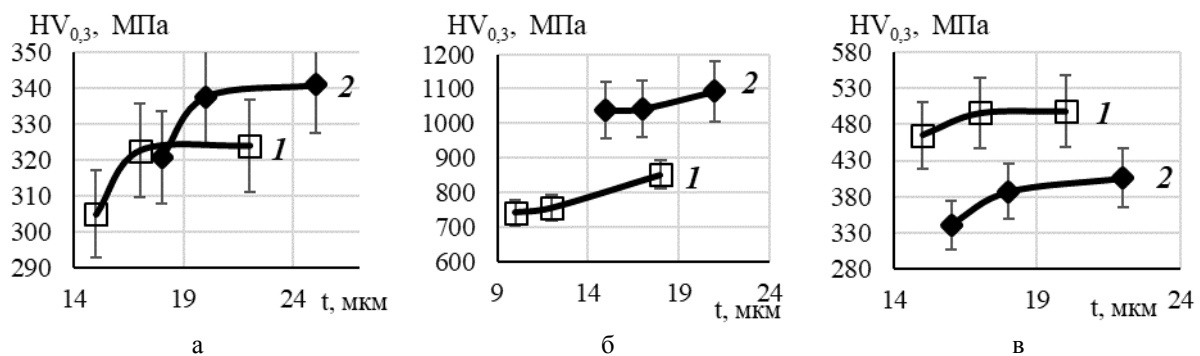


Рисунок 4 – Вплив товщини ламелей  $t$  у структурі покриттів із ПД 50Х6Г2МС (а), ПД 50ХН2Р5ГС (б) та ПД 250Х21ВФГС (в) діаметром 1,6 (1) та 2,4 (2) мм на їх мікротвердість  $HV_{0,3}$

Із збільшенням товщини ламелей у структурі покриття та діаметра ПД його адгезія до сталеві основи зростала. Це пояснили більшою тепловою енергією краплин, меншим вигорянням вуглецю із них та формуванням покриттів із матричною фазою високовуглецевого мартенситу. Чим більше вуглецю у мартенситі, тим менший коефіцієнт термічного розширення покриття, що зумовлює менший рівень залишкових напружень розтягу в ньому.

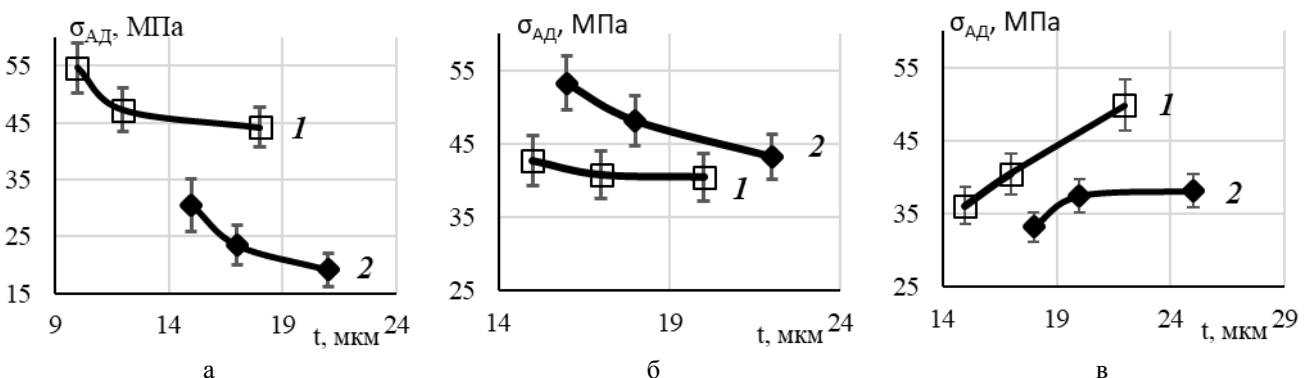


Рисунок 5 – Вплив товщини ламелей  $t$  у структурі покриттів із ПД 50ХН2Р5ГС (а), ПД 250Х21ВФГС (б) та ПД 50Х6Г2МС (в) діаметром 1,6 (1) та 2,4 (2) мм на їх адгезію  $\sigma_{ад}$  до сталеві основи

### Висновки:

1. Встановлено, що поруватість покриттів всіх систем легування зростала із збільшенням діаметра ПД та товщини ламелей під час напилування покриттів. Така закономірність зумовлена зростанням діаметра краплин, які формують покриття. Із

збільшенням діаметра краплин при ударі об напилювану поверхню відбувається інтенсивне їх розбризкування, що зумовлює виникнення мікропорожнин між ламелями покриттів.

2. Показано, що мікротвердість покриттів всіх систем легування також зростає із збільшенням діаметра ПД та товщини ламелей під час їх напилювання. Це зумовлено випаровуванням та вигорянням легувальних елементів із краплин, особливо вуглецю під час їх напилювання. Із збільшенням діаметра краплин кількість вуглецю, що вигорів із краплин зменшується. Більший вміст вуглецю у мартенситній матричній фазі покриттів приводить до підвищення їх мікротвердості.

3. Адгезія покриттів із ПД250Х21ВФГС та ПД50ХН2Р5ГС дещо зменшується із збільшенням діаметра ПД та товщини ламелей. Це зумовлено виникненням напружень розтягу у напилених покриттях. При цьому у покритті виникають мікротріщини або їх мережа, які суттєво знижують адгезію покриттів до сталеві основи. Для покриття із ПД50Х6МГ2С встановили обернену залежність. Із збільшенням товщини ламелей та діаметра ПД адгезія покриття до сталеві основи зростає. Це зумовлено більшою тепловою енергією краплин, меншим вигорянням вуглецю із них та формуванням покриттів із матричною фазою високовуглецевого мартенситу.

## **УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ**

**М.С. Агеев**, канд. техн. наук, доц.,  
*Херсонская государственная морская академия, г. Херсон, Украина*  
**М.А. Белоцерковский**, д-р. техн. наук, зав. лаб.  
*ОИМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь*  
**Р.Г. Мнацаканов**, д-р. техн. наук, проф.,  
**О.В. Радько**, канд. техн. наук, доц., н.с.,  
*Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина*  
**А.В. Дудан**, канд. техн. наук, доц.,  
*Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Беларусь*

Из многообразия способов нанесения УЗП наиболее распространенными технологиями, используемыми при повышении эксплуатационных свойств деталей, являются методы газотермического напыления (ГТН), среди которых самым дешевым и простым методом является метод электродугового напыления (ЭДН) [1, 2].

Главные недостатки напыленных покрытий – низкая прочность сцепления из-за значительной пористости, недостаточно высокая износостойкость и микротвердость из-за выгорания углерода и легирующих элементов при напылении [1, 2]. Для улучшения этих характеристик покрытий сложилась тенденция применения интегрированных многооперационных технологий. Существенное повышение свойств покрытий, полученных ЭДН, возможно путем сочетания ЭДН с лазерной (ЛО), ультразвуковой (УЗО), электроискровой (ЭИЛ), электронно-лучевой (ЭЛО) и др. методами обработки [4, 5]. Эффективным путем решения задачи повышения эксплуатационных характеристик ЭДН-покрытий является формирование в них высокопрочных поверхностных слоев посредством использования различных методов химико-термической обработки (ХТО) [4, 6]. В попытках повышения свойств ЭДН-покрытий методами ХТО отмечают преимущество азотирования. Методы азотирования отличаются технологичностью, экологической безопасностью и экономической эффективностью. Для улучшения свойств обработки ЭДН-покрытий было выбрано газотермоциклическое импульсное азотирование (ГТЦ ИА) [7-9].

Объединение нанесения покрытий ЭДН с азотированием позволяет создать комбинированный метод инженерии поверхности. С целью обоснования и доказательства целесообразности разработки технологий формирования УЗП на основе сочетания процесса ЭДН с азотированием нами были проведены исследования. В результате проведенных исследований была произведена оценка возможности повышения качества покрытий, полученных ЭДН (ЭДН-покрытий) путем последующей обработки азотированием. Напыленные слои, обработанные азотированием, характеризуются повышенным уровнем микротвердости (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние температуры ИИА на микротвердость ЭДН - покрытий

Материал покрытия	Микротвердость, ГПа при различной $T, ^\circ\text{K}$ ГТЦ ИА						
	600	620	650	670	700	720	770
Стали мартенситного класса	8,6	11,3	12,9	14,0	15,9	12,7	11,3
Стали аустенитного класса	5,6	6,2	8,0	8,9	11,1	12,0	11,8



Микротвердость напыленного слоя достигает уровня максимальных значений (14000–15900 МПа). при температуре азотирования 670–720<sup>0</sup>К. Основной причиной, обуславливающей небольшую глубину насыщения азотом ЭДН-покрытий (15–30 мкм) является наличие большого количества оксидных пленок в покрытии, являющихся барьером для осуществления процесса азотирования. Оксиды неизбежно образуются как во время полета расплавленных частиц, так и в процессе их кристаллизации на поверхности детали. По этой же причине покрытия, имеющие пористость более 7 % практически невозможно упрочнить без образования дефектных участков, поскольку поверхность покрыта тонким слоем оксидов железа. Устранить образование оксидных пленок возможно при распылении стальных проволок не воздухом, а продуктами сгорания пропана и воздуха. Согласно полученных данных, по мере увеличения температуры азотирования покрытий до 530–640<sup>0</sup>К, полученных распылением продуктами сгорания пропана и воздуха, возрастает глубина модифицированного слоя до 50...90 мкм. Таким образом, изменяя температуру процесса азотирования напыленных покрытий можно управлять глубиной диффузионного слоя и его микротвердостью.

В результате триботехнических испытаний (давление 0,64 МПа, сухое трение) ЭДН-покрытий после различных режимов азотирования установлено, что увеличение температуры азотирования напыленных покрытий из стали 40X13 приводит к резкому увеличению их износостойкости. Наиболее высокой износостойкостью обладают напыленные покрытия, обработанные азотированием при 670–770<sup>0</sup>К. Интенсивность износа контртела (закаленная сталь 60Г, HV=7800–8000 МПа) несколько снижается при переходе от ЭДН-покрытий к ЭДН-покрытиям после азотирования. Азотирование покрытий из стали X18H10T при 500 – 520<sup>0</sup>К, не сопровождается возрастанием износостойкости поверхности стали в условиях контактного взаимодействия без смазки. При переходе к более высоким температурам (670<sup>0</sup>К, 720<sup>0</sup>К и 770<sup>0</sup>К) износостойкость покрытий существенно возрастает. Повышенная износостойкость напыленного покрытия после азотированного при 770<sup>0</sup>К обусловлена глубиной азотирования высоким уровнем микротвердости. Обработка ЭДН-покрытий азотированием приводит к резкому возрастанию их износостойкости. Так, интенсивность изнашивания покрытий из стали 40X13 при сухом трении снижается с  $I_h = 110$  мкм/км до  $I_h = 19$  мкм/км. На стадии установившегося трения интенсивность изнашивания ЭДН-покрытия после обработки ИИА уменьшается до  $I_h = 5–6$  мкм/км. При этом износостойкость модифицированного слоя из стали 40X13 в 2,6 раза выше износостойкости ЭДН-покрытия (рис. 1).

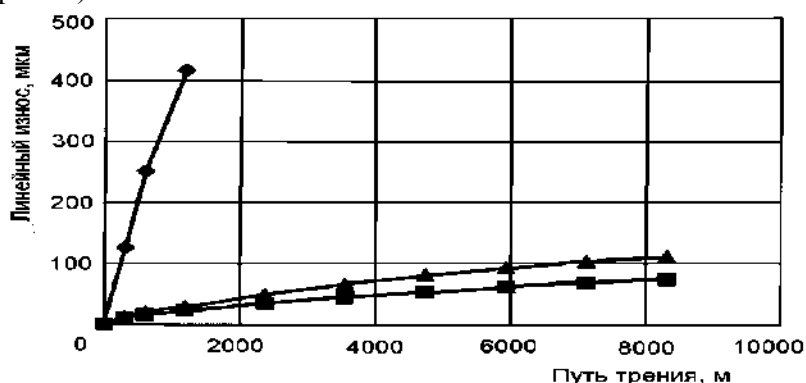


Рисунок 1 – Зависимость линейного износа от пути сухого трения:

■- ЭДН-покрытие + ГТЦ ИА; ▲ - ЭДН-покрытие; ◆- литая сталь 45 (закалка и отпуск); материал покрытия - сталь 40X13

Исследование микротопографии поверхностей слоев ЭДН-покрытий после азотирования показало, что пористость покрытий отрицательно сказывается на качестве напыленных поверхностей. Установлено, что на предварительно шлифованных слоях пористостью более 7% после азотирования на поверхности трети образцов появляются участки вспучивания (вздутия) покрытия размером до 200–500 мкм. После отслаивания

участки вспучивания превращаются в каверны. Очевидно, что чем больше пористость слоев, тем сильнее проявляется эффект вспучивания. Поэтому ЭДН-покрытия формировали распылением проволочных сталей 40X13 и 12X18H10T продуктами сгорания пропана и воздуха, а не распыление материала покрытия только воздухом, что обеспечило пористость покрытий менее 7 %. Проведенные исследования показали (табл. 2), что при плотности напыленных слоев более 94% данный эффект не возникает.

Таблица 2 – Результаты исследования топографии поверхности напыленных слоев после азотирования при 580 К

Метод напыления	Напыляемый материал	Пористость слоя, %	Микротопография поверхности
ЭДН (распыление воздухом)	Стали ферритного класса	$\approx 10$ $\geq 8$	вспучивание вспучивание
ЭДН (распыление продуктами сгорания пропана и воздуха)		$\approx 6$ $\approx 5$	гладкая без изменений гладкая без изменений
ЭДН - распыление материала покрытия воздухом	Стали мартенситного класса	$\approx 10$ $\geq 8$	вспучивание вспучивание
ЭДН (распыление продуктами сгорания пропана и воздуха)		$\approx 6$ $\approx 5$	гладкая без изменений гладкая без изменений

Рост прочности сцепления характерен для покрытий, имеющих пористость в диапазоне 5–14 %, и дальнейшее повышение пористости приводит к снижению адгезии. Таким образом, исследование прочности сцепления ЭДН - покрытий показало, что их обработка азотированием позволяет значительно повысить адгезию (табл. 3). Повышение адгезии ЭДН-покрытий после азотирования обусловлено развитием диффузионных процессов на границе между покрытием и подложкой, восстановлением окислов на поверхности подложки, релаксацией внутренних напряжений в покрытии.

Таблица 3 – Влияние пористости на прочность сцепления ЭДН-покрытий (без нанесения подслоя)

Материал покрытия	Прочность сцепления (МПа) при различной пористости (%)					
	$\leq 4$	5–9	7–10	10–14	12–16	13–17
Св-08Г2С	38	49	61	53	40	36
40X13	37	43	55	47	43	35
40X13	41	55	67	63	50	39

**Выводы.** Нами были проведены исследования с целью разработки многооперационной технологии формирования УЗП на основе сочетания процесса ЭДН с последующей обработкой ИИА.

Была произведена оценка возможности повышения качества ЭДН-покрытий из сталей мартенситного (40X13) и аустенитного (12X18H10T) классов путем их обработки азотированием. Исследован фазовый состав и микротвердость покрытий, полученных распылением проволок из сталей аустенитного и мартенситного классов. В результате экспериментальных исследований влияния модифицирующего воздействия азотирования на физико-механические свойства стальных ЭДН-покрытий установлено, что для повышения эффективности процесса азотирования необходимо использовать напыленные покрытия пористостью не более 7 %, что позволяет обеспечить формирование поверхностных слоев с микротвердостью 6,5 – 15,0 ГПа и толщиной 20-50 мкм. Таким образом, насыщение азотом ЭДН-покрытий из проволочных сталей 40X13 и X18H10T приводит к образованию

диффузионного слоя толщиной 40-50 мкм, микротвердостью 6500–15000 МПа. При этом прочность сцепления покрытий увеличивается в 1,6 раза, а износостойкость в 2,5-5 раз.

Показано, что дуплексная (комбинированная) технология, сочетающая электродуговое напыление и азотирование позволяет получить значительный эффект по повышению твердости, прочности сцепления и износостойкости системы деталь-покрытие при снижении вероятности деформации детали. Процесс азотирования не создает сплошного нагрева детали, а обеспечивает нагрев только поверхностного слоя на необходимую для упрочнения глубину. Азотирование не изменяет форму, размеры детали и шероховатость ее поверхности, поэтому его можно использовать в качестве финишной обработки. Циклический характер процесса нагрева позволяет сократить в 2.5 раза мощность источников питания. В связи с изложенными результатами исследований и дальнейшей необходимостью проведения исследований по дуплексной технологии электродугового напыления и азотирования и прочностных свойств элементов конструкций с этими покрытиями.

### Список литературы

1. Ильющенко А.Ф. Формирование газотермических покрытий: теория и практика. [Текст] / А.Ф. Ильющенко, В.А. Оковитый, С.П. Кундас, Б. Форманек - Мн.: 2002. – 245 с.
2. Бороненков В. Н. Основы дуговой металлизации. Физико-химические закономерности. [Текст] / В. Н. Бороненков, Ю. С. Коробов – Екатеринбург, УрГУ, Унив. изд-во; 2012, - 267 с.
3. Студент М.М. Розробка захисних та відновних електрометалізаційних покриттів з використанням порошкових дрітків: автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.02.01. Львів, 1998. 18 с.
4. Витязь П.А. Упрочнение газотермических покрытий. [Текст] / П.А. Витязь, Р.О. Азизов, М.А. Белоцерковский – Мн.: Бестпринт, 2004. – 192 с.
5. Лопата Л.А., Медведева Н.А., Туник Т.М, Салий С.Г. Повышения качества напыленных покрытий. Мир Техники и Технологий, Международный технический журнал, №8 (54), 2005. – С.54-56.
6. Витязь П.А., Азизов Р.О., Белоцерковский М.А., Кукареко В.А. Повышение качества газотермических покрытий из проволочных материалов методами химико-термической обработки. Трение и износ. – 2003. – Т. 24, № 6. – С. 666–672.
7. Белоцерковский М.А. Константинов В.М., Ткаченко Г.А. Упрочнение химико-термической обработкой покрытий, полученных высокоскоростным распылением стальных проволок. Инженерия поверхности, Новые порошковые композиционные материалы. Сварка: сб. докл. Межд. Симпозиума (Минск, 25-27 марта 2009). – ГНПО ПМ НАН Беларуси, Минск: ОИМ НАН Беларуси, 2009. – С. 178–184.
8. Ляшенко Б.А., Белоцерковский М.А., Лопата В.Н., Брусило Ю.В., Е.В. Корбут Газотермическое напыление и ионное азотирование – перспективное сочетание. Инжен. поверхн. и реновация изделий: матер. 14-й Междун. научн. – техн. конф. (Свалява, 2-6 июня 2014). Киев: АТМ України, 2014. - С.79-80.
9. M. Ageev, L. Lopata, T. Smirnova, A. Dudan Of combined electric arc coatings. International scientific Journal Prombles of tribology 2019, Vol 24 № 3/93. - P/ 56-61.

## **5. КОНСТРУКТОРСЬКІ РІШЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВУЗЛІВ, ДЕТАЛЕЙ ТА РОБОЧИХ ОРГАНІВ**

УДК 621.891

### **ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЧАВУНУ НА УСАДОЧНІ ДЕФЕКТИ У ВИЛИВКАХ ТА ЇХ РЕСУРС**

**О.В. Кузик**, канд. техн. наук, доц.,  
**А. Агамась**, студ.,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Проблема розвитку та підвищення ефективності машинобудівного комплексу в значній мірі визначається якістю та собівартістю виготовлення литих заготовок деталей машин та обладнання. Слід мати на увазі, що якість виливків також характеризується наявністю необхідним комплексом властивостей майбутньої деталі. Серед багатьох показників для відповідальних виливків головним є ресурс роботи литої деталі, який оцінюється приблизно через невизначеність розвитку і ступеня небезпеки дефектів в литві.

Оцінка ресурсу і аналіз причин пошкоджень деталей машин і обладнання показують, що однією з основних причин зменшення їх ресурсу є якість виливків, що мають різні дефекти технологічного походження, які обумовлюють руйнування і сприяють його розвитку при експлуатаційних навантаженнях. Характерними є технологічні дефекти, такі як неметалеві включення, усадочні раковини, газові бульбашки та ін., які утворюються в результаті кількісного впливу хімічного складу чавуну.

При оцінці ресурсу деталей машин і обладнання необхідно передбачувати зміни фізико-механічних властивості чавунних виливків, які значно залежать від кількості усадочних дефектів в їх структурі, тому необхідно знати, яким чином можна усунути або хоча б зменшити розміри і кількість таких дефектів. Це особливо актуальним є для відповідальних деталей машин та обладнання, особливо для виливків, що виготовляються зі спеціального сірого чавуну, до якого, крім С і Si, використовуються такі легуючі елементи, як Р, Cr, В, V, Mn, Cu, Ti.

Оскільки, С, Si, Р підвищують ступінь евтектичності чавуну, тим самим підвищують його рідкотекучість і знижують схильність до утворення усадочних дефектів. Хімічні елементи змінюють властивості розплаву чавуну в залежності від їх впливу на графітизацію або відбіл чавуну. У графітізованому чавуні графіт виділяється при кристалізації розплаву, що супроводжується збільшенням його об'єму і в значній мірі компенсує об'ємну усадку. Елементи, що сприяють графітизації чавуну (С, Si, Р, Ni), відповідно і обумовлюють зменшення утворення усадочних дефектів в виливках з чавуну. Слід зазначити, що відбілюючі чавуни елементи (Mn, Cr, V, Mo) зменшують або взагалі гальмують виділення графіту з розплаву чавуну, як наслідок збільшується об'єм усадочних раковин у виливках. Однак в легованих чавунах можуть протікати процеси, які порушують ці правила. Наприклад, Р утворює фосфідну евтектику зі зниженою температурою кристалізації, як наслідок є утворення в локальних обсягах розплаву усадочних раковин, що кристалізуються в останню чергу. Інші елементи при кристалізації розплаву чавуну також нерівномірно розподіляються в рідкій і твердій фазах. Так, Cr, V, Mo насичують фосфідну евтектику, що збільшує її об'єм, що сприяє утворенню пористості у виливках. В той же час Ni розчиняється в аустеніті більше, ніж в розплаві, а Cu мало розчиняється в аустеніті, тим самим збагачує розплав.

Зазначене змінює фізичні властивості розплаву при кристалізації і тим самим впливає на формування усадочних дефектів у виливках. Таким чином, важливим для практики

виробництва є встановлення комплексного впливу елементів на протікання усадочних процесів в виливках, особливо відповідальних з наявністю в них локальних дефектів.

Аналіз результатів досліджень, показав, що брак виливків як правило утворюється через понижений вміст С і Si і підвищеного вмісту Р, Mn. При пониженому вмісті С і Si в чавуні знижується його рідкотекучість, що ускладнює живлення від прибутку локальних вузлів, і призводить до появи в них розміщеної усадки у вигляді усадочною пористості, що призводить до браку виливків. Підвищений вміст Р призводить до накопичення у виливках збагаченої їм евтектики, яка кристалізується в останню чергу при зниженій температурі повітря і сприяє утворенню раковин.

Таким чином, управління процесом усадки вимагає розробки кількісної залежності впливу хімічного складу чавуну на утворення усадочних дефектів у виливках. Розроблені математичні моделі і номограми можуть бути використані для прогнозування усадочних раковин у відливках з чавуну. Але слід зазначити, що хімічний склад є не єдиним фактором, що відповідає за структуру і властивості чавуну. Важливе значення при цьому має і тепловий режим взаємодії вилівка з формою, що впливає на параметри процесів кристалізації чавуну: товщина стінки, маса вилівка і конструкція ливниково-живильної системи, а також процес модифікування розплаву та тип шихтових матеріалів.

## **ФОРМУВАННЯ НАДІЙНОСТІ МАШИН І ОБЛАДНАННЯ**

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

**О.О. Котречко**, канд. техн. наук, доц.,

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

Для реалізації завдань з ефективного виробництва продукції тваринництва особливе місце займає годівля повноцінними кормовими сумішами. Існуючі засоби для приготування і роздавання кормів (ЗПРК) характеризуються різноманітністю конструкцій як самих машин, так і окремих механізмів, що суттєво впливає на їх надійність. На поточний момент в Україні виробництвом сучасних ЗПРК займається кілька машинобудівних підприємств: ВАТ "Брацлавський завод сільськогосподарських машин", ВАТ "Галещина Машзавод" та ВАТ "Уманьферммаш" [3]. Рівень надійності вітчизняних ЗПРК, в значній мірі, досягається завдяки використанню основних вузлів і агрегатів від провідних світових виробників з Італії, Німеччини, США та Франції. Але, як показує аналіз, спроби створити вітчизняні ЗПРК на рівні кращих зарубіжних зразків закінчились дрібносерійним виробництвом. Вирішення організаційних і технічних питань, покращення експлуатаційних та зоотехнічних показників представлених об'єктів досліджень, можна розглянути на прикладі аналізу та синтезу основних механізмів ЗПРК.

З метою підвищення довговічності робочих органів ЗПРК та інших подрібнювачів-змішувачів, пропонується використати перспективний спосіб термічної обробки деталей, які виготовляються зі сталі 65Г. При хорошій стійкості проти зношування, ножі, які виготовлені з представленої марки сталі мають низькі значення ударної в'язкості і міцності при згині, що є причиною їх аварійного руйнування при попаданні з фуражним зерном твердих матеріалів. Відомий спосіб термічної обробки сталі 65Г (ГОСТ 14959-79) включає її гартування в оливі при температурі нагрівання  $t=800\text{ }^{\circ}\text{C}$  і відпуск при температурі  $820\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Задекларований спосіб термічної обробки сталей передбачає гартування сталі 65Г в оливі при температурі нагрівання  $t=820\text{ }^{\circ}\text{C}$  та відпуск при температурі  $t=400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , який відрізняється тим, що після гартування проводять охолодження у розплаві наступного складу, мас. %: NaCl - 10, KNO<sub>3</sub> - 35, NaNO<sub>2</sub> - 25, H<sub>2</sub>O - 30 із ізотермічною витримкою при температурі ізотерми  $t=360\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом 1,5 години. Термічна обробка ножів ЗПРК включає наступні операції: нагрівання до температури аустенізації  $t=820\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; охолодження в розплаві з подальшою витримкою при температурі ізотерми  $t=360\text{ }^{\circ}\text{C}$  на протязі  $\tau=1,5$  години; кінцеве охолодження на повітрі.

За результатами запропонованої термічної обробки ножів, які виготовляються зі сталі 65Г встановлено, що за рахунок вказаного способу зменшуються внутрішні напруження, стабілізується структура металу і, як наслідок, значно покращуються показники пластичності і ударної в'язкості (таблиця 1) [6].

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика робочих органів, які пройшли термічну обробку за перспективним способом [6]

Вид термообробки	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, Дж/с м <sup>2</sup>	HRC	Прогин при руйнуванні, f, мм	Міцність при згині, МПа
Відома термічна обробка	1450	1670	8	48	29	46	4	2600
Запропонована термічна обробка	1610	1850	12	60	40	48	12	3400

Попередніми дослідженнями було встановлено, що за рахунок створення рівновісної структури, стійкість ножів ЗПРК проти зношування за перспективним способом зміцнення сталі 65Г є вищою на 20-22% в порівнянні з існуючим.

В цьому розрізі слід також назвати такі перспективні наукові напрями досліджень забезпечення надійності ЗПРК як:

- використання можливостей біоінженерії при забезпеченні надійності соціотехнічних систем із врахуванням впливу складових "людина-оператор" та "машина" [1, 2];
- формування та дослідження перспективних способів термічної обробки деталей [5, 6];
- дослідження особливостей природнього зносу і впровадження конструкторсько-технологічних методів підвищення довговічності деталей [3, 4].

### Список літератури

1. Boyko A., Novitskiy A. Mathematical model of reliability of human-machine system under reduced efficiency of its generalized work. *Machinery & energetics*. Kyiv. Ukraine. 2018. vol. 9. no. 3. 271. p. 165-174.
2. Novitskiy Andrey. Professional Reliability of Personnel in System of Development of Innovative Processes. *ТЕКА. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin-Rzeszow. 2018. Vol. 18. No 2, P. 93-102.
3. Andriy Novitskiy. Forming reliability of means for preparation and disposal of forage. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2017. Vol. 19. No 3. P. 123-128.
4. Новицький А. В., Засунько А. А., Хмельовська С. З. Оцінка та підвищення рівня надійності ножів засобів для приготування і роздавання кормів. Збірник тез доповідей VII-ї Міжнародної наукової конференції "Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК" в рамках роботи XXXI Міжнародної агропромислової виставки "АГРО 2019" (04-07 червня 2019 року). НУБіПУ. Київ. 2019. С. 82-83.
5. Новицький А. В., Ружилю З. В., Котречко О. О. Забезпечення надійності сільськогосподарської техніки в системі розвитку інноваційних процесів. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, 151-157.
6. Спосіб термічної обробки сталевих деталей : пат. 121471 Україна : МПК C21D 1/56. № c21d 1/56. заявл. 31.05.2017 , опубл: 11.12.2017 Бюл. №23.

## **РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЗНИЖЕННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ РОБОТИ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ АВТОМОБІЛІВ**

**В.В. Аулін**, *д-р. техн. наук, проф.*,

**А.В. Гриньків**, *канд. техн. наук,*

**В.М. Ущіповський**, *студ.*,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Принципи системи автоматичного зниження нерівномірності гальмівних моментів на колесах передньої осі побудовані за ідеями різноманітного нескінченного циклу. Це означає, що в нього є початок, розподілений на варіанти роботи, але жоден з варіантів не має кінця, у певний момент роботи кожен варіант гальмування повертається на певний вищий щабель роботи. Таке рішення алгоритму дозволяє уникнути "глухокутових" ситуацій, чим забезпечується постійна працездатність блока керування штатного режиму роботи, аварійного режиму роботи, режиму руху на малих швидкостях автомобіля, режиму екстреного гальмування. Алгоритм роботи системи побудований так, що спочатку проводиться аналіз ступеня втручання електричної частини в процес гальмування, а потім здійснює вирівнювання гальмівних моментів.

На першому етапі реалізується теоретичне дослідження необхідні для оцінки динамічних характеристики гідросилової системи зниження нерівномірності гальмівних моментів на колесах передньої осі легкового автомобіля й оцінюється робота електронної системи та гальмівного механізму з електромеханічним приводом.

На даному етапі потрібно перевіряти на стендах роботу експериментального гальмівного механізму з електромеханічним приводом і проводити налагодження функціональної діагностики електронного блока керування системи, призначених для подальшої експлуатації.

На другому етапі необхідно виконати дорожні випробування легкового автомобіля з метою дослідження траєкторії руху в гальмівному режимі, оцінити вплив нерівномірності гальмівних моментів на стійкість руху автомобіля під час гальмування колесами передньої й задньої осі, оцінити роботи розробленої автором системи автоматичного зниження нерівномірності гальмівних моментів на колесах передньої осі.

Застосування на легковому автомобілі системи автоматичного зниження нерівномірності гальмових моментів на колесах передньої осі, що складається з електромеханічного привода гальмівних механізмів й електронного блока керування дасть змогу збільшити ефективність роботи та діагностики гальмівної системи.

Нерівномірність гальмівних моментів можливо знизити на 81..85%, при використанні гальмівних систем зі зберігання курсової стійкості. За рахунок швидкодії системи можливо скороти час гальмування й гальмівний шлях автомобіля.

Сформовані етапи дають можливість використання розроблених принципів для діагностики гальмівної системи та зниження нерівномірності гальмівних моментів на передніх колесах легкових автомобілів.

### **Список літератури**

1. 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. Випуск 158. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. Харків. 2015. С.252-262.
2. Гриньків А.В. Використання методів прогнозування в керуванні технічним станом агрегатів та систем транспортних засобів. Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосп. виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. 2016. №29. С. 25-32.
3. Аулін В.В., Гриньків А.В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної



- сільськогосподарської та автотранспортної техніки. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки. 2016. №2 (77). С.36-41.
4. Аулін В.В., Гриньків А.В., Замота Т.М. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі використання методів теорії чутливості. Вісник інж. академії України. 2015. №3. С. 66-72.
  5. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лукашук А.П., Чернай А.Є. Формування діагностичної бази даних трансмісії транспортних машин за критерієм статистичної інформативності. 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. 308-311.
  6. Аулін В.В., Гриньків А.В. Реалізація удосконалення стратегії технічної експлуатації засобів транспорту та її техніко-економічна оцінка. Актуальні задачі сучасних технологій. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, (Тернопіль, 16–17 листопада 2017 р.). Том III. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. С.12-13.
  7. Аулин В.В., Гриньков А.В. Связь информационной энтропии с показателями надежности агрегатов и транспортных средств. Материалы X межд. научно-техн. конф. "Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта, ПГУАС. г. Пенза. 2015. С.39-44.
  8. Аулін В.В., Гриньків А.В., Черновол М.І. Узгодження зміни технічного стану з раціональним вибором об'єкту діагностування. Вісник інж. академії України. 2015. №2. С. 182-188.
  9. Аулін В.В., Гриньків А.В. Проблеми підвищення експлуатаційної надійності та можливості удосконалення стратегій технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 28. Кіровоград: КНТУ, 2015. С 126-131.
  10. Аулин В.В., Гриньков А.В. Использование теоретико-информационного подхода для анализа технического состояния топливной системы автомобиля. "MOTROL" journal according of the Commission of Motorization and Energetic in Agriculture, CULS. 2016. Vol.18. №2. p.63-69.
  11. Аулин В.В., Замота Т.Н., Гриньков А.В., Лысенко С.В., Крупица О.В., Панайотов К.К. Обоснование использования современных подходов для усовершенствования диагностирования систем и агрегатов автомобиля // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2019. Вип. 2(33). С.65-75.
  12. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В. Модель надійності деталей транспортних машин за процесами реалізації триботехнологій їх припрацювання і відновлення // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2019. Вип. 2(33). С.50-64.
  13. Аулін В.В., Деркач О.Д., Лисенко С.В., Гриньків А.В. Вплив фулерено вмісних олив на фізико-механічні властивості поверхні тертя спряжень деталей // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2018. – №4 – С.60-64.
  14. Аулін В.В., Гриньків А.В. Теоретичне обґрунтування моментів контролю технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2017. – №8. – С. 9-20.
  15. Аулін В.В., Гриньків А.В., Бруцький О.П. Прогнозування діагностичних параметрів технічного стану систем і агрегатів транспортних засобів // Вісник інж. академії України. – 2016. – №4. – С. 202-206.
  16. Аулін В.В., Гриньків А.В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки. – 2016. – №2 (77). – С.36-41.
  17. Аулин В.В., Замота Т.Н. Управление процессами приработки основных сопряжений деталей машин при изготовлении и ремонте: монография. – Кировоград: Издатель Лысенко В.Ф., 2015. – 304 с.
  18. Аулін В.В., Лисенко С.В., Панарін Д.Є. Удосконалення процесу технічного обслуговування автомобілів, використанням сучасних електронних методів діагностики // Вісник інж. академії України. – 2013. – №3-4. – С. 151-157.

## **ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СВС-ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ МОДИФІКУЮЧОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ**

А.С. Лузан, асп.,  
С.О. Лузан, д-р техн. наук, проф.,  
Харківський національний технічний університет сільського господарства імені  
Петра Василенка, м.Харків, Україна

Різноманітність реагентів, які використовуються для СВС, призводить до різноманітності механізмів здійснення СВС і необхідності їх класифікації.

По агрегатному стану остиглі продукти СВС завжди є твердими речовинами, а продукти при температурі горіння, реагенти в хвили горіння, вихідні реагенти можуть бути як в твердому, так і рідкому і газоподібному станах.

Залежно від агрегатного стану реагентів в зоні реакції процеси СВС розбиваються на три широких класи: безгазовий СВС, фільтраційний СВС, конденсаційний СВС. Механізм реалізації СВС є різним у різних класах СВС.

В результаті великих значень теплових ефектів розвиваються високі температури. Максимальна температура, що досягається в процесі СВС, називається температурою горіння  $T_r$ . Вона відіграє ключову роль в протіканні процесу СВС, в формуванні кінцевих продуктів горіння. Тому як експериментальному виміру, так і теоретичного розрахунку температури горіння приділяється велика увага. Діапазон температур горіння від 2000 до 3500 К є типовим для СВС-процесів.

Термодинамічні розрахунки призначені, в першу чергу, для розрахунку температури горіння в адіабатичних умовах, коли відсутні тепловтрати і температура горіння  $T_r$  позначається як  $T_{ад}$ , тобто  $T_r = T_{ад}$ . Найпростіші розрахунки ведуть за формулою:

$$T_{ад} = T_0 + cQ, \quad (1)$$

де  $T_0$  – початкова температура вихідної суміші реагентів (шихти),

$Q$  – тепловиділення хімічної реакції,

$c$  – теплоємність продуктів реакції, усереднена по температурному діапазону  $T_0 - T_{ад}$ .

Більш точні і складні розрахунки ведуть при обліку фазових переходів і залежності теплоємності продуктів від температури з ( $T$ ). Основною умовою для визначення  $T_{ад}$  є рівність ентальпій вихідних реагентів при початковій температурі  $T_0$  і кінцевих продуктів при температурі  $T_{ад}$ :

$$\sum \Delta H_R^0(T_0) = \sum \Delta H_P^0(T_{ад}) \quad (2)$$

У найпростішому разі утворення одного продукту з елементів (наприклад,  $TiC$  при взаємодії  $Ti$  з  $C$  в стехіометричній суміші:  $(Ti + C = TiC)$ , коли:  $\sum \Delta H_R^0(T_0) = 0$ ,  $\Delta H_P^0(T_{ад}) = \Delta H_P^0(T_{ад}) + \int_{T_0}^{T_{ад}} c(T)dT$ , вираз для визначення  $T_{ад}$  має вигляд:

$$\int_{T_0}^{T_{ад}} c(T)dT = (\Delta H_P^0 \sum_{i=0}^n L_{\phi,i}) - \mu_{\phi} L_{\phi} \quad (3)$$

де  $\sum \Delta H_P^0(T_0)$  – теплота утворення продукту при  $T_0$ ;

$i = 1, 2, 3...n$  – число фазових переходів в інтервалі  $T_0 < T < T_{ад}$ ;

$L_{\phi,i}$  – теплота фазових переходів в продукті при температурах фазових переходів  $T_{\phi,i} < T_{ад}$ ;

$L_{\phi}$  та  $\mu_{\phi}$  – відповідно, теплота фазового переходу і частка більш

високотемпературної фази (зазвичай рідкої або газової) в продукті горіння при  $T_{\phi} = T_{ад}$ . Якщо  $T_{\phi} > T_{ад}$ , то  $\mu_{\phi} = 0$ ; якщо  $T_{\phi} = T_{ад}$ , то  $0 < \mu_{\phi} < 1$ .

На рисунку 1 зображена діаграма, що ілюструє наведену схему розрахунку  $T_{ад}$  для випадку двох фазових переходів в продукті при  $T_{\phi} < T_{ад}$  та третьому фазовому переході, температура якого  $T_{\phi}$  співпадає з  $T_{ад}$ .

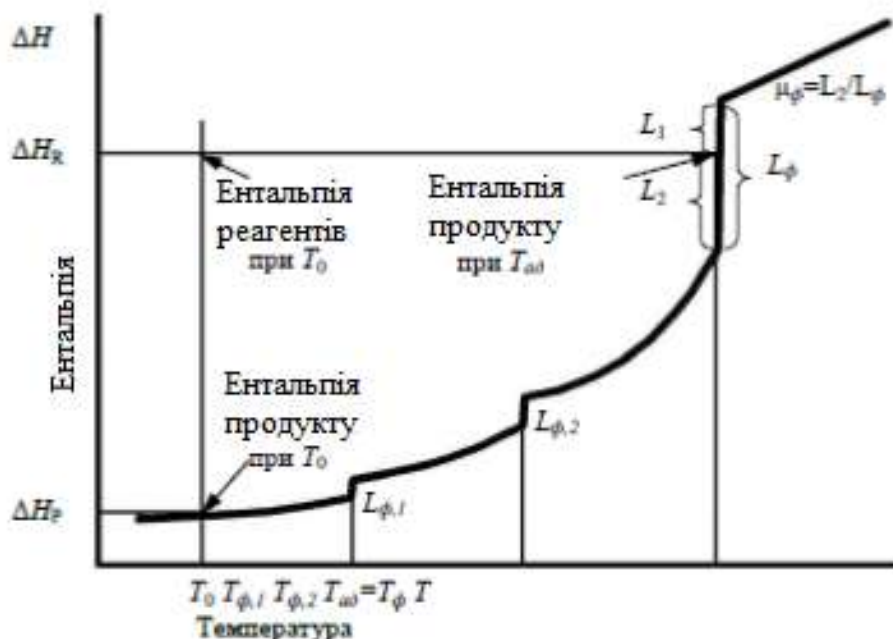


Рисунок 1 – Графічна схема розрахунку  $T_{ад}$

У разі, коли фазовий перехід вище температури горіння ( $T_{\phi} > T_{ад}$ ), то вираз (3) переходить в (1),

$$\text{де } Q = -\Delta H_p^0(T_0) - \sum_{i=0}^n L_{\phi}^{(i)},$$

$$\bar{c} = \frac{1}{T_{ад} - T_0} \int_{T_0}^{T_{ад}} c(T) dT.$$

Частку високотемпературної фази для випадку  $T_{\phi} = T_{ад}$  можна визначити за формулою:

$$\mu_{\phi} = \frac{Q - \bar{c}(T_{\phi} - T_0)}{L_{\phi}} \quad (4)$$

При утворенні не одного, а декількох продуктів в процесі СВС схема розрахунку  $T_{ад}$  залишається такою ж, але дещо ускладнюється.

Таким чином були розраховані адіабатичні температури горіння великого числа СВС-систем. Для ряду систем температури горіння виявилися рівними температурам плавлення  $T_{пл}$  продукту з тією або іншою часткою рідкої фази  $\mu_{ж} > 0$ . Для багатьох же систем температури горіння менші за температури плавлення продукту:  $T_{ад} < T_{пл}$ , тому продукт є твердим:  $\mu_{ж} = 0$ . Ці висновки ілюструються даними таблиці 1 для деяких продуктів СВС-реакцій.

Ідеальний твердофазний СВС добре вивчений теоретично. При розробці теорії використані наступні головні припущення:

- наявність ідеального (повного) контакту між реагентами, при якому швидкість тепловиділення пропорційна питомій поверхні взаємодії реагентів;

- реагенти  $R_1$  та  $R_2$  взаємодіють за механізмом реакційної дифузії, при якій реагенти розділені повільно зростаючим шаром продуктів  $P$ , а швидкість тепловиділення пропорційна швидкості масообміну (дифузії) реагентів через цей шар.

Швидкість дифузії через зростаючий бар'єрний шар продукту зменшується в часі, тобто реакція сама себе гальмує, тому її називають авто гальмуючою реакцією.

Таблиця 1 – Величини  $T_{ад}$ ,  $T_{пл}$ ,  $\mu_{ж}$  для реакцій и продуктів СВС

Бориди								
	$TiB$	$TiB_2$	$ZrB_2$	$HfB_2$	$NbB_2$	$TaB_2$	$MoB$	$WB$
Тад, К	3350	3190	3310	3520	2400	2700	1800	1700
Тпл, К	2500	3190	3310	3520	3270	3370	2820	3070
$\mu_{ж}$	1	0,27	0,2	0,67	0	0	0	0
Карбіди								
	$HfC$	$TiC$	$ThCr$	$ZrC$	$VC$	$NbC$	$SiC$	$B_4C$
Тад, К	3900	3210	2930	3400	2400	2800	1800	1000
Тпл, К	3900	3210	2930	3690	2970	3750	3100	2620
$\mu_{ж}$	0,26	0,33	0,28	0	0	0	0	0
Нітриди								
	$HfN$	$TiN$	$ZrN$	$VN$	$TaN$	$Ta_2N$	$Nb_2N$	$NbN$
Тад, К	5100	4900	4900	3500	3360	3000	2670	3500
Тпл, К	3580	3220	3250	2320	3360	3000	2670	2740
$\mu_{ж}$	1	1	1	1	0,90	0,08	0,61	1

Тепловиділення для гетерогенних і гомогенних систем описується наступною функцією загального вигляду:

$$\dot{q} = Q\rho k_0 e^{-\frac{E}{RT}} \varphi(\eta), \quad (5)$$

де  $\dot{q}$  – швидкість тепловиділення в одиниці об'єму [Вт/м<sup>3</sup>];

$Q$  – тепловий ефект реакції [Дж/кг];

$\rho$  – щільність реакційного середовища [кг/м<sup>3</sup>];

$k_0$  – предекспоненціальний фактор [1/с];

$E$  – енергія активації реакційної дифузії або хімічної реакції [Дж/моль];

$T$  – температура, К;

$\varphi(\eta)$  – кінетична функція;

$\eta$  – глибина перетворення вихідних речовин у кінцеві продукти ( $0 \leq \eta \leq 1$ ):

$$\eta = \frac{c_0 - c}{c_0}, \quad (6)$$

де  $C_0$  – вихідна концентрація реагенту;

$C$  – поточне значення концентрації в ході реакції.

Фронт твердофазного горіння в гетерогенній шаровій системі поширюється уздовж шарів у напрямку осі  $x$  (рис. 2). У міру проходження фронту наростає товщина твердого шару продукту між шарами реагентів.

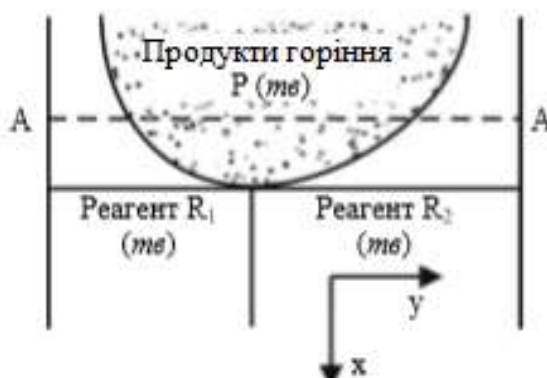


Рисунок 2 – Модель твердофазного горіння

Так як коефіцієнти дифузії в твердій фазі  $D$  завжди набагато менше коефіцієнта температуропроводності  $a$ , тобто  $D \ll a$ , то дифузійні процеси в твердому тілі протікають значно повільніше, ніж процеси теплопровідності. В результаті температура в перерізі, перпендикулярному поверхні контакту шарів, завжди встигає вирівнюватися, так що по осях  $y$  і  $z$  немає розподілу температури, а температура змінюється лише по осі  $x$ , тобто у напрямку розповсюдження горіння. У результаті в даній гетерогенній системі формується хвиля горіння з одновимірним температурним профілем  $T(x)$ , як і в разі гомогенної системи, що розглядається в класичній теорії горіння. Зони прогріву в хвилі горіння в обох випадках є зонами Міхельсона і визначаються однаково. Але зони реакції є принципово різними.

**РАФІНУЮЧО-ЛЕГУВАЛЬНІ ДІЇ НА ПОВЕРХНЕВИЙ ШАР МАТЕРІАЛУ  
ДЕТАЛЕЙ СИСТЕМ І АГРЕГАТІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ  
ЛАЗЕРНОГО ПОТОКУ ЕНЕРГІЇ**

**В.В. Аулін**, *д-р. техн. наук, проф.*,  
**С.В. Лисенко**, *канд. техн. наук, доц.*,  
**І.В. Жилова**, *асп.*,  
**О.В. Вербицький**, *асп.*,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Виявлено, що для усунення підповерхневого перехідного шару матеріалів деталей необхідно рафінувати їх поверхню концентрованим потоком енергії – лазерним потоком. Звичайно з цією метою пропонується проводити попередньо дифузійне насичення матеріалу деталей залізним порошком ПЖ1М3. Проведення тільки лазерної обробки сприяє модифікуванню поверхневих шарів деталей. В них відбувається процес подібний залізненню, тобто поверхневий шар рафінується.

При визначеному рівні концентрації активних атомів легувальних елементів сили взаємодії приводять до перебудови кристалічної ґратки в поверхневих шарах матеріалу деталі, що в свою чергу приводить до інтенсивної адсорбції атомів насичуючого елемента і створенню у поверхневому шарі сильних внутрішніх напружень, під дією яких адсорбовані атоми просуваються вглиб. Внаслідок чого зростає концентрацію дифундуючих атомів в більш глибокому шарі від поверхні і в цій області виникає перебудова кристалічної ґратки за рахунок зміни їх концентрації.

Завдяки великій рухомості та малих розмірів атомних діаметрів, невузлогового розташування в кристалічній ґратці, атоми домішкових елементів і вуглецю просуваються вглиб разом із зоною фазових перетворень. При визначеній концентрації легувальних елементів, створенні умов для виникнення фазових перетворень і за рахунок цієї концентрації, у певних областях перехідний поверхневий шар матеріалу деталі зникає. Таким чином, відбувається рафінування дифузійного шару і формування області, яка є концентратором внутрішніх напружень.

Показано, що підшарова область тим менша, чим чистіше насичуюча основа. Вона менш інтенсивна, лише на армко-Fe, тобто в ньому міститься значно менше залишкових елементів. З'ясовано процес окиснення в матеріалі під час обробки лазерним потоком. Виявлено, що у процесі дифузійного насичення певним хімічним елементом формування структури дифузійного шару знаходяться у прямій залежності від протікаючих фазових перетворень в системі "основа-шар насичуючого хімічного елемента". Окиснення зафіксовано по всьому об'єму або включення окису у вигляді накопичень різної величини безпосередньо в зернах, а не по границях зерен, оскільки там не фіксували явного окиснення.

Детально висвітлено питання щодо формування борованих дифузійних шарів і фазові перетворення в них при модифікуванні лазерною обробкою. Виявлена поява різноманітних боридних фаз, що не описується діаграмою Fe-B. Оцінювали коефіцієнт дифузії методом ізотопного пошарового борування. Виявлено відхилення у дифузійних процесах від рівнянь Фіка. Запропоновано диференційне рівняння з вимушуючою силою. З'ясовано механізм утворення боридних фаз, в тому числі такої поширеної як Fe<sub>3</sub>B.

При лазерній обробці борованого шару спостерігається дифундування атомів В не по границях зерен, а в їх об'ємах. Тобто спостерігається фазовий перехід. З цим пов'язано і окиснення.

## **МОДИФІКУВАННЯ СТРУКТУРИ ЛИТОГО МЕТАЛУ ІНСТРУМЕНТА ІЗ СТРУЖКИ P18**

**С.П. Бережний**, канд. техн. наук, доц.,  
**О.Є. Капустян**, канд. техн. наук, доц.,  
**Р.А. Куликовський**, канд. техн. наук, доц.,  
**Р.Ю. Фетісов**, студ.

*Національний університет "Запорізька політехніка", м. Запоріжжя, Україна*

Відомо, що при виготовленні інструменту з прокату більше 30 % сталі втрачається у виді стружки при механічній обробці [1]. Утилізація відпрацьованого інструмента та кускових відходів традиційно здійснюється методом електрошлакового переплаву (ЕШП) з використанням витратного електроду [2], або дрібнокусові відходи попередньо переплавляють у електрод методом індукційного плавлення. Слід відмітити, що переплав стружки в індукційних печах потребує використання технології з наведенням "болота" та не забезпечує рафінування її від залишків мастильно-охолоджуючих рідин (МОР).

Було запропоновано виготовлення інструменту зі стружки сталі P18 електрошлаковим литтям у кокіль у формі різального інструменту, що виключає операцію кування. Важливою задачею було отримання структури з мінімумом шкідливих неметалевих включень та відсутністю суцільної карбідної та ледебуритної сітки по межах зерен для забезпечення високої міцності швидкорізального інструменту.

При використанні графітового електроду, у результаті нагріву стружки теплом від електроду та випромінюванню шлакової ванни залишки МОР спалахують и вигорають. Встановлено, що у результаті такої технології відбувається збільшення вуглецю у металі за рахунок сажі, що утворюється при вигоранні МОР. Вміст вуглецю у зливках збільшується з 0,8 % до 1,0 – 1,1 %. Розроблена конструкція сталевого кокілю, яка дозволяє отримати зливки близькі до геометричній формі інструменту, що дозволяє відмовитись від операції кування. Але у цьому випадку центральна частина зливка має досить грубу структуру, що негативно впливає на ударну в'язкість виготовленого інструменту.

Досить поширеним методом і технологічні прийоми управління кристалізацією металу при ЕШП, а саме, зменшення розмірів литого зерна є застосування інокуляторів [3]. У даній роботі вирішено застосовувати інокулятори, які повністю розправляються, що дозволяє отримати трохи більш дрібнозернисту і однорідну структуру. При цьому трансформітного характеру структури ЕШ металу залишається незмінним.

В роботі рекомендовано відказатися від перегріву шлакової ванни перед виливання металу у кокіль. Запропоновано, з метою модифікування металу зливка кінці плавки, останню порцію розігрітої стружки у кількості 0,3 – 0,4 кг вводити у шлакову ванну при вимкненому струмі. Після чого виконувати вилівку металу. Проведені металографічні дослідження показали, що така обробка дозволяє отримати більш дисперсну структуру металу, табл. 1.

Таблиця 1 – Відстань між вісями дендритів II порядку у дендритній структурі електрошлакового металу.

Спосіб виплавлення	Відстань між вісями дендритів II порядку, у залежності від віддаленості од краю зливка					
	3 мм	10 мм	15 мм	20 мм	40 мм	центр зливка
Без інокуляторів	0,004	0,007	0,0095	0,0107	0,035	0,025
З інокуляторами	0,00375	0,0064	0,0085	0,008	0,02	0,015

Випробування ріжучих властивостей дослідної партії інструменту проводили при свердлінні отворів діаметром 95 мм на токарному верстаті ДИП-300 у литих зі сталі 09Г2С без видалення усадочної раковини.

Результати випробувань показали, що характер зносу робочої кромки дослідного свердла перового, за умов однакових режимів різання, аналогічний зносу свердла виготовленого з литого металу без введення інокуляторів. Переточування дослідного свердла не вплинуло на його різальну здатність. Кількість поломок інструменту по тілу свердла зменшилося на 30 %, у порівнянні із литим інструментом без модифікування металу зливка.

### **Список літератури:**

1. Палей М.М. Технология производства металлорежущих инструментов. М.: Машиностроение, 1982. 256 с.
2. Сердюков А.В. Электрошлаковый переплав в инструментальном хозяйстве завода. Донецк: Донбасс, 1971. 79 с.
3. Металлургия электрошлакового процесса / Медоваров Б.И., Цыкуленко А.К., Швецов В.Л., и др.; под ред. Патона Б.Е., Медовара Б. И. К.: Наук, думка, 1986. 248 с.



## **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСКАВАТОРНИХ КОВШІВ НАНЕСЕННЯМ АНТИАДГЕЗІЙНИХ ПОКРИТТІВ**

**А.А. Тихий**, канд. техн. наук, доц.,

**О.К. Аржанцев**, студ.

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Процес розробки вологих зв'язних ґрунтів нерозривно пов'язаний з інтенсивним налипанням ґрунту на поверхню робочих органів землерийних машин (РОЗМ) [1]. Зростають енергозатрати через збільшення сил тертя та погіршується якість виконуваних робіт. Втрати від сили тертя при копанні і плануванні досягають 30-70% від загального опору копання, а продуктивність знижується в 1,2-2 рази.

Механічні способи усунення налипання ґрунту на поверхні (РОЗМ), розроблені в різні часи в Україні та за кордоном свідчать, що кожен з них має свої переваги і недоліки. Виявлено, що серед численних спроб знизити тертя в системі "РОЗМ-ґрунт" можна відзначити наступні: змащення водою з зовнішнього джерела; змащення водою, отриманої з ґрунту в результаті електроосмосу; зменшення налипання ґрунту в результаті видалення води електроосмосом; повітряне мастило; застосування вібрації; заміна пасивних робочих поверхонь активними; зміна геометричної форми поверхні робочого органу; застосування різних матеріалів в якості покриттів на робочі поверхні землерийних машин.

За результатами досліджень [2] визначено розподіл налиплої породи в ківші та виявлено зони з найбільшою кількістю налиплого ґрунту. Розроблювані породи були представлені суглинками і глинами з домішкою піщаних вологістю 18-23%, алевролітами з домішкою суглинків вологістю 13-16%. Дослідження показали, що налипання породи на ківш починається після 3-4 циклів. Слід відзначити, що найбільше налипання породи спостерігається в зоні основи зубів, а також передньої стінки ківша і не залежить від його геометричних розмірів.

Питомий опір ґрунтів суттєво залежить від вологості, дисперсності, щільності і хімічного складу. Одним з методів боротьби з адгезією є створення проміжного шару на границі контакту ґрунту і поверхні робочого органу з використанням футерувальних покриттів з полімерних матеріалів.

Досвід експлуатації екскаваторної техніки, пов'язаних з видобутком і переробкою корисних копалин, доводить, що найбільш ефективним засобом боротьби з налипанням і намерзанням вологих мас породи, мінеральної сировини на контактуємі з ними поверхні РОЗМ, є їх захист (футеровка) полімерним покриттям, що володіють гідрофобними, антиадгезійними властивостями [2,3]. Футерувальні покриття виготовляються з композиції (рис.1) на основі високомолекулярного поліетилену та базальтового волокна (ВПБВ).



Рисунок 1 – Матеріал ВПБВ для покриття РОЗМ

Зазначимо, що при використанні ВПБВ процес тертя протікає на поверхні волокон, локалізованих по шляху тертя, а тому в результаті посилення адгезійної взаємодії між матеріалом базальтового волокна і полімером практично не зареєстровано частинок зносу (рис. 2).



Рисунок 2 - Адгезійні випробування покриття ВПБВ нанесених на поверхню зразку

Зазначені результати досліджень взаємодії різних полімерних матеріалів з ґрунтом при покритті ними РОЗМ, показали високу ефективність їх застосування для усунення налипання і зниження коефіцієнта тертя.

З наведених результатів досліджень випливає, що істотно зменшується інтенсивність процесу налипання розроблюваної породи на поверхні РОЗМ з покриттям ВПБВ при підвищеній вологості.

### Список літератури

1. Aulin V., Lyashuk O., Tykhyi A., Karpushyn S., Denysiuk N. Influence of rheological properties of a soil layer adjacent to the working body cutting element on the mechanism of soil cultivation *Acta Technologica Agriculturae 4 Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae*. 2018. pp. 153-159. <https://doi.org/10.2478/ata-2018-0028>
2. Аулін В.В., Тихий А.А. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами: монографія, Кропивницький: Вид. Лисенко В.Ф. 2017. 279 с.
3. Аулін В.В., Тихий А.А., Карпушин С.О. Самозагострювання різальних елементів ґрунтообробних і землерийних машин в умовах зміцнення їх робочих поверхонь. *Сб. науч. трудов "Вестник Харьковского нац. автомобильно-дорожного университета"*. Харьков: ХНАДУ. 2012. вып. 57. С. 188-194.

## ***APPLICATION OF POLYMER COMPOSITES IN THE CONSTRUCTION OF AGRICULTURAL MACHINES FOR SOIL TREATMENT***

**O.D. Derkach**, *Associate Professor,*  
**D.O. Makarenko**, *Associate Professor,*  
**Krutous D.I.**, *Post graduate student*  
**V.S. Kachanov**, *Masters,*  
*Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine*  
**B. Piskin**, *Yrd. Doc. Dr.*  
*Harran University, Harran, Turkey*

**Introduction.** Ukraine is one of the largest agrarian countries. The area of arable land in Ukraine was more, than 32531 thousand hectares. The largest latifundists, which occupied about 15% of arable land, were such agroholdings as Ukrlandfarming (630000 hectares), NCH (430000 hectares), KernelGroup (700000 hectares) and others [1]. Small farms occupied 12, and about 73% - other agro-enterprises of different sizes and forms of ownership. At the same time about half of the crop of early grain and leguminous crops for export. These crops were grown for intensive, industrial technologies using modern methods of seed preparation, chemical protection and plant care, and others. Most of these enterprises are used in the cultivator processing system for presowing continuous tillage.

We have investigated that it is possible to increase the rate of work on surface tillage (cultivation) by using new materials that have high tribological properties and do not require maintenance (lubrication). Such materials include polymeric composites.

Technological progress was based exclusively on the use of natural materials - wood, stone, metals, by the beginning of the twentieth century.

The human used natural polymers for many years: cellulose, rubber, leather. Synthetic polymers were first obtained in the first half of the twentieth century, this is the beginning of the century of synthetic polymer materials.

Now a special place in the modernization of machines belongs to plastics, increasing their reliability, reducing metal consumption. The unique properties of plastics improve designs, improve their quality, reduce cost, increase labor productivity [2, 3].

Plastics used in engineering are divided into five groups: decorative, structural, antifriction, anticorrosive, electrical insulating.

To improve the technical level of machines and agricultural machinery use structural and antifriction plastics. For this purpose: polyamides, polyethylene with various dispersed and fibrous fillers are often used [5, 6].

Today, the use of complex plastics with different modifiers and fillers form a new group of high-tech materials - polymer composite materials. Application of polymeric composite materials in engineering and agriculture occupies an important place. This also applies to soil-cultivating machinery, which is improved for agronomic requirements [4, 8].

Machines for surface tillage combine the methods of processing with different tools to a depth of up to 16 cm. These are lushchilniki, skating rinks, harrows and cultivators. Cultivators are equipped with a parallelogram mechanism to ensure the most qualitative preparation of the soil, the main task of the mechanism is to copy the soil surface and ensure a stable seedbed.

Parallelogram mechanism of cultivators (Fig.1) is a multi-hinged system for fastening the four-link mechanism, the links constitute a parallelogram. Such a system ensures high-quality copying of the field relief and a constant angle of the working element with respect to the field. During the operation of the parallelogram mechanism of cultivators КПС-4,0, КРН-5,6, КПС-8 Voskhod and others, faults were detected, such as intensive and premature wear of the axis of the

links of the mechanism. This leads to a violation of the technological process of cultivation and non-compliance with agrotechnical requirements. The manufacturing plants introduced system lubrication of hinges with plastic materials. The frequency is 48 ... 100 hours. But, for wide-spread cultivators, the maintenance of mechanisms leads to significant overstrain of the aggregates, which leads to a violation of the agrotechnical terms of cultivation.

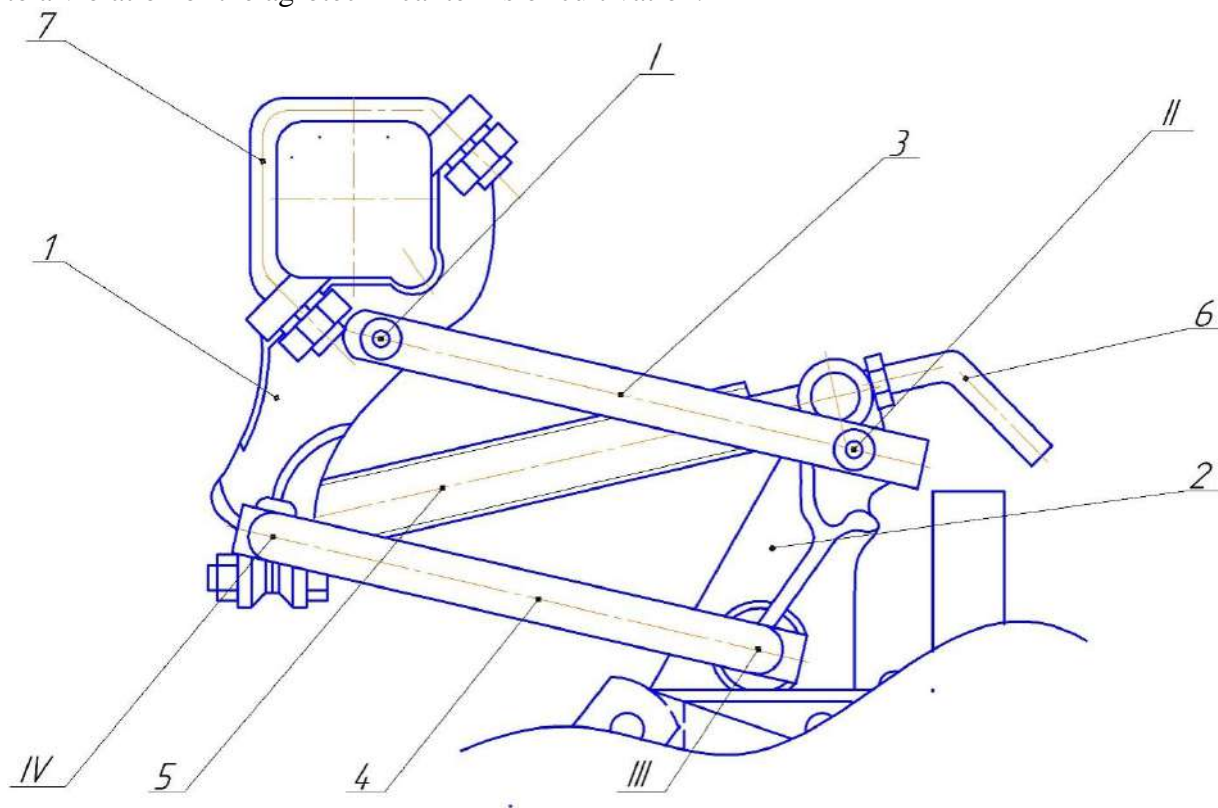


Fig. 1 - Parallelogram mechanism: 1 - the front bracket, 2 - the rear bracket, 3 - the upper link of the mechanism, 4 - the lower link of the mechanism, 5 - the spring, 6 - the adjusting screw, 7 - the bracket clamp, I, II, III, IV, - places of wear.

Positions I, II, III, IV are the axes that are most worn out during the movement of the links of the parallelogram mechanism. We suggest placing them in bushings made of polymer composite materials that will have good physicomechanical and tribological properties.

Scientists Kozachenko O. V., Shkregal O. M., Svirin O. M., Babitsky L. F., Kuvshinov A. A., Tarasenko V. I., Mancinskiy Y. O. were engaged in the improvement of cultivator designs and their working organs. They investigated the stability of rectilinear motion, the oscillatory device of the cultivator paws, and improved the design of the working organs. However, these works were not aimed at the introduction of polymer composite materials in their design.

Based on the conducted studies, we can conclude that a promising direction in improving the design of the parallelogram mechanism is the introduction into the design of parts made of polymer composite materials.

In [10, p. 45] describes the use of polymeric composite materials based on aliphatic polyamide CCPA-6-40 in this mechanism, but its increased hygroscopicity led to wedging of the hinges of the mechanism after seasonal storage. Also, sometimes materials that have a complex, low-productivity and energy-intensive processing technology [11] have been proposed for use in similar mechanisms.

Previously, we found that polymer composite materials based on aliphatic polyamides provide a stable process of friction and wear in similar mechanisms [7].

The introduction of polymer-composite materials in the construction of mobile compounds of agricultural machines requires careful experimental studies of the characteristics and properties of polymer-composite materials, structural designation, especially tribotechnical, resource, operational, etc.

**Materials and Methods.** The manufactured samples for the research of relative abrasive stability were linear dimensions  $53 \times 29 \times 7$  mm, which comply with GOST 23.208-79.

The research of samples on the relative abrasive resistance was carried out on a specially laboratory equipment installed on the basis of the friction machine CMI-2.

The essence of the method was that under the same conditions, forced wear of the studied and reference samples was carried out. Wear was carried out using an abrasive non-rigidly fixed material (electric iron No. 16-N, GOST 3643-71), which was fed to the friction zone and pressed to the specimen with a rotating rubber roll.

Before the test, the abrasive was dried to a relative humidity of no more than 0.16%. The spinning of the roller was carried out by friction method on the surface of a grinding paper type 2 (GOST 6456-75) with grainy number 8P (GOST 3647-71), fixed in a sample holder on a flat steel plate. After spin, the roll was washed in gasoline.

Tribotechnical characteristics of parts of mobile joints with PCM when not rubbed greased were determined on a friction and wear machine CMI-2.

Indicators of the potentiometer KCII-2 were fixed on a special chart paper GOST 7826-75. The tests were performed according to the "disk-block" scheme. The radius of the sample was  $R = 0.025$  m.

Before the beginning of each test, the samples were cleaned. This was done so that the friction surfaces of the samples had a parallel shape and the contact area was at least 85%.

The temperature in the friction zone was measured using the chromed-alumel electronic thermocouple "Termometer 301 Type K". The hole for measuring the temperature is carried out at a depth equal to half the diameter of the sample, and at a distance of 1 mm from the surface of the friction.

The contact area of the tribo-connection "disk-block" was 2 cm<sup>2</sup>. Study mode:  $p = 0.5$  MPa,  $v = 0.785$  m/s. The process of rubbing occurred in the following modes: maximum specific pressure  $p = 0,25$  MPa, slip velocity  $v = 0,785$  m / s. It the curing process was completed when reaching the contact area of the pad with a conjugate sample of 85% of the projection area.

The number of repetitions of all experiments is 3.

#### **Thermal treatment method for protection against environmental impact.**

In order to solve the problem of protection of PCM from the negative influence of the external environment, it is proposed to heat the finished parts processing with PCM in the following lubricants: MS-20, PMS-400, and I-40.

Thermal treatment of composite materials:

- temperature - 393 K;
- heating and cooling mode -  $1 \text{ }^\circ\text{C} / \text{min}$  .;
- exposure time - 120 min.

**Results and Discussion.** Six types of high-molecular compounds were used to study materials of parts made of polymer-composite materials: № 1 – Nylon 66; № 2 – PA-6-210X; №3 – PA6 / 6.6 R196-GF30; № 4 – KocetalGF705; № 5 – KocetalK300 and № 6 – CCPA-6-30. The research carried out on the relative abrasive stability of polymer composite materials, which showed (Fig.4), that sample № 1 (Nylon 66) has the highest relative abrasive resistance and substantially differs positively from other materials. The visual ranking of samples according to the criterion of relative abrasive stability showed, that the Kocetal GF705 material (5times lower than standard) has the lowest abrasive durability.

Table 1 – Properties of polymeric-composite

Properties/Sample	№1	№2	№3	№4	№5	№6
Relative abrasive stability	1	0.607	0.511	0.233	0.353	0.436
The value of weight deterioration with friction without lubricating, g	0.00908	0.00667	0.00506	0.015	0.00846	0.00083
Friction of coefficient	0.49	0.22	0.34	0.33	0.21	0.16
Temperature on the friction surface, °C	119	87	97	95	80	68

The general view of the experimental parts made of polymeric-composite material CCPA-6-30 is shown in Fig. 1



Fig. 1 - General view of experimental details: *a* - details of the upper lever; *b* - details of the lower lever.

We have developed methods for heat treatment in oils [23], which make it impossible to hygroscopic PKM based on aliphatic polyamides in volumes that led to a change in geometric dimensions or changes in properties.

Table 2 – Influence of heat treatment in oil on the strength of polymeric composite materials of grade CCPA-6-30.

Parameter	Control	After processing	Deviation,%
Strength of compression strength $\sigma$ , MPa	134,7	133,1	- 1,18
Modulus of elasticity E, MPa	1883,1	1743,9	- 7,39

The results of the research have shown that the Nylon 66 PCM, which provides relative abrasive stability, is 39% higher than the PA-6-210X composite and 77% higher than Kocetal GF705.

It is not recommended to use as abrasive resistant materials Kocetal GF705 and Kocetal K300.

On the basis of the obtained data it can be assumed that the materials of the specimens for №№2, 5, 6 are antifriction because they have a coefficient of friction  $f < 0.3$ , and the materials of the specimens for №№1, 3, 4 are frictional materials with moderate high coefficient of friction, therefore their use in movable connection of cultivators is inappropriate.

The research of the dependence of friction coefficient  $f$  on the duration of the experiment showed that the stabilization  $f$  for all samples comes after 3 ... 22 min. from the beginning of the test. For samples №2 - 6, during 120 minutes,  $f$  did not increase, or its deviations were within the measurement error. Only when tested with a Nylon 66 PCM sample this indicator slightly increased steadily. The growth rate of this parameter was  $0.01 \text{ (h)}^{-1}$ .

In order to ensure the stable operation of mobile machines and mechanisms operating under conditions of friction without lubrication and a small amount of abrasive, it is recommended to use a polymer composite - UPA-6-30, which at a specific pressure  $p = 0.5 \text{ MPa}$  and slip velocity  $v = 0,785 \text{ m/s}$  provides a minimum friction coefficient ( $f = 0,16$ ), temperature in the friction zone ( $T = 313 \text{ K}$ ); their own wear, which is an order of magnitude smaller than the other samples being studied. This composite has stable performance over long periods of operation.

In general, the proposed method of heat treatment [23] reduced the hygroscopicity of this polymer composite material, and the amount of moisture accumulated during the storage of equipment decreased from 0.70% to 0.35.

This technology is realized in Development Enterprise "Soyuz-Composite" [12] and recognized as cost-effective.

This material may be use in construction tillage machines, designed Harran University (Turkey).





Fig.3. Agricultural machine for tillage, designed Harran University (Turkey).

**Conclusion.** The use of polymer composite materials in hinged joints of parallelogram and other mechanisms of soil tillage machines will improve the quality of the implementation of agrotechnical requirements, eliminate the cost of idle time during the maintenance of mechanisms, reduce the cost of operation and maintenance of modernized cultivators.

#### References:

1. Statistichniy schorIchnik UkraYini za 2014 rIk. Derzhavniy komItet statistiki UkraYini. – K.: /"Konsultant"/, 2015. – 534 s. (Ukr).
2. Derkach O.D. Viktoristannya shirokozahvatnoyi tehniki v umovah prirodnogo zemlerobstva / O.D. Derkach, D.O. Makarenko // Prirodne agrovirobnitstvo v UkraYinI: problemi stanovlennya, perspektivi rozvitku: MIzhnar. nauk.-prakt. konf. – DnIpropetrovsk: DDAEU, 2015. – S. 52-54. (Ukr).
3. Derkach A., Makarenko D., Naumenko N. Primenenie ugleplastikov v shirokozahvatnykh posevnykh mashinakh. Mechanization in agriculture / International scientific, scientific applied and informational journal. YearLXI, 2/2015, Sofia, c. 3-6. (Rus).
4. Burya A. Modernizatsiya pantographnogo mekhanizmu kultivatora KP-6 "Maksym". The international scientific and practical conference "Complex zabezpechennya jakcosti tehnologichnykh protsessiv ta sistem". - 2015. - P. 45-46. (Ukr).
5. Gatskov V. S. Progressivnyie tehnologii izgotovleniya detaley iz antifriktsionnyih materialov: Uchebnoe posobie. – M.: NIYaU MIFI, 2011. – 152 s. (Rus).
6. Kashitskiy V. P. NaukovI pIdhodi do stvorennya samozmaschuvalnih epoksikompo-zitnih tribomaterIalIv / V. P. Kashitskiy, P. P. Savchuk // NaukovI notatki. – 2015. – Vip. 50. – S. 76-80. (Ukr).
7. Derkach O.D., Burya O.I. Pidvischennya tehnIchnogo rIvnnya elektro-, avtomobilnogo tran-sportu ta sllskogospodarskoYi tehnIki za rahunok vikoristannya novih materIalIv. NaukovI rekomendatsIYi: DnIpropetrovsk: DDAU. – 2011. – 71 s.(Ukr).
8. MurgasM. Wear resistant materials for agricultural machinery // Mech. Zemed. – 1990. Vol. 40, №10. – P. 451-453.
9. Carbon fibre hoops hesten repair of fertilizer tower// Atv. Compos. Bull.-2002. Apr. –P. 4–5.
10. Kobets A., Derkach A., Makarenko D., Shapoval A., Kabat O. Decreasing the environment influence on composite materials / НаучниИзвестия. Scientific Technical Union of Mechanical Engineering, Year XXIV, ISSUE 16 (202), June 2016. IV International Scientific and technical Congress "Agricultural Machinery", 22-25.06.2016, Varna, Bulgaria, c.13-15.
11. Derkach O., Artemchuk V., Muranov Ye. Do pytannia tehnologichnosti otrymannya detaley z polymernykh compozytiv dlya posivnoi tehniki. . Visnik HNTUSG im. Petra Vasilenka, - 2017. № 181, p. 157-167. (Ukr).
12. <http://soyuz-composite.com.ua>

## **ВПРОВАДЖЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ (VERTICAL TILLAGE)**

**В.М. Савченко**, канд. техн. наук, доц.,  
**В.О. Якубівський**, студ.,

*Поліський національний університет, м. Житомир, Україна*

Останнім часом набуває широкого розповсюдження вертикальний обробіток ґрунту (vertical tillage – VT). VT відноситься до категорії консерваційного обробітку ґрунту, оскільки він зберігає рослинні залишки на поверхні ґрунту для захисту ґрунту, зменшуючи при цьому порушення ґрунту під час його обробітку. У порівнянні з іншими методами обробітку ґрунту, VT застосовується при роботі на полях важкими рослинними рештками, наприклад кукурудзяними залишками. Ще одна особливість полягає в тому, що машини VT працюють із значно більшою швидкістю. Концепція VT полягає у використанні вертикальних інструментів, що заглиблюються в ґрунт (головним чином обертових інструментів, таких як сошники та диски) для подрібнення залишків на короткі сегменти, щоб унеможливити забивання посівних секцій. Сучасні машини також змішують частину рослинних залишків із ґрунтом у верхньому шарі, щоб прискорити процес аеробного розкладання залишків у ґрунті. Більша частина рослинних залишків зберігається на ґрунтовій поверхні для захисту ґрунту від ерозії. VT – це досить нова і складна система обробітку ґрунту.

VT як неглибокий обробіток ґрунту без горизонтального порушення пласту описав в своїй роботі Pearce R. [1]. Chen Y. та інші [2] визначили VT як взаємодію між ґрунтом та інструментом, що відбувається у вертикальній площині перпендикулярно поверхні ґрунту.

Для визначення ефективності VT було проведено ряд досліджень. Більшість із них шукали переваги VT в порівнянні із звичайним обробітком ґрунту та No-tillage. Порівняно з No-tillage, при застосуванні VT, спостерігається більша швидкість проростання насіння та потенційно позитивні ефекти зменшення патогенів у залишках [3]. VT був ефективним методом збереження поживних речовин порівняно з No-tillage, однак з верхнього шару значно втрачено фосфор через вимивання, спричиненого застосуванням VT в умовах сильного дощу [4]. Врожайність сільськогосподарських культур є критичним фактором сільського господарства, який безпосередньо пов'язаний із зацікавленням фермерів та світовим постачанням продовольства. У літературі VT показав неоднозначні результати, щодо впливу на урожайність. Був проведений експеримент для порівняння декількох систем обробітку ґрунту на кукурудзяному полі. Результати показали, що VT мав найвищий урожай порівняно зі звичайним обробітком ґрунту (горизонтальний обробіток ґрунту) та No-tillage [5]. Інший експеримент показав, що VT не призвів до зростання врожаю кукурудзи у дворічному дослідженні, але існували й інші потенційні переваги при продовженні цієї системи [3]. При виробництві сої застосування VT призводить підвищення врожайності сільськогосподарських культур, порівняно з No-tillage [6].

Підсумовуючи аналітичний огляд можна прийти до висновку, що впровадження VT має ряд переваг над іншими методами обробітку в умовах посушливого клімату.

### **Список літератури**

1. Pearce, R., 2014. The evolution of vertical tillage. Country Guide. <http://www.country-guide.ca/2014/07/28/the-evolution-of-vertical-tillage/44370/>.
2. Chen, Y., Damphousse, S., Li, H., 2016. Vertical tillage and vertical seeding. Paper No. CSBE16-090. In: CSBE/SCGAB 2016 Annual Conference. Halifax, NS, Canada. July 3–6.
3. Whitehair, A., 2014. Vertical Tillage Effects on Yield, Disease and Pathogens, and Soil Properties. M.Sc. Thesis, Kansas State University, Manhattan, Kansas, USA.



4. Smith, D.R., Warnemuende-Pappas, E.A., 2015. Vertical tillage impacts on water quality derived from rainfall simulations. *Soil and Tillage Research* 153, 155–160.
5. Schuler, R.T., 2007. Residue Management – Horizontal vs. Vertical Tillage. *Proceedings of the 2007 Wisconsin Fertilizer, Agrilime & Pest Management Conference* 46,179-181. Madison, WI.
6. Watters, H. D., State, O., Specialist, F., Systems, A., 2013. Soybean Seeding Rates by Tillage - No-Till vs. Vertical Till. *Ohio State University Extension*, 25–28.

## **РОЗВИТОК ЗАСОБІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОРІЄНТАЦІЇ ПРОСАПНИХ ЗНАРЯДЬ ВЗДОВЖ РЯДКІВ ПРИ ВИРОЩУВАННІ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

**О.Ю. Боровик**, студ.,

**І.В. Біловод**, студ.,

**В.І. Ветохін**, д-р. техн. наук, проф.,

*Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

**В.В. Амосов**, канд. техн. наук, доц.,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

**Актуальність теми дослідження.** Отримання стабільних планованих врожаїв сільгоспкультур – важлива задача. Цукрові буряки відносяться до культури з підвищеною чутливістю до конкуренції з боку бур'янів. Недобір врожаю внаслідок забур'яненості посівів може становити 30-50%. Догляд за посівами цукрових буряків, з метою боротьби з бур'янами, включає багаторазове механічне розпушення ґрунту та обприскування хімічними засобами. При цьому важливо запобігти пошкодження культурних рослин робочими органами культиватора та економне внесення засобів захисту рослин. Для цього необхідна досить точна орієнтація агрегату відносно рядків, що досягається різними засобами.

Тому вивчення та вдосконалення технічних засобів для забезпечення орієнтації (водіння) просапного агрегату вздовж рядків при вирощуванні цукрових буряків актуальна та важлива задача.

**Виклад матеріалу дослідження.** Докладний опис конструкцій та рекомендацій щодо використання різноманітних культиваторів та просапних знарядь на початку минулого сторіччя здійснено в роботах Костянтина Іполитовича Дебу (1867-1942) [1, 2].

Керування положенням відносно рядка рослин "полольника Ельворти" (рис. 1, а) здійснювалось вручну за допомогою двох рукояток [1, с.43]. На відміну від цього, напрямок руху "распашника" Гринаковського (рис. 1, б) змінювався за допомогою двоколісного передка, який керувалися довгим важелем. Особливо відмічалось, що "... в Київській губернії имеет известное распространение распашник-окучник Ф. Гринаковскаго, на три ряда" [1, с.42].

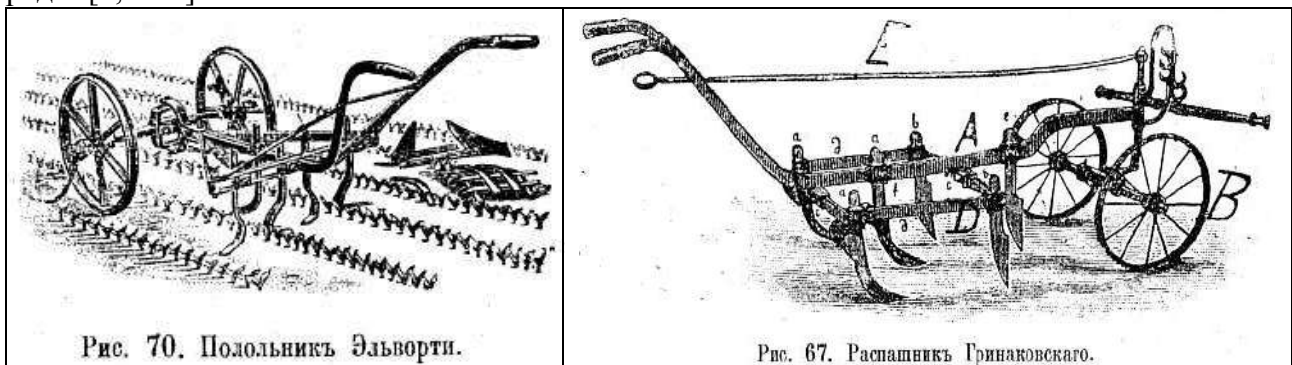


Рис. 70. Полольникъ Эльворти.

Рис. 67. Распашникъ Гринаковскаго.

а

б

Рисунок 1 - Вигляд ґрунтообробних знарядь наприкінці 19-го сторіччя [1]

Наприкінці дев'ятнадцятого та початку двадцятого сторіччя значну популярність мало знаряддя "Планет" американського заводу Аллена, одна з модифікацій котрого мала назву "свекловичный полольник Планет" [1, с.45].

Розвиток принципу керування напрямом рух знаряддя за допомогою двоколісного передка представлено у конструкції знаряддя "полольник завода в Эрцгебирге" [1, с. 51].

Принципова схема знаряддя використовувалася в тридцяті-сорокові роки минулого сторіччя в культиваторах на тракторній тязі марок "Українка", УКС-1кт, ВІМ №1 та багатьох інших.

Візуальне відстеження руху робочих органів відносно рядків, та керуванням знаряддям за допомогою фізичної сили робітника, накладало негативне обмеження на швидкість руху вздовж поля та на розмір захисної зони рядка.

Пошук шляхів збільшення робочої швидкості призвів до появи низки технічних рішень, за якими робітник-оператор розміщувався максимально наближено до робочої зони культиватора. Фізичне навантаження полегшувалось за рахунок різноманітних механічних підсилювачів. Так, наприклад, згідно американського патенту Tractor attachment (1922), робітник розміщався на додатковому сидінні на тракторі безпосередньо над культиватором [3]. Робітник керував передніми колесами трактора за допомогою штурвала, а культиватор навішувався між осями трактора.

Аналогічне рішення запропоновано в американському патенті Steered tractor mounted cultivator (1945) [4]. Сидіння для робітника-оператора розміщено на тракторі безпосередньо над культиватором. Культиватор, що навішено позаду трактора, керується за допомогою довгого важеля.

Подальший розвиток механічних способів орієнтації культиваторів пов'язано з початком у 1960-х роках серійного виробництва тракторів з передньою навісною системою [5].

Пошук засобів орієнтації, заснованих на різноманітних фізичних принципах – водіння вздовж струмонесучих проводів, використання фотооптичних пристроїв, керування за променем лазера та таке інше, активно відбувався у 1970-1980 роки [6].

Використання напрямних щілин в ґрунті, що нарізають при посіві для стабілізації руху культиватора запропоновано у 1960-70-их роках рядом європейських і американських фірм. Фірма Ventzki Eislingen GmbH запатентувала такий пристрій з використанням робочого органу типу "кротовач". Стяжки навісної системи трактора послаблюються і культиватор рухається уздовж рядків, копіюючи траєкторію напрямних щілин, що збігається з кривизною рядків. Спосіб виявився досить надійним і не вимагав складних дорогих гідро- та електропристроїв. За рахунок підвищення точності копіювання рядків робочими органами, вдалося знизити розмір захисної зони, збільшивши тим самим оброблювану площу міжрядь.

Аналогічне знаряддя Apparatus for guiding row crop processing implements розроблено та запатентовано в США [7].

Культиватор оснащується тими самими ножами, які встановлювалися на сівалку для утворення щілин. Ножі виконані у формі плаского леза з вертикальною загостреною крайкою.

За французьким патентом "Procédé et dispositif pour le guidage automatique d'un véhicule agricole motorisé" (1979) запропонована система автоматичного ведення, призначена для сільськогосподарського трактора [8]. Система має датчик, який слідкує за направляючим каналом, виробленим в попередньому проході. Для керування трактором під час першої операції використовується канал, який знаходиться близько до поверхні і проходить з кожного боку коліс транспортного засобу. У той же час, коли цей канал створюється або визначається, додаткова доріжка проходить поблизу поздовжньої осі транспортного засобу. Цей трек використовується, щоб вести трактор для всіх інших операцій. Трек значно глибше, ніж канал.

Підсилювачі зусилля керування положенням культиватора запропоновано у патенті "Machine agricole pour former des sillons dans les cultures en lignes, accouplable a un tracteur" (1976) [9].

На вітчизняному просторі технології догляду за посівами з використанням напрямних щілин у ґрунті почали розвиток на початку 1980-их років минулого сторіччя з розробкою індустриальної технологія виробництва томатів та інших просапних культур, що отримала

назву "астраханська" [10, 11]. Відмінність технологічних операцій полягала в утворенні у ґрунті перед сівбою овочевих культур, за допомогою спеціальних щілинорізів-спрямовувачів, щілини на глибину 30-35 см.

Колектив вчених та конструкторів Науково-дослідного інституту цукрових буряків (ВНІС, м. Київ) наприкінці вісімдесятих років розробив технологію та комплекс знарядь для вирощування цукрового буряка з використанням напрямних щілин в ґрунті, що нарізають при посіві. Щілини служать для орієнтації робочих органів культиватора щодо рядків буряків, що дає можливість збільшити кількість підрізання бур'янів за рахунок зменшення захисної зони рядків і підвищити робочу швидкість агрегату [12-14].

Розвиток систем розпізнавання образів, математичного та комп'ютерного забезпечення, дозволив серійно впровадити технічні засоби безконтактного відстеження рядків рослин та керування положенням виконавчих органів культиваторів.

Так, фірма Einbock GmbH&Co використовує на просапних культиваторах систему рульового управління за допомогою камери "Camera steering system ROW-GUARD" (рис. 2) [15]. Основні налаштування здійснюється з кабіни трактора за допомогою блоку управління з сенсорним екраном та інтегрованим відео монітором. Зображення камери (рис. 2, а) аналізується, оброблена інформація подається на виконавчий механізм, який робить центрування просапного культиватора відносно рядків рослин. Виконавчий механізм носить назву "Рама бокового зміщення", та забезпечує загальне зміщенням 500 мм (рис. 2, б).



Рисунок 2 – Основні елементи Camera steering system ROW-GUARD [15, 16] : а – відеокамера з двома об'єктивами високої чіткості з різною експозицією для поліпшення роботи при зміні умов світла; б - система зміщення культиватора відносно рядка рослин

**Висновки.** Засоби та принципи для орієнтації просапного знаряддя відносно рядка культурних рослин пройшли розвиток від візуального контролю та ручного керування положенням культиватора безпосередньо фізичною силою, візуального контролю та керування за допомогою різноманітних підсилювачів, контактного відстеження відхилень рядка та керування положенням культиватора напрямними у ґрунті, до безконтактного відстеження положення рослин у рядку із автоматичним керуванням положенням культиватора електрогидравлічним приводом.

У наступному технічному розвитку можливо поєднання засобів контактного відстеження положення рядка за напрямними щілинами у ґрунті та керування положенням культиватора електрогидравлічним приводом на новій елементній базі. Щілини у ґрунті можуть додатково забезпечувати функцію утримання та накопичення вологи.

## Список літератури

1. Дебу К.И. Мотыги, пропашники и полольники / Сост. специалист по с.-х. машиностроению К.И. Дебу. - Санкт-Петербург : П.П. Сойкин, 1912. – 56с.
2. Дебу К.И. Культиваторы: Орудия "псевдопахания": грубберы, пружинные культиваторы, скарификаторы, экстирпаторы, пароочистители, дисковые бороны, почвоуглубители, вийдеры, катки, уплотнители Кемпбелла, французские бороны, катки, бороны Акмэ / К.И. Дебу. - Петроград: Мысль, 1922. - 280 с.
3. Tractor attachment: патент US1472888A, МПК Ф 01 В39/06 / С.В. Rose. – №535123; -Заявл. 09.02.1922; Оpubл. 06.11.1923.
4. Steered tractor mounted cultivator: патент US2604835A, МПК А01 В 35/14 / W.J. Sands, A. Greer // Harry Ferguson Inc. - Приоритет 24.03.1944. – №585264; - Заявл. 28.03.1945; Оpubл. 29.06.1952.
5. Соловей, Е.В. Эффективность применения передней навески машин для междурядной обработки пропашных культур / Е.В. Соловей // Сб. научн. тр. Т.99. – М., ВИМ, 1983. - С.100-109.
6. Гельфенбейн С.П. Электроника и автоматика в мобильных сельхозмашинах / С.П. Гельфенбейн, В.Л. Волчанов. - М. : Агропромиздат, 1986. - 263 с.
7. Apparatus for guiding row crop processing implements: патент US4117889A, МПК А 01 В 69/00 / John C. Larson, Clements Minn. – №761373; Заявл. 21.01.1977, - Оpubл. 03.10.1978.
8. Procédé et dispositif pour le guidage automatique d'un véhicule agricole motorisé: патент FR2423961, МПК А 01 В 69/00 / Fendt & Co Xaver, Приоритет DE19782818640, 27.04.1978 – FR7905653A; Заявл. 05.03.1979; Оpubл. 23.11.1979.
9. Machine agricole pour former des sillons dans les cultures en lignes, accouplable a un tracteur: патент FR2351569, МПК А 01 В 69/02 / L. Hermann. - FR7716046A; Заявл. 17.05.1977; - Оpubл.16.12.1977.
10. Астраханская индустриальная технология производства томатов: (Рекомендации) — Минсельхоз РСФСР, 1983. - 60 с.
11. Бейсеев Х.С. Поделка и копирование направляющих борозд для культивации сахарной свёклы с малыми защитными зонами: дис. ... к.т.н.: 05.20.01 - Алма-Ата, 1984. 137 с.
12. Применение направляющих щелей при возделывании сахарной свеклы для управления культиватором: Методические рекомендации / В.С. Глуховский, В.Н. Данченко, В.И. Ветохин, К.Н. Якименко и др. // НПО "Сахарная свекла"; Черниговский обл. Агропромышленный комитет. - Чернигов: Десна, 1987. – 19 с.
13. Рабочий орган для нарезки щелей в почве: SU1396975, МКИ А 01В13/16 / В.С. Глуховский, В.И. Ветохин, В.Н. Данченко, Ю.С. Мухин, К.К. Бернасовский, Г.В. Чернявский. - №4054661/30-15; Заявл. 15.04.86; Оpubл. 23.05.88, Бюл. №19.
14. Якименко К.Н. Совершенствование способа и рабочих органов для коррекции направления движения пропашных агрегатов вдоль рядков сахарной свеклы на уходе за посевами: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / К.Н. Якименко. – К.: ВНИС, 1990. - 191 с.
15. Chopstar, Rollstar, Hillstar, Row-Guard, Jumbo: Universal Row Crop Cultivation Technology [Электронный ресурс] / Проспект фірми Einbock GmbH & CoKG. - Режим доступу: [https://www.einboeck.at/uploads/downloads/190123-CHOPSTAR-RU\\_04.pdf](https://www.einboeck.at/uploads/downloads/190123-CHOPSTAR-RU_04.pdf)
16. Camera steering system ROW-GUARD [Электронный ресурс] / Сторінка інтернет-сайту фірми Einbock GmbH & CoKG. - Режим доступу: <https://www.einboeck.at/en/products/crop-care/camera-steering-system/row-guard>

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗАСТОСУВАННЯМ ГІБРИДНОГО ІНСТРУМЕНТУ**

**О.Ф. Саленко**, *д-р техн. наук, проф.*,

*Національний технічний університет України ім. І.І. Сікорського, м. Київ, Україна*

**І.В. Шепеленко**, *канд. техн. наук, доц.*,

**Будар Мохамед Р.Ф.**, *асп.*

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Широко використовувані нині алмазні інструменти призначені переважно для обробки широкої гама високоміцних матеріалів, кераміки, граніту тощо. Маючи досить тонкий шар алмазів, інструменти забезпечують надійне оброблення на операціях розрізання, шліфування, вибірки пазів у випадку, коли машинний час не перевищує кількох десятків секунд. Але, тривалі операції при обробці матеріалів без водяного або рідинного охолодження приводять до того, що алмазовмісний шар активно засалюється, а поверхня різання деструктує, внаслідок чого зона різання різко розігрівається, і процес різання може припинитися [1]. Дослідження стану поверхні різального інструменту доводить, що при цьому кількість алмазів різко скорочується, а сама поверхня вкривається шаром адгезованого шламу. Тож стає очевидним, що процеси засалювання та деградації поверхні круга є взаємодоповнючими, внаслідок чого деякі операції розкрою (зокрема карбонових матеріалів) супроводжуються значним виділенням шкідливих речовин у повітря, зниженням якості та точності обробки, зростанням товщини деструктивного шару. Те саме можна зазначити і про розділові операції початкових заготовок спечених матеріалів, які мають значні перетини різку (до 350-400 мм) і для яких використання алмазовмісного дроту є також ускладненим.

Роботи [2, 3] свідчать про те, що підвищити надійність процесу можна за рахунок зміни умов обробки. Однак у цьому випадку таке рішення потребує використання спеціального і навіть гібридного інструменту.

В роботі [4] зазначено, що формування властивостей виробу здійснюється шляхом виконання ряду технологічних переходів, при яких відбувається повна або часткова зміна початкових властивостей виробу (заготовки). Технологічні перетворення заготовки у виріб здійснюються цілеспрямованою сукупністю технологічних впливів  $W_{ij}(t_k)$  матеріального  $S_o(t_k)$ ,  $S_o(t_k) \in R_{nj} \cap M_{nj}$ , енергетичного  $E_o(t_k)$  та інформаційного  $I_o(t_k)$  типів, що дає змогу записати:

$$W_{ij}(t_k) = S_o(t_k) \cup E_o(t_k) \cup I_o(t_k). \quad (1)$$

Якщо взяти до уваги, що технологічні впливи інструменту на виріб мають здійснюватися на кількох рівнях одночасно, то реалізації технологічних впливів відобразиться матрицею виду:

$$A_3^H = \begin{pmatrix} \Pi_{11}^s & \Pi_{12}^s \dots & \Pi_{21}^s & \Pi_{22}^s \dots & H_{11}^s & H_{12}^s \dots & H_{21}^s & H_{22}^s \dots & E_{11}^s & E_{12}^s \dots & E_{21}^s & E_{22}^s \dots \\ \Pi_{11}^t & \Pi_{12}^t \dots & \Pi_{21}^t & \Pi_{22}^t \dots & H_{11}^t & H_{12}^t \dots & H_{21}^t & H_{22}^t \dots & E_{11}^t & E_{12}^t \dots & E_{21}^t & E_{22}^t \dots \\ \Pi_{11}^v & \Pi_{12}^v \dots & \Pi_{21}^v & \Pi_{22}^v & H_{11}^v & H_{12}^v \dots & H_{21}^v & H_{22}^v \dots & E_{11}^v & E_{12}^v \dots & E_{21}^v & E_{22}^v \dots \end{pmatrix} \quad (2)$$

де  $\Pi_{11}^s, \Pi_{12}^s, \dots; \Pi_{21}^s, \Pi_{22}^s, \dots; \Pi_{11}^t, \Pi_{12}^t, \dots; \Pi_{21}^t, \Pi_{22}^t, \dots; \dots; \Pi_{11}^v, \Pi_{12}^v, \dots; \Pi_{21}^v, \Pi_{22}^v, \dots; \dots$  – варіанти переривних технологічних впливів за відповідними осями  $s, t$  та  $v$  системи координат  $s, t, v$ ;  $H_{11}^s, H_{12}^s, \dots, H_{21}^s, H_{22}^s, \dots; H_{11}^t, H_{12}^t, \dots; H_{21}^t, H_{22}^t, \dots; H_{11}^v, H_{12}^v, \dots; H_{21}^v, H_{22}^v, \dots$  – різні варіанти безперервних технологічних впливів за відповідними осями  $s, t$  та  $v$  системи координат  $s, t$  і  $v$ ;  $E_{11}^s, E_{12}^s, \dots;$

$E_{21}^s, E_{22}^s, \dots$ ; – варіанти разових технологічних впливів.

Нехай поверхня  $P$  деталі складається із ряду функціональних зон  $Z_{ij}$ , що відрізняються своїми властивостями  $V_{ij}^f$  та забезпечують виконання функцій  $FR_k$ . Властивості кожної із зон обумовлюються умовами роботи: силовим  $R_{ij}^{xy}$  та тепловим  $T_{ij}^{xy}$  навантаженнями, протіканням явищ хімічної взаємодії  $H_{ij}^a$ , механізмами пошкоджень  $D_{ij}$ . Оскільки усі функціональні зони належать до однієї поверхні (а у загальному випадку – до обсягу об’єкта, що розглядається), тобто  $Z_{ij} \in P$ , а поверхня задається функцією  $z = g(x, y)$ , що має область визначення  $R$ , причому  $P = \iint_R dR$ , маємо:

$$P = \iint_R \sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dy}\right)^2} dx dy, \quad (3)$$

або для випадку осесиметричного тіла – поверхні інструменту

$$P = \iint_R dP = \int_{\alpha}^{\beta} \int_{h(0)}^{g(0)} r dr d\alpha. \quad (4)$$

Тоді зміну властивостей поверхні можна визначити на основі функціональної обумовленості

$$V_{ij}^f = f(R_{ij}^{xy}, T_{ij}^{xy}, H_{ij}^a, D_{ij}), \quad (5)$$

і для будь-якої поверхні другого порядку, що має вигляд  $F(x, y, z) = 0$  та при перетині площиною дає рівняння кривої другого порядку виду

$$\frac{x^2}{\left(a\sqrt{1-\frac{h^2}{c^2}}\right)^2} + \frac{y^2}{\left(b\sqrt{1-\frac{h^2}{c^2}}\right)^2} = 1, \quad (6)$$

в проекції на вибрану вісь в межах  $(x_1, y_1); (x_2, y_2)$  може бути перетворена до вигляду

$$\begin{aligned} V_R^f &= b_0^R + b_1^R x^2 + b_2^R xy + b_3^R y^2 + b_4^R x + b_5^R y; \\ V_T^f &= b_0^T + b_1^T x^2 + b_2^T xy + b_3^T y^2 + b_4^T x + b_5^T y; \\ V_H^f &= b_0^H + b_1^H x^2 + b_2^H xy + b_3^H y^2 + b_4^H x + b_5^H y; \\ V_D^f &= b_0^D + b_1^D x^2 + b_2^D xy + b_3^D y^2 + b_4^D x + b_5^D y. \end{aligned} \quad (6)$$

Таким чином, отримуємо сімейство безперервних кривих, які належать до площин, що перетинають тіло під певними кутами та які відображають зміну властивостей у певному напрямку від вибраної початкової точки.

Розглянемо у якості прикладу циліндричний нежорстких виріб (різальний інструмент) до окремих поверхонь висуватимуться вимоги відповідно до функціонального призначення, умов різання, умов сполучення з робочим органом (шпинделем). Кожну із поверхонь додатково можна поділити на зони, що відрізняються умовами роботи. Локалізація та можливість поділу поверхонь на мікрозони доводить, що нижнім рівнем формування корисних функцій є мікрорівень. Однак на основі аналізу процесів формування мікрозон стає зрозумілим, що останні можуть бути поєднані у кластери. Можна зробити висновок, що максимальне забезпечення вимог до функціональних зон (або кластерів) вимагає максимальної локалізації впливу на поверхню. Тоді (1) як безперевні функції будуть адекватно відображати очікувані відмінності.

Для формування таких локальних зон пропонується використання методу лазерного термодифузійного спікання [5]. Сутність процесу полягає у тому, що порошок разом із алмазними зернами дозовано потрапляють у ванну розплаву, сформовану концентрованим лазерним випромінюванням, після чого додатково прикатуються роликком із певним зусиллям  $R$ . Цей спосіб дозволяє керувати закріплювати алмазні зерна поодиноці, забезпечуючи не

тільки потрібну міцність кріплення, а і надаючи можливість формувати потрібну поверхню. Для визначення ступеня локалізації  $\delta$  при формуванні шару проаналізовано теплові явища, що супроводжують процес термо-деформаційного спікання.

При цьому взято до уваги наступне: 1) рухоме джерело тепла насправді є безперервним нерухомим джерелом в рухомій системі відліку; 2) наступний крок використовується для пошуку суперпозиції точкових рішень у просторових координатах у рухомій системі відліку.

Моделювання виконували у середовищі MathCAD. 12.

Для чисельних розрахунків було прийнято геометричні параметри інструментів. Результати чисельного інтегрування за визначеними крайовими умовами для розрахункових схем дозволяють зробити наступні важливі висновки:

1) Для малої кількості імпульсів лазера при локалізації у точці відмінність епюр розподілу температур є незначною (не більша за 10%);

2) За умови, що нагрів поверхні для здійснення наступного деформаційного ущільнення має бути більшим за  $750^{\circ}\text{C}$ , діаметр локалізованої плями при нерухомому промені становить від 0,32 мм до 0,4 мм;

3) Для прогнозування ступеня локалізації впливу можна використовувати рівняння розподілу температур на поверхні тіла із обмеженнями за температурою  $T_{кр}$ ;

4) Збільшення локалізації можливе за рахунок зміни методів і способів механічного ущільнюючого впливу на зону розплаву.

Таким чином, зроблені наступні висновки. Застосування функціонального підходу до удосконалення процесів формування алмазного шару із використанням морфологічного та функціонально-вартісного аналізу дозволило сформулювати основні засади визначення особливостей роботи виробів та запропонувати матеріальні носії функцій у вигляді способів формування такого шару. При цьому показано, що найбільш доцільним засобом забезпечення властивостей є лазерно-деформаційний спосіб формування поверхневого шару, який потребує певних удосконалень для отримання закономірностей керування процесом формування елементів поверхні або їх кластерів. Наведений розрахунок очікуваної зони локалізації показав, що за умови нагріву поверхні для здійснення наступного деформаційного ущільнення понад  $750^{\circ}\text{C}$ , діаметр локалізованої плями при нерухомому промені становить від 0,32 мм до 0,4 мм.

### Список літератури

1. Васин С.А. Резание материалов: Термодинамический подход к системе взаимосвязи при резании / С.А. Васин, А.С. Верещака, В.С. Кушнер: учеб. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 448 с.
2. Васильев Е.В. Тепловые процессы при алмазном шлифовании // Омский научный вестник: Машиностроение и машиноведение. 2007. – № 2(56). – С. 113–115.
3. Шепелев А.А., Сороченко В.Г. Механизм образования поверхностного слоя при алмазно-абразивной обработке полимерных композиционных материалов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2004. Вып.28. – С.202–205.
4. "Cutting Superhard Materials by Jet Methods (on Functional Approach)" is: <http://mts.intechopen.com/articles/show/title/cutting-superhard-materials-by-jet-methods-on-functional-approach>.
5. Применение лазерной технологии для спекания алмазосодержащих композиционных материалов / Л.Ф. Головкин, Н.И. Анякин, О. Эхсан, Н.В. Новиков, А.А. Шепелев, В.Г. Сороченко // Автоматическая сварка. – 2008. – № 8 (664). – С. 15–23.



## **ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ВИКОНАННЯ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ ВИСІВУ НАСІННЯ ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР**

**П.С. Попик**, канд. техн. наук, ст. викл,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

Сучасне сільське господарство висуває нові вимоги до технічних засобів, що стимулює виробників посівної техніки вносити постійні зміни у конструкції машин та параметри робочих органів [1]. Все частіше розробляються і впроваджуються прогресивні конструкційні матеріали, застосовуються більш досконалі механічні пристрої, засоби електроніки, гідравліки, гідроавтоматики, високоточне технологічне обладнання. Ці вдосконалення спрямовані на вирішення повсякденних проблем агровиробників, пов'язаних з виробництвом високоякісної продукції при помірних затратах енергоносіїв та коштів.

З цієї точки зору важливим етапом в технології вирощування будь-якої культури постає сівба, від своєчасності і якості якої значною мірою залежить доля майбутнього врожаю [2]. Точність виконання посіву закладає основу майбутній врожайності при вирощуванні технічних культур. Багато в чому точність визначається конструктивними особливостями самого висівного апарату, який повинен забезпечувати необхідний рівень надійності виконання технологічного процесу висіву. В свою чергу показники технологічної надійності залежать від конструктивних параметрів апарату, якості виготовлення, визначення яких має суттєве практичне значення. За основний показник надійності виконання технологічного процесу висівного апарату можна прийняти ймовірність його безвідмовної роботи (коефіцієнт надійності). Основні вимоги до точного посіву технічних культур є дотримання розподілу насінин в рядку на однаковій відстані між насінневими гніздами та мінімізувати й усунути висів так званих "двійників", тобто висів у одне гніздо декількох насінин одночасно замість однієї.

Ведеться розробка нового пневмомеханічного висівного апарату, висівний диск який має присмоктуючі комірки направленої дії для кращого захвату окремих насінин, що в кінцевому результаті призведе до більшої точності виконання технологічного процесу посіву. Запропонований висівний апарат направлений на усунення основних недоліків серійного пневмомеханічного висівного апарату, а саме "пропуску" висіву та утворення "двійників".

В результаті подальшої роботи планується отримання висівного диску принципово нової конструкції, яка призводить до покращення умов присмоктування насіннин до комірки висівного диску і зменшення появи "пропусків" та "двійників" в технологічному процесі висіву. Також планується отримання ресурсозбереження при виробництві технічних культур в порівнянні з серійним пневмомеханічним висівним апаратом.

### **Список літератури**

1. Попик П. С., Юхименко М. М. Підвищення довговічності вузлів тертя посівної техніки. Збірник тез доповідей VII Міжн. науково-технічної конф. "Крамаровські читання" з нагоди 113-ї річниці від дня народження д.т.н, проф., члена-кор. ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова В. С. (1906-1987) 20-21 лют. 2020 р., м. Київ / МОН України, НУБіП України, ННЦ "ІМЕСГ" НААН. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2020. С. 10-11.
2. Попик П. С., Гудзь Д. О. Ресурсозберігаючі технології посіву зернових культур. Збірник тез доповідей VII Міжн. науково-технічної конф. "Крамаровські читання" з нагоди 113-ї річниці від дня народження д.т.н, проф., члена-кор. ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова В. С. (1906-1987) 20-21 лют. 2020 р., м. Київ / МОН України, НУБіП України, ННЦ "ІМЕСГ" НААН. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2020. С. 11-12.

## ***DEVELOPMENT OF A FUEL PUMP CONTROL DEVICE FOR A DIESEL ENGINE***

**M. Moroz**, *Prof., Dr. tech. Science,*  
**S. Korol**, *Assoc. Prof., Candidate of Technical Sciences Science,*  
**V. Zahorianskyi**, *Assoc. Prof., Candidate of Technical Sciences Science,*  
**O. Moroz**, *Assoc. Prof., PhD in Economics,*  
**V. Khorolskyi**, *Assoc. Prof., Candidate of Technical Sciences Science,*  
**K. Korol**, *assistant*  
*Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, c. Kremenchuk, Ukraine*

Modern vehicle engines in operation, especially those in urban environments, have low load rate. Low loads and idling modes [1] are make up more than 50% of total performance. Therein fuel expenditure increases and environmental indicators deteriorate. The problem of operational economic and environmental performance increase is relevant. In the work [2] the electromechanical fuel supply control system of internal combustion engine on partial engine operating modes was considered. The studies of passenger traffic conducted in [3, 7-10] confirm incomplete vehicle engine load when operating in urban mode. The operational fuel efficiency of vehicle diesel engine is determined by the efficiency of partial load modes conducted by the studies [4, 5].

In traditional for vehicle diesel engines scheme of fuel equipment with fuel injection pump camshaft solid drive, two mechanical moderators are used:  $h_r$  which is automatic pump control rod position moderator and centrifugal coupling for automatic change of the  $\Theta$  fuel injection advance angle. When switching to a new drive [5], which provides adjustable uneven camshaft rotation, in addition to these two parameters, the third parameter – the  $\Delta_j$  uneven camshaft rotation degree should also be changed depending on diesel engine speed rate. All the new drive designs developed make it possible to simultaneously change the  $\Delta_j$  and  $\Theta$  parameters under the influence of one uneven rotation drive automatic moderator which is common to them.

The principles of these values regulation are explained in [6]. If an all-mode moderator is used on the engine, then its speed rate is determined by the accelerator pedal position (fuel pump control lever). In this case, a special moderator for pump drive is not needed, since the regulating effect can be obtained from the same lever. At the same time, the constant values of the  $j_{\max}$  maximum gearing ratio and the  $\Theta$  injection advance angle, which are optimal for the full-load curve modes. These characteristics have rather high gradient, therefore, the discrepancy between the rotational rate values and the rotation unevenness rating, as well as the rotational rate and the injection advance angle, can be neglected.

When a fuel injection pump operates with a new drive, its camshaft rotates unevenly with a periodically varying (within each shaft rotation) rotational speed. Therefore, preserving the principle of governor flyweight connection to a camshaft adopted in the traditional fuel equipment scheme can lead to moderator malfunction associated with the occurrence of control rod high-amplitude oscillations, which can cause change in the fuel supply, and in some cases disrupt the entire pump sections operation. To eliminate these negative phenomena, the fuel equipment layout diagram must be changed so that smooth running is transmitted from diesel engine camshaft to load holder, bypassing the uneven rotating shafts of a new fuel injection pump drive.

The developed automatic uneven rotation drive moderator belongs to the class of moderators with an inertial sensitive element and is designed to control the fuel pump shaft uneven rotation rating and the fuel injection advance angle depending on the  $n$  frequency rotation of the diesel engine shaft. The specified regulation is made by a corresponding cam plates turn [5] at the  $\delta_1$  and

$\delta_2$  angles while the  $\Delta_j$  rotational unevenness rating is determined by the  $\delta$  angle of the relative cam plates shift

$$\delta = (\delta_1 - \delta_2) / 2 = 0 \dots 6^\circ, \quad (1)$$

and the  $\Theta$  injection advance angle is determined by the  $\Delta$  angle of their joint turn

$$\Delta = (\delta_1 + \delta_2) / 2 + 0 \dots 6^\circ. \quad (2)$$

The analysis of this automatic controller operating conditions on the YaMZ and KamAZ diesel engines showed that the moderator output link will be affected by cam plates with a total alternating moment, the maximum value of which is estimated to be 30 ... 40 Nm at a constant injection advance angle ( $\delta_2 = -\delta_1$ ) and the level of 70 ... 100 Nm at a variable injection advance angle ( $\delta_2 \neq -\delta_1$ ). Furthermore, for all sections of plungers active stroke, this moment has one definite sign (here it seeks to reduce the  $\delta$  and  $\Delta$  angles). Consequently, designed moderator operating conditions are similar to the operating conditions of the automatic injection advance angle change coupling, and therefore the design of this coupling was taken as the basis for this mechanism design.

In this mechanism, the half coupling shift by a certain angle causes a proportional gear 11 rotation and a corresponding cam plates turn on the  $\delta_1, \delta_2$  angle. By combining the stiffnesses and initiation of spacer springs installed in the centrifugal coupling, one can obtain the required  $\delta(n)$  and  $\Delta(n)$  characteristics of moderator operating. The method for determining the  $\delta$  and  $\Delta$  angles, providing the specified values of the  $\Delta_j$  speed rotation unevenity rating and the  $\Theta$  injection advance angle, was described in [5].

A constructive scheme for the automatic moderator of fuel injection pump camshaft uneven rotation drive has been developed.

At the rotation rating of  $n = 300 \text{ min}^{-1}$ , on the control rod shift oscillogram, there were visible areas of sharp change in the nature of the movement, indicating breaks in the kinematic chain. In the  $n = 500 \dots 600 \text{ min}^{-1}$  frequency range, a significant (resonant) oscillations amplitude increase is observed.

Besides control rod oscillations, the experiment demonstrated significant "demolition" of the all-regime moderator at frequency, which is revealed in shifting of control rod average position due to governor flyweight uneven rotation. Moreover, at frequencies of smaller and larger resonant, this shift occurs in different directions.

The presence of such a shift is a sign that the system under study has parametric resonance point in the frequency range  $n = 500 \dots 600 \text{ min}^{-1}$ . To explain the cause of this resonance, let us consider simultaneous equations (3–4) describing the operation of all-regime controller at the  $\omega_{sr}$  constant average pump shaft rotation rating;

$$(J(y) \cdot \omega)'' = Z_u \cdot (\omega_v(t) - \omega), \quad (3)$$

where  $J(y) = J_0 + m_{gr} \cdot y^2$  is conversion load inertia of parts rotating along with moderator driven half-coupling;  $\omega = \omega_r'$  is instantaneous half-coupling angular rate (the sign " ' " denotes t time differentiation);  $Z_u$  is spring stiffness;  $\omega_v(t) = \omega_{sr} \cdot (1 + \Delta \omega \cdot \cos(8 \cdot \omega_{sr} \cdot t))$  is camshaft angular spin rate;

here  $m_{gr}$  is weight;  $y = i_r \cdot h_r$  is the deviation of weight mass center from spinning axis;

$\Delta \omega \approx 8 \cdot \Delta \Phi$  is the degree of shaft uneven rotation;

at the same time,  $i_r$  is the gearing ratio between the  $h_r$  control rod movements and load mass center;  $\Delta \Phi$  is camshaft oscillations amplitude; number 8 corresponds to the number of pump plungers;

$$m_r \cdot h_r'' + (j_{pr} \cdot Z_{pr} - \alpha \cdot m_{gr} \cdot \omega^2) \cdot h_r = j_{pr} \cdot F_{pr0}, \quad (4)$$

where  $m_r$  is parts reduced mass moving along with the control rod (including weight);  $j_{pr}$  is gearing ratio between the change in spring length and control rod movement;  $Z_{pr}, F_{pr0}$  are stiffness coefficient and moderator spring pretension;  $\alpha = i_r \cdot j_r^2$ ; here  $j_r$  is the gearing ratio between moderator shaft and pump camshaft.

Simultaneous equations solving (3 – 4) can be found as the sum of the Fourier series

$$h_r(t) = a_0 + \sum a_1 \cdot \cos(j \cdot 8 \cdot \omega_{sr} \cdot t), \quad (5)$$

whereas the  $a_0$  coefficient, which determines the  $h_{r, sr}$  control rod average position over oscillation period, and the  $a_1$  coefficient, which determines the  $\Delta h_r$  fundamental component amplitude, at small  $\delta \cdot \omega$  values the following formulas correspond:

$$h_{r, sr} = f_0 / \omega_0^2 \cdot (1 - 0.5 \cdot (\delta \cdot \omega)^2 / (A - 1)); \quad (6)$$

$$\Delta h_r = \delta \cdot \omega \cdot f_0 / \omega_0^2 \cdot (1 - A), \quad (7)$$

where  $A = (\omega_0 / (8 \cdot \omega_{sr}))^2$ .

In the following formulas:

$$\omega_0^2 = (j_{pr} \cdot Z_{pr} - \alpha \cdot m_{gr} \cdot \omega_{sr}^2) / m_r; \quad (8)$$

$$f_0 = j_{pr} \cdot F_{pr, 0} / m_r; \quad (9)$$

$$\delta \cdot \omega = (1/32) \cdot \alpha \cdot k \cdot (m_{gr} / m_r) \cdot \Delta \omega, \quad (10)$$

where  $k = (Z_u / J(y_0)) / (8 \cdot \omega_{sr})^2$ .

As  $\delta \omega \sim \Delta \omega \sim \Delta \Phi$ , then while  $A < 1$  with  $\Delta \omega$  camshaft uneven rotation increase, the fuel supply should decrease, thus while  $A > 1$  it should increase, which is confirmed in the experimental study course (Table 1 and Fig. 4).

When  $A \approx 1$ , an unlimited control rod oscillation amplitude increase can occur (parametric resonance). It should be noted that resonance phenomena are observed in these modes with oscillation amplitude usual for a camshaft  $\Delta \Phi \leq 0.5^\circ$ , but in this case they are much more marked and their influence zone is expanded.

The principal and structural scheme of the automatic moderator for uneven rotation drive is developed and new layout schemes of fuel equipment fitted with uneven rotation drive of fuel pump camshaft are proposed.

In the course of engineless testing, the efficiency of the new moderator as well as the drive and all fuel equipment assemblies under the conditions of camshaft pump controlled uneven rotation was confirmed. At the same time, in a number of idling modes, a significant control rod oscillation amplitude increase was revealed, which is associated with resonance phenomena in the fuel injection pump mechanical moderator. The ways to eliminate these negative phenomena are outlined.

## References

1. N. N. Patrakhalcev, S. V. Strashnov, I. S. Melnik, B. A. Kornev, "Izminenie chisla rabotayushchikh cilindrov dizelya – variant povysheniya ekonomichnosti ego rezhimov malyh nagruzok", *Avtomobilnaya promishlennost*, Moskva, № 2, pp. 11 – 13, 2012.
2. Perdulak, J., Kovac, D., Kovacova, I., Ocilka, M., Gladyr, A., Mamchur, D., Zachepa, I., Vince, T., Molnar, J. Effective utilization of photovoltaic energy using multiphase boost converter in comparison with single phase boost converter (2013) *Komunikacie*, 15 (3), pp. 32-38.
3. M. M. Moroz, S. O. Korol, Y. O. Boiko, "Social traffic monitoring in the city of Kremenchuk", *Actual Problems of Economics*, № 1 (175), pp. 385 – 398, 2016.
4. N. N. Patrahalev, "Neustanovivshyasya regymy raboty dvigatelei vnutrennego sgoraniya: Monografiya, M., RUDN, 380p., 2009.
5. S. O. Korol, M. M. Moroz, S. S. Korol, S.A. Serhiienko, "Method and device for increase of weight charging of four-stroke engine cylinders", *Scientific Bulletin of NMU*, № 5 (161), pp. 56 –61, 2017.
6. M. M. Moroz, S. O. Korol, S. M. Chernenko, Y. O. Boiko, O. M. Vasykovskiy, "Driven camshaft power mechanism of the vehicle diesel engine fuel pump", *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, №7 (4), pp. 135 – 139, 2018.
7. N. Shramenko, D. Muzylyov, M. Karnaukh, "The principles of the choice of management decisions based on fuzzy logic for cargo delivery of grain to the seaport", *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, №7 (4.3 Special Issue 3), pp. 211–216, 2018.
8. N. Y. Shramenko, "Methodology for evaluation of synergy effect in terminal cargo delivery system", *Actual Problems of Economics*, № 182(8), pp. 439–444, 2016.
9. M. Trunina, V. G. Zahorianskyi, O. L. Zahorianska, D. V. Moloshtan. Ensuring Competitiveness of Logistics Service by Selecting the Type of Storing Single-Piece Cargoes. *International Journal of Engineering and Technology*. Vol. 7, No. 4.3 (2018). Special Issue 3. P. 537–544.
9. Moroz, Mykola M. Defining the term and the volume of investments on reduction to necessary structure of rolling stock of passenger public transport (Kremenchuk city case study) / Moroz, Mykola M. // *Actual Problems of Economics / Aktual'ni Problemi Ekonomiki*. – 2015, Vol. 166 Issue 4, p235–243.

## **ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ КОМПОСТОПРИГОТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ**

**В.Б. Онищенко**, канд. техн. наук, доц.,  
**О.С. Де'вятко**, канд. техн. наук, ст. викл.,  
**Є.О. Потеряйко**, студ.,

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

Результати досліджень температурних зон в перерізі бурта компостної суміші свідчать [1, 2], що необхідна температура (50-60 °С) для дозрівання органічної маси забезпечується в зоні, де є вільний доступ повітря. Залежно від способу формування бурта, ця зона досягає товщини 1,0-1,02 м. Але поверхневий прошарок (0,4-0,5 м) охолоджується до температури навколишнього середовища (рис. 1).

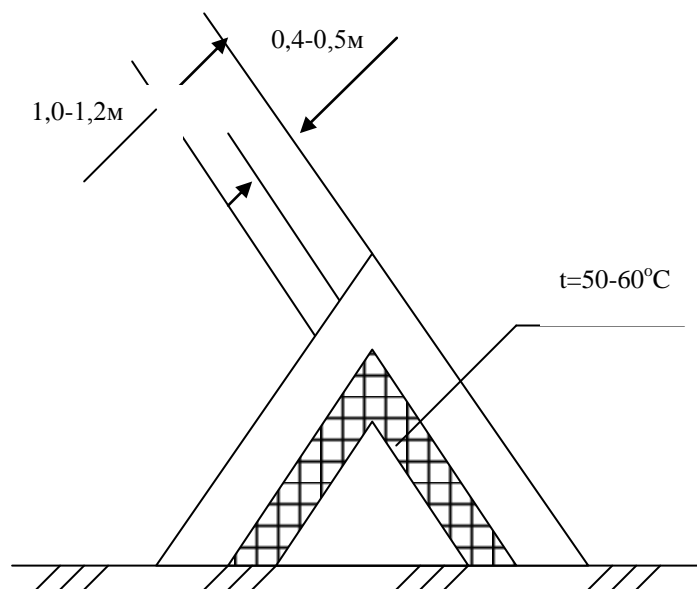


Рисунок 1 – Розподіл температурних зон в перерізі бурта органічної маси

Принцип пошарової перебивки компостної суміші на укосі бурта передбачає періодичне (кожні 4-5 днів) перекидання змішувачем-агрегатором холодних шарів (0,4-0,5м) матеріалу на протилежну сторону бурта. Така машина більш якісно здійснює аераційний процес при приготуванні компостної суміші на основі торф. Якщо ж при компостуванні, в якості наповнювача використовується подрібнена солома, то скребки похилого транспортера змішувача-аератора не забезпечують якісної аерації суміші.

Постало питання про розробку робочого органу компостоприготувальної машини, який би зміг здійснити більш якісне перемішування органічної маси компостної суміші.

Найкраще із поставленою задачею справиться похилий гвинтовий конвеєр [3], що складається із двох шнеків протилежної навивки і обертання, при яких маса рухається між шнеками знизу вгору. В цьому випадку компостна суміш буде більш якісно перемішуватись, розрихлюватись і насичуватись повітрям.

Компостоприготувальна машина призначена для приготування компостів, аерації компостованих сумішей, та складування їх в бурти. Машина агрегується із тракторами МТЗ-82, складається із рами основної, встановленої на чотири самовстановлювані пневматичні колеса. З правої сторони (за ходом трактора) шарнірно приєднана рухома рамка,

яка з однієї сторони через гідроциліндр приєднана до основної рами, а з другої сторони до неї шарнірно приєднано спарений конічний редуктор. До фланців вторинних валів спарених конічних редукторів приєднано шнеки з правою і лівою навивкою. У верхній частині, шнеки з'єднані верхньою балкою, шнеки утворюють блок шнеків[3].

Верхня балка, через регулювальний пристрій нахилу блоку шнеків, приєднана до основної рами. Із протилежної сторони від шнеків, для їх врівноваження, встановлено врівноважуючий вантаж. При робочому проході агрегату, гідроциліндрами шнеки встановлюються на потрібну глибину ходу.

Шарнірне, у вертикальній площині, і жорстке в горизонтальній площині приєднання машини до трактора, через проміжну рамку у взаємодії із самоустановними опорними колесами дозволяє виконувати технологічний процес, як при русі вперед так і при русі назад.

При виконанні транспортних переїздів на великі відстані, в місцях з обмеженням габаритних розмірів, машина переагреговується з трактором за схемою, при якій трактор під'єднується із сторони противаги, а шнеки встановлюються вздовж по ходу трактора.

### **Список літератури**

1. Марченко Н.М. Комплексная механизация приготовления и внесения удобрений [текст] / Марченко Н.М., Литвинов М.А., Верховский В.М. – М.: Колос, 1974. – 400 с.
2. Линник Н.К. Машины и оборудование для производства и внесения органических удобрений [Текст] / Н.К. Линник, В.А. Ермоленко, И.И. Шкодкин [и др.]; под. ред. Л.В. Погорелого. – К.: Техника, 1992. – 103 с.
3. Лінник М.К. Модульно-адаптивні технічні засоби для виробництва і внесення органічних добрив [текст] / М.К. Лінник, Г.А. Голуб, В.О. Кудря, В.В. Висовень, М.Є. Шаблій // Праці Таврійської державної агротехнічної академії – Вип. 21 – Мелітополь 2004 – С. 123-129.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

**О.П. Бабак**, канд. техн. наук., доц.,  
**С.Ф. Посонський**, канд. техн. наук., доц.,  
**А.А. Вичавка**, асист.,

*Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна*

Основні конструкційні матеріали діляться на металеві, керамічні, полімерні і композиційні. Вибір для їхнього застосування в конструкціях автомобілів визначається співвідношенням між міцністю та пластичністю. Металеві матеріали мають найкраще співвідношення. Керамічні і полімерні матеріали менш пластичні а композиційні по зазначених характеристиках займають проміжне положення між керамічними та металевими матеріалами. Оптимальне співвідношення між міцністю й пластичністю металевих матеріалів визначило їхню переважаючу частку в загальному обсязі конструкційних матеріалів, що перевищує 90% [1].

При створенні нових систем, деталей машин і вузлів для автомобільної промисловості, необхідно точно знати надійність одержуваної системи, тому що це впливає на безпеку користувачів і дозволяє розширювати границі використання створюваних елементів [2].

Ціль визначення зносостійкості конструкційних матеріалів ставлять перед собою, коли необхідно розв'язати одну або іншу з наступних завдань:

- одержання триботехнічних характеристик конструкційних і мастильних матеріалів, необхідних для обґрунтованого вибору матеріалів і змашень при проектуванні вузлів тертя;
- оперативне оцінювання ефективності заходів щодо вдосконалювання властивостей матеріалів і конструкцій третьових сполучень;
- дослідження закономірностей тертя і зношування, до яких ставиться комплекс робіт з визначення впливу різних факторів на швидкість зношування і абсолютну величину зношування;
- визначення характеристик процесу зношування та відповідної їм ступені втрати працездатності;
- вибір найкращих конструктивно-технологічних рішень;
- оцінка надійності та безпеки вузлів тертя і їх окремих параметрам зносостійкості.

Існує кілька видів випробувань матеріалів на зносостійкість. Вибір одного з них здійснюється виходячи із завдань експериментаторів і переслідуваних ними цілей [5].

При дослідженні нових матеріалів, аналізі механічних і фізико-механічних процесів у поверхневих шарах застосовується метод лабораторних випробувань зразків матеріалу, здійснюваний варіацією навантаження і (або) температури при різних умовах і видах впливів навколишнього середовища.

Для оцінки впливу на фрікційно-зношувальні характеристики пари тертя конструкції трибоспряження, а також установлення ресурсу зношування елементів і норм припустимого зношування можна застосовувати стендові випробування.

Експлуатаційні випробування застосовують для оцінки впливу конструкції виробу в реальних умовах експлуатації на зносостійкість.

Для готових виробів і комплексів існує ще так званий полігонний метод дослідження, що включає оцінки впливу конструкції і одного або декількох зовнішніх факторів, що впливають, на зносостійкість трибоспряжень.

Експериментально-розрахункові методи оцінки опору металу зношуванню припускають одержання статистичних моделей зносостійкості, які дозволяють одержувати

дані по зносостійкості розрахунковим шляхом, опираючись на властивості матеріалу елементів трибоспряження, названих критеріями зносостійкості. При використанні експериментально-розрахункового методу оцінки опору металу зношуванню виникає проблема вибору критерію зносостійкості пов'язана з тим, що зносостійкість є змінною і складнозалежною величиною.

Критеріями для оцінки зносостійкості сталей прийнято використовувати окремі механічні властивості (твердість, межа міцності, опір зрізу і т.д.) або їх комплекси. Слід зазначити, що найбільш перспективними є критерії зносостійкості, що поєднують міцнісні і пластичні властивості сталі.

Тому при оцінці зносостійкості сталей необхідно враховувати комплекс механічних властивостей металу, які для сталей можуть бути обчислені по емпіричних залежностях на основі стандартних механічних характеристик.

Отже, з метою виявлення закономірностей зношування різних сталей досить провести випробування на зношування по режиму в зазначеному діапазоні питомого навантаження та швидкості ковзання. Ряд зносостійкості сталей, отриманий при цьому для конкретних умов зношування на лабораторній установці, буде зберігатися в зазначеному інтервалі зміни умов зношування.

Так чи інакше, одним з питань, що часто піднімаються в науковому середовищі є питання про підвищення зносостійкості конструкційних матеріалів.

У цей час є ряд шляхів, спрямованих на продовження термінів служби машин і механізмів. Заходи щодо підвищення довговічності деталей можуть бути досить різними по своїй фізичній сутності, по ступеню впливу на довговічність.

Більшість металургійних і технологічних заходів спрямоване на збільшення механічних властивостей матеріалів за рахунок зміни структури і збільшення недосконалостей у кристалічних ґратках металу. Успіхи машинобудування, темпи його розвитку безпосередньо пов'язані зі створенням нових матеріалів і освоєнням принципово нових технологічних процесів зміцнення [3].

Для підвищення контактної витривалості поверхневих шарів деталей за звичай виконують хіміко-термічну обробку. Контактну витривалість можна підвищити, якщо після хіміко-термічної обробки провести поверхнєве деформаційне зміцнення, яке зміцнює слабкі ділянки структури і тим самим утрудняє розвиток у них мікропластичної деформації при контактному навантаженні.

Дислокаційна структура мартенситу перетерплює при деформаційній обробці істотних змін. Характер і ступінь цих змін залежать від режиму обробки, складу сталі і вихідної структури цементованого шару – від присутності надлишкової карбідної фази та залишкового аустеніту [4]. Утворюються в межах одного зерна щільні замкнені дислокаційні стінки та ув'язнені між ними області з відносно низькою щільністю дислокацій. Такі фрагментовані дислокаційні структури відносяться до дисипативних і означають мінімізацію енергії всієї дислокаційної системи. Їхнє формування приводить до зменшення рухливості дислокацій і гальмує розвиток процесів контактної втоми матеріалу. Інший процес пов'язаний з локалізацією мікродеформацій і мікронапруг у структурних концентраторах, яка послабляється при наявності залишкового аустеніту та підсилюється з ростом концентрації надлишкової карбідної фази. При вичерпанні запасу пластичності мартенситу, можливе розшарування на границі роздгнення карбід-матриці. Підвищення пластичності мартенситу при збільшенні температури відпустки дає можливість релаксації напруг у структурних концентраторах (карбідів). При одночасному впливі нагрівання та деформації забезпечується формування більш регулярної ніздрюватої дислокаційної структури зі зниженням мікрвикривлення мартенситу.

### Список літератури

1. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова і експлуатація автомобілів: Підручник. К.: Либідь, 2002. – 400с.
2. Костів Б. І. Експлуатація автомобільного транспорту: Підручник. - Львів: Світ, 2004. – 496 с.; іл.



3. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 1990. - 526 с.
4. Материаловедение: учеб. для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 648 с.
5. Костин П.П. Физико-механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов. - М.: Машиностроение, 1990. - 256 с.

## **УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ПРИЧИНЫ И ВИДЫ ИЗНОСА ВАЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И ПОВЫШЕНИЕ ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И СРОКА СЛУЖБЫ**

**М.С. Агеев**, канд. техн. наук, доц.,

*Херсонская государственная морская академия, г. Херсон, Украина*

**М.Ф. Ковалев**, канд. техн. наук, проф.,

**М.В. Головащук**, асп.,

*Национальный транспортный университет, г. Киев, Украина*

**В.И. Калининченко**, канд. техн. наук, старш. научн. сотрудник,

**В.М. Лопата**, канд. техн. наук,

*Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАНУ, г. Киев, Украина*

Проблему энергосбережения наиболее эффективно можно решить при внедрении технологий поверхностного упрочнения. Упрочняющие покрытия и технологии являются наиболее приоритетным направлением развития в современном двигателестроении. Неисправности и дефекты деталей двигателей влияют на его техническое состояние. Как показал анализ различных групп деталей двигателей количество и конструктивная значимость деталей типа "вал" являются определяющими в обеспечении их работоспособности. Из всех восстанавливаемых типоразмеров деталей - 60% составляют детали типа "вал" (рис.1).

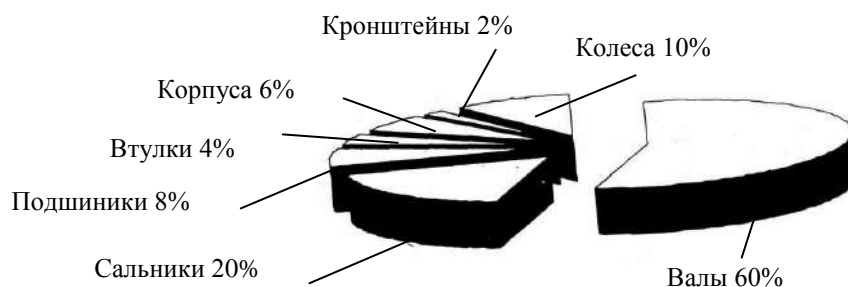


Рисунок 1 – Статистика выхода из строя деталей двигателей

К деталям типа "вал" двигателей относятся, как собственно валы (коленчатый, распределительный), так и детали, имеющие конструктивные поверхности характерные для валов (оси, шкворни, втулки и др.). Среди деталей двигателей наиболее часто выходят из строя и требуют ремонта коленчатые и распределительные вала. Они являются ответственными, дорогостоящими и наиболее высоконагруженными деталями. Детали типа "вал", в частности, коленчатые и распределительные валы, работают в условиях трения со смазкой.

В процессе эксплуатации знакопеременные нагрузки, действующие на вал, вызывают трение и изнашивание его шеек; изгибы и скручивания в результате изгибных, крутильных и осевых его колебаний, усталостные разрушения в местах перехода шеек в щеки и в местах выходов масляных каналов. Износ шеек вала в целом определяет срок их службы. Шейки валов в паре с подшипниками работают в условиях динамических знакопеременных нагрузок. Сопряжение шейки вала - подшипник работает в условиях гидродинамической смазки. Стабильность режима гидродинамического трения часто нарушается и возникает полужидкое, а иногда и полусухое трение. В таких условиях резко возрастает скорость изнашивания рабочей поверхности вала и подшипника, что отрицательно влияет на ресурс двигателей. Износу коренных шеек коленчатого вала способствуют сила инерции и центробежная сила. Давление газов и инерционная сила передают коленчатому валу толчки,

скручивают его и изгибают, вызывая упругие деформации. В результате упругих деформаций в вале возникают внутренние напряжения. При совпадении периодов и направлений давления газов и инерционной силы, с одной стороны, и внутренних упругих напряжений — с другой, амплитуда колебаний вала возрастает, что приводит к образованию в наиболее напряженных местах (галтелях и щеках) усталостных трещин, развитие которых может вызвать поломку вала. Износ коренных шеек в значительной мере зависит от несоосности коренных подшипников и шеек, несоосности коленчатого вала и вала муфты сцепления, а также от несбалансированности коленчатого вала, маховика и муфты сцепления. При увеличении динамических нагрузок и числа оборотов коленчатых валов двигателей имеет место такое негативное явление как фреттинг. Кроме сил трения, на износ шеек влияет конструкция вала и его жесткость.

В результате эксплуатации коленвалы могут иметь следующие дефекты: овальность; конусность; прогиб; повреждения шатунных и коренных шеек (задиры, риски, вмятины, волнистость, следы коррозии); повреждение или износ отверстий под болты крепления маховика; износ гнезда в торце коленчатого вала под шарикоподшипник вала муфты сцепления; износ шпоночной канавки; износ маслосгонной резьбы; износ посадочных мест под шестерни и шкив вентилятора. По статистике поломки валов составляют: 75% - вследствие искривления их оси; 70% - вследствие изломов коленвалов по щекам, 20% - по мотылевым шейкам, 10% - по рамовым подшипникам. В эксплуатации чаще встречаются поломки, вызванные циклическими изгибными напряжениями, возникающими из-за неравномерного износа сопряжения шейки вала – подшипник.

Ресурс деталей двигателей обусловлен износостойкостью деталей, которая является важной эксплуатационной характеристикой, лимитирующей срок их службы. Наиболее рациональным и экономически целесообразным решением проблемы, которая связана с повышением износостойкости деталей, является нанесение на их рабочие поверхности износостойких покрытий. Изготовление деталей двигателей с износостойкими покрытиями ограничено, что является одной из причин их недостаточного срока службы. Поэтому разработка эффективных способов изготовления деталей с покрытиями повышенной износостойкости - одна из важнейших задач повышения срока службы автотракторных двигателей. В связи с этим разработка комплекса научно обоснованных технологических решений по увеличению срока службы валов автотракторных двигателей, в частности, по повышению их износостойкости является актуальной научной задачей в области двигателестроения.

Рассмотрим используемые на практике способы увеличения срока службы валов. В ремонтном производстве Украины, при сложившейся в настоящее время экономической ситуации, наиболее часто восстановление деталей типа "вал" осуществляется двумя способами: приданием их поверхностям новых, так называемых ремонтных размеров и полным восстановлением первоначальных размеров изношенных мест деталей.

При первом способе, получившем название способа ремонтных размеров, с изношенной части вала (например, шейки) снимается слой металла с целью устранения отклонений от правильной геометрической формы. Полученный после обработки новый размер называется ремонтным. Способ ремонтных размеров наиболее экономичен вследствие простоты (весь ремонт сводится к механической обработке). Однако этот метод усложняет технологический процесс ремонта из-за многообразия валов различных размеров.

При втором способе вал сначала подвергается механической обработке для придания ей правильной геометрической формы, затем ее поверхность наращивается, после чего производится механическая обработка под номинальный размер. Способ восстановления первоначальных размеров более дорогой, но лишен недостатков, присущих способу ремонтных размеров, и поэтому считается более прогрессивным.

Существуют различные технологические способы восстановления изношенных, поврежденных деталей: механическая и слесарная обработка, сварка и наплавка,

пластическое деформирование, электролитическое наращивание, напыление, припекание, электрофизические способы обработки и т.д.

Сегодня основным направлением при восстановлении деталей типа "вал" можно считать нанесение покрытий на изношенные поверхности вала. Нанесение покрытий - один из основных путей повышения твердости и износостойкости деталей типа "вал" и увеличения срока их службы. Упрочняющие покрытия и технологии являются наиболее приоритетным направлением развития в современном двигателестроении. Большинство деталей типа "вал" двигателей возможно восстанавливать разными способами наплавки и напыления (табл. 1). Главный недостаток методов наплавки - "холодные" и "горячие" трещины в зоне термического влияния (ЗТВ), которые резко снижают ресурс восстанавливаемой детали. Наплавка требует финишную механическую обработку посадочных мест для необходимого размера и чистоты поверхности.

Таблица – Способы восстановления деталей типа "вал"

Деталь	Способ восстановления
Коленчатый вал (шейки)	Автоматическая наплавка под слоем флюса Автоматическая наплавка порошковой проволокой Наплавка в углекислом газе Широкослойная наплавка Вибродуговая наплавка Электроконтактная приварка металлической ленты Плазменное напыление Электродуговое напыление Газопламенное напыление Газопламенное напыление шнуровыми материалами
Распределительный вал (шейки)	Вибродуговая наплавка Наплавка в углекислом газе Автоматическая наплавка под слоем флюса Газопламенное напыление Электродуговое напыление

При назначении способа восстановления и вала упрочняющими износостойкими покрытиями учитывают его материал, форму, размеры, виды повреждений и. учитывать следующие положения:

- во-первых, расплавление основы и покрытия в процессе восстановления нежелательно, так как приводит к изменению химического состава и свойств материалов покрытия и детали, и в результате, определяет необходимость использования ряда технологических мер;

- во-вторых, протекание процессов кристаллизации наплавленного металла в свободных условиях без использования внешнего механического фактора обуславливает образование в покрытии сварочных дефектов;

- в третьих, тепловой режим нанесения покрытий на восстанавливаемые поверхности деталей различных размеров и форм должен обеспечивать благоприятный характер распределения остаточных напряжений. В частности, в покрытии и в зоне соединения его с восстанавливаемой поверхностью желательна образование сжимающих остаточных напряжений, которые повышают сопротивление усталости;

- в четвертых, длительность процесса нанесения покрытий должна быть минимальной, чтобы его структура не претерпевала нежелательных изменений [1-4].

Электродуговое напыление (ЭДН) применяется для восстановления изношенных посадочных мест чугуновых, высокоуглеродистых и высоколегированных стальных деталей

типа "вал". Преимущество ЭДН перед наплавкой: продолжительность наплавки 1 ч 10 мин, расход проволоки 1,3 кг, продолжительность ЭДН — 24 мин, расход проволоки — 0,95 кг. ЭДН - один из наиболее экономичных методов распыления стальных проволоочных материалов и характеризуется следующие преимуществами: получением покрытий толщиной от 0,1 до 10 миллиметров; отсутствием значительного термического влияния на деталь; технологической гибкостью; низкой себестоимостью восстановления (в 1,4-1,8 раза ниже наплавки). Оборудование, на котором производят напыление, является сравнительно простым, легким и его можно достаточно быстро перемещать. Габариты деталей не лимитируют применение ЭДН. При реализации ЭДН твёрдость покрытий составляет 35-40 HRC, прочность сцепления не превышает 80 МПа, пористость составляет 10-20% [1-4].

Таким образом, в работе решалась одна из актуальных задач повышения ресурса наиболее ответственных деталей двигателей – валов за счет создания на их рабочих поверхностях износостойких покрытий методом ЭДН.

Цель проведенных исследований – создание способа формирования износостойких покрытий методом электродугового напыления (ЭДН) и установление влияния его технологических режимов на свойства покрытий, для повышения эксплуатационных свойств (износостойкости) и срока службы валов двигателей. Общая схема исследований состояла из следующих этапов:

1) анализ условий эксплуатации деталей типа "вал" двигателей, установление их основных дефектов и способов их устранения. Выбор способа восстановления и его характеристика;

2) исследование свойств восстановленных поверхностей валов с покрытиями: пористости, адгезионной и когезионной прочности системы покрытие-деталь, выносливости, микротвердости и износостойкости,

3) оптимизация режима ЭДН покрытий и разработка технологического процесса восстановления вала и практических рекомендаций

Технологический процесс (ТП) нанесения покрытий на изношенные шейки распределительных валов двигателей состоит из следующих операций: мойки, дефектации, механической обработки (с целью снятия дефектного слоя), дробеструйной обработки перед ЭДН (для повышения шероховатости восстанавливаемой поверхности и прочности сцепления покрытия), ЭДН проволоки 40X13 (рис. 2), чистовой механической обработки (шлифование) и контроля.



Рисунок 2 – Процесс нанесения покрытий на распредвал методом ЭДН

Процесс электродугового напыления покрытий на шейки распредвала представлен на рис. 2, а сам распредвала восстановленный распредвал вал с покрытием и после механической обработки представлен на рис. 3.



а



б

Рисунок 3 – Распредвал 14-04-20-1 двигателя Д-160.111-1 с покрытием и после обработки

**Выводы.** В работе решена актуальная научно-техническая задача, связанная с повышением срока службы системы "покрытие-восстанавливаемая поверхность" на примере валов ДВС, что раскрывает целостные представления о закономерностях и связях структурно-фазового состава, режимов нагрева и механических свойств, который в отличие от существующих ТП основывается на технологии восстановления и базируется на теоретическом и экспериментальном обосновании возможности применения для решения этой проблемы ЭДН, что отобразено в таких результатах:

- предложено на основании анализа литературных источников и патентно-информационных исследований повышать износостойкость и срок службы валов ДВС путем восстановления их рабочих поверхностей способом ЭДН покрытий;

- выбрано оборудование и материалы для экспериментальных исследований. Для ЭДН использовалась установка АДН-10 (ГНУ "Объединенный институт машиностроения" НАН Беларуси, г. Минск). В качестве исследуемых материалов использовали проволоку 40X13;

- разработаны математические модели, описывающие взаимосвязь технологических параметров процесса нанесения покрытий с их свойствами и определены оптимальные параметры процесса, обеспечивающие необходимые свойства покрытий. Установлено, что прочность сцепления покрытий составила 100...150 МПа, а пористость 51...10 %.

- принято решение исследовать механические свойства системы "восстановленная поверхность-покрытие" (когезионную и адгезионную прочность, деформативность, уровень напряжения в покрытии и зоне адгезионного контакта, вид разрушения системы) на одном образце за одно испытание с помощью экспериментально-расчетной методики;

- предложено определять оптимальное соотношение адгезионной и когезионной прочности – с помощью критерия адгезионно-когезионной равнопрочности, который позволит управлять качеством получаемого покрытия и соединения его с восстанавливаемой поверхностью, заключающиеся в получении необходимой структуры в зоне их соединения с помощью контроля величины деформации, технологических параметров процесса и т.п.;

- на основании теоретических и экспериментальных исследований разработана технология восстановления валов, которая заключается в ЭДН проволоки 40X13. Разработан ТП восстановления валов, который состоит из следующих операций: мойка, дефектация, механическая обработка (МО) с целью снятия дефектного слоя, струйно-абразивная обработка (САО) перед ЭДН для повышения шероховатости восстанавливаемой поверхности и прочности сцепления покрытия, ЭДН покрытий, чистовое шлифование и контроль шеек вала с напыленным покрытием.

- проведенные лабораторные и стендовые испытания валов показали, что износостойкость поверхностей, восстановленных с помощью технологии ЭДН в 2,5-5 раза выше, чем поверхностей, восстановленных газопламенным напылением (ГПН) и в 1,5-1,7 раза - по сравнению с новыми валами. Срок службы восстановленных валов увеличился в 2...2,5 раза по сравнению с новыми деталями и деталями, восстановленными ГПН.

## Список литературы

1. Ильющенко А.Ф. Формирование газотермических покрытий: теория и практика. [Текст] / А.Ф. Ильющенко, В.А. Оковитый, С.П. Кундас, Б. Форманек - Мн.: 2002. – 245 с.
2. Бороненков В. Н. Основы дуговой металлизации. Физико-химические закономерности. [Текст] / В. Н. Бороненков, Ю. С. Коробов – Екатеринбург, УрГУ, Унив. изд-во; 2012, - 267 с.
3. П.А. Витязь, М.А. Белоцерковский, В.А. Кукареко, Д.М. Калиновский, П.Г. Сухоцкий, Ж.Г. Ковалевская. Структура и свойства покрытий из стали 40Х13, полученных с использованием различных методов газотермического напыления. Физическая мезомеханика, 2002, т.5, № 1. - С. 15-22.
4. М.А. Белоцерковский, А.С. Прядко, А.Е. Черепко Технологические особенности и области использования гиперзвуковой металлизации. Инновации в машиностроении: Сборник научн. трудов. (Минск, 30-31 октября 2008 г.). Минск, ОИМ НАН Беларуси. 2008 - С. 479-484.

## **ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ВТУЛОК ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА**

**Ю.В. Кулешков**, *д-р. техн. наук, проф.*,

**М.В. Красота**, *канд. техн. наук, доц.*,

**Т.В. Руденко**, *канд. техн. наук, доц.*,

**В.С. Бригінець**, *студ.*,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Шестеренні насоси знайшли доволі широке розповсюдження в гідроприводах в машинах самого різноманітного призначення.

Одними з найбільш навантажених деталей шестеренного насоса є втулки, які виконують декілька важливих функцій, що забезпечують працездатність насоса. Втулки виконують функцію підшипників ковзання і орієнтують положення шестерень відносно інших деталей насоса, а також ущільнюють торці шестерень, чим забезпечують герметичність камери високого тиску насоса в осьовому напрямі.

Аналізуючи існуючі методи відновлення втулок насоса можна прийти до висновку, що найбільш оптимальним є метод пластичного деформування. Цей спосіб відновлення опорних втулок ґрунтується на перерозподілу металу з ненавантажених поверхонь на зношені. Йому притаманні наступні переваги. Зміцнення деталей під час пластичного деформування забезпечується можливістю корекції макроструктури матеріалу, зокрема шляхом подрібнення зерна та заліковування мікротріщин. Він дозволяє відновити втулку насосу не використовуючи додатковий метал, поліпшити механічні властивості найбільш навантажених поверхонь та достатньо простий у виконанні.

Але втулки відновлені пластичним деформуванням, незважаючи на те, що вони виготовляються з антифрикційного алюмінієвого сплаву, володіють недостатньою зносостійкістю, що негативно позначається на їх ресурсі.

Реальний шлях підвищення довговічності з'єднань гідравлічних систем - отримання на поверхні взаємодіючих деталей зміцнюючих покриттів із заданими фізико механічними властивостями. Отримувані покриття повинні добре чинити опір абразивному зношуванню. У роботах ряду авторів встановлено, що для максимального зниження інтенсивності корозійного механічного і абразивного зношування поверхню деталей повинна бути хімічно інертна до компонентів середовища і володіти мікротвердістю не нижче 17 ГПа. У цьому випадку вплив абразивних частинок на поверхню набуває характеру пружного відтискування, а не різання [1].

Одним з найбільш перспективних напрямків, в області отримання покриттів із заданими фізичними, хімічними і механічними властивостями, є спосіб "хімічного парофазного осадження" металів (Chemical Vapor Deposition). Цей метод дає можливість отримувати широкий спектр різних за хімічним складом, структурою та властивостями нано, мікро і макро покриттів. При цьому твердість отриманих покриттів може сягати значень, що суттєво перевищують 17 ГПа

Спосіб полягає в тому, що вихідна сполука, яка була в рідкому або твердому стані, перетворюється в газоподібний шляхом випаровування або сублімації. Отримана газова суміш подається в реакційну камеру і при контактуванні з підкладкою осідає на її поверхні, нагрітої до температури розкладання використовуваного з'єднання.

Осадження покриттів може проводитися як у вакуумі, так і в середовищі транспортують газів. Особливістю CVD-методу термічного розкладання металоорганічних сполук (МОС) є механізм утворення покриттів. При цьому поверхня, що металізується знаходиться в оточенні газової суміші, що включає в себе пари металоорганічних сполук, молекули яких постійно перемішуються в усіх напрямках в



об'ємі реакційної камери, що дозволяє їм наблизитися і вступати в контакт з усіма частинами і ділянками підкладки, що мають температуру, необхідну для розкладання даної сполуки [2].

Одним з перспективних методів підвищення довговічності підшипників є створення антифрикційних зносостійких композиційних покриттів.

В процесі досліджень отримані нікелеві та мідно-нікелеві покриття на штучних неорганічних волокнах, які в подальшому використовували при створенні композиційних матеріалів, що застосовуються в технологіях відновлення і виготовлення деталей машин, що експлуатуються в умовах дії агресивного середовища та абразивного і гідро абразивного зношування [3].

Область раціонального застосування полімерів значно розширюється при їх армуванні вуглецевими наноматеріалами і металевими наноплівками, нанесеними на порошкові носії, які, граючи роль наповнювача, оптимізують зносостійкість, міцність і теплостійкість полімерного нанокompозиту. Зменшення елементів наповнювача до нанорозміру сприяє збільшенню їх питомої поверхні і створення міцного зв'язку в зоні міжфазної взаємодії компонентів матеріалу за рахунок зростання здатності до адсорбції, іонного і атомному обміну, контактним взаємозв'язкам [3].

В даний час хімічне газофазне осадження карбонільних МОС використовується як універсальний спосіб отримання функціональних них плівок і покриттів, ниткоподібних кристалів, трубчастих структур і волокон, порошкових частинок в ході їх термічної дисоціації:

Зазначені матеріали використані в якості наповнювачів полімерів при створенні зносостійких композитів, які доцільно використовувати при відновленні деталей і складальних одиниць, що працюють в контакті з корозійно активними і абразивними середовищами.

Розроблені композити на основі поліаміду-66 з 20...40%-ним вмістом по масі металізованих частинок зносостійкого наповнювача мають значну твердість не менше до 14,4 ГПа. Це забезпечує надійну роботу трібосопряжень в жорстких умовах експлуатації і дозволяє збільшити ресурс складальних одиниць в 2...2,5 раз [4].

Перспективний напрямок модифікації штучних неорганічних волокон застосування CVD-методу  $Ni(C_5H_5)$ , окремо і в комплексі з  $Cu(C_5H_7O_2)_2$ .

Реакції термічного розкладання циклопентадієнільних і ацетілацетонатних сполук металів в CVD-процесі призводять до створення активного атомного фону і утворення зародків нової фази, що супроводжується спонтанним термодинамічно вигідним розташуванням речовини. При цьому можливе отримання плівок металу товщиною 50...100 нм. Подальше збільшення розмірів металевого шару призводить до розтріскування і розшарування покриття, що викликано дестабілізацією системи в зв'язку з ростом напруг в зоні міжфазних кордонів підкладка металева плівка [5].

Реалізацію технологічного процесу спільного розкладання циклопентадієнілу нікелю і ацетілацетонату міді здійснювали за такою схемою: подача пари  $Ni(C_5H_5)_2$  в реакційну камеру, їх розкладання при температурі 450°C, осадження адгезійного підшару нікелю на поверхні волокна зі швидкістю 0,1 мкм / год. Потім температура в реакторі знижувалася до 400°C, і в систему паралельно з  $Ni(C_5H_5)$ , надходив  $Cu(C_5H_7O_2)_2$  в результаті чого формувалося комплексна мідно-нікелеве покриття (швидкість осадження 0,2 мкм / год). На останньому етапі подача пари  $Ni(C_5H_5)$ , блокувалася, температура процесу встановлювалася рівною 350°C. наносився шар міді (швидкість осадження 0,15 мкм / год) [5].

Модифіковані CVD-методом МОС скляні та вуглецеві волокна доцільно застосовувати для створення різних композиційних матеріалів, в тому числі на основі термопластів, так як металізацією крім підвищення їх стійкості до стирання, вигину і міцності при розтягуванні волокна досягається збільшення теплопровідності композиційного матеріалу в порівнянні з вихідним полімером в 8...10 разів. Це пояснюється кореляцією ознак матриці і наповнювача в композиті і пов'язане з високим значенням коефіцієнта

теплопровідності нікелю і міді. Оптимізацією теплофізичних властивостей вугле- і склопластиків усувається основний обмежувальний фактор, що перешкоджає широкому застосуванню композиційних матеріалів з поліамідної матрицею для виготовлення деталей і їх відновлення.

Структура композиційного матеріалу на основі поліаміду-6.6, армованого короткими випадково орієнтованими скляними волокнами в нікелевої плівці (25 об.%), зображена на рисунку.

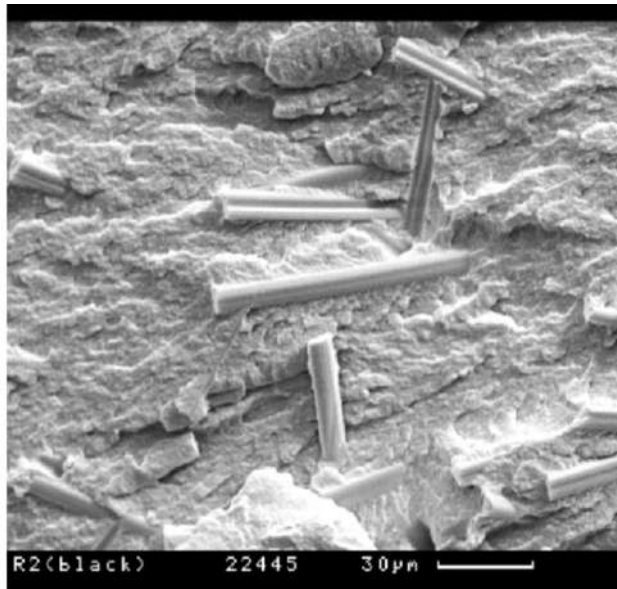


Рисунок – Структура модифікованого CVD-методом склопластику на основі поліаміду-6.6 [5]

Модифіковані склопластики, розроблені з використанням запропонованих технологічних рекомендацій, доцільно застосовувати при відновленні і виготовленні деталей трибоз'єднань, що контактують з абразивними матеріалами.

Досліджено застосування термопластів, наповнених металізованими мідно-нікелевим комплексом металорганічних сполучення вуглецевими волокнами (30 об.%). Для деталей, що працюють в умовах впливу абразивних матеріалів.

Встановлено, що при модифікації елементів наповнювача плівкою нікелю і міді досягається оптимальне поєднання ступеню змочування скляних і вуглецевих волокон в поліамідної матриці і одночасного зниження реакційної здатності їх поверхневих утворень. Це підвищує експлуатаційні характеристики композиції і зумовлює ефективність застосування даних матеріалів для збільшення ресурсу деталей і складальних одиниць гідросистем, що працюють в умовах абразивного і гідро абразивного зношування [5].

### **Висновки**

1. Відновлення втулок способом пластичного деформування дозволяє миттєво створити припуски під наступну механічну обробку під номінальний розмір всіх зношених поверхонь втулок. Але зносостійкість робочих поверхонь втулок відновлених способом пластичного деформування недостатня, зокрема щоб протистояти абразивному і гідро абразивному зношуванню.

2. Спосіб CVD-методу термічного розкладання МОС дає можливість отримувати широкий спектр різних за хімічним складом, структурою та властивостями покриттів. При цьому твердість отриманих покриттів може сягати значень, що суттєво перевищують 17 ГПа, а це дає змогу робочим поверхням втулок протистояти навіть абразивному зношуванню.

3. Композиційні матеріали, модифіковані CVD-методом, в залежності від типу і об'ємного вмісту армуючих волокон дають змогу підвищити ресурс трибосопряжень в жорстких умовах експлуатації абразивного і гідро абразивного зношування в 2...2,5 раз [4].

## Список літератури

1. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. М.: Наука, 1970. 252 с.
2. М.Н. Ерохин, Н.Н. Чупятов Применение химического параофазного осаждения для повышения износостойкости прецизионных деталей гидравлических систем машин и оборудования в животноводстве // Вестник ВНИИМЖ №4(12)-2013 с. 61- 64.
3. Козырева, Л.В. Получение металлических наноразмерных покрытий на волокнистых материалах [Текст] / Л.В. Козырева. // Труды Международной научно-практич. конференции "Нанотехнологии – производству - 2008". Москва: Концерн "Наноиндустрия". - 2009. - С. 158 – 161.
4. Козырева, Л.В. Ресурсосберегающие нанотехнологии на предприятиях технического сервиса: монография / Л.В. Козырева. — Тверь: ТГТУ, 2010. — 188 с.
5. Козырева Л.В., Применение CVD-метода металлоорганических соединений в технологиях изготовления и восстановления деталей подъемно - транспортирующих машин. [Текст] / Л.В. Козырева. // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ № 1 - 2008 с. 104 -108.

## 6. ЕКСПЛУАТАЦІЙНА НАДІЙНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТА ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ

УДК.629.083

### ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЯКІСНОГО І КІЛЬКІСНОГО ПРИРОСТУ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

В.В. Аулін, д-р. техн. наук, проф.,

А.В. Гриньків, канд. техн. наук,

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Підвищення експлуатаційної надійності є важливим науково-технічним завданням, тому дослідні системи необхідно розглядати з умов значимості кожного її елементу. Значимість елемента дає можливість досліднику вибрати ті елементи підвищення надійності яких на величину  $\Delta P_i$  забезпечує приріст надійності всієї системи [1-2]. В залежності від значимості  $i$ -го елементу, що характеризується частинною похідною від ймовірності безвідмовної роботи систем та агрегатів за ймовірності безвідмовної роботи:

$$\Delta P_c = \xi_i \Delta P_i. \quad (1)$$

Досягнення необхідної величини надійності реалізується двома шляхами: підвищувати якість елементної бази (кращі матеріали, технології виготовлення, нові конструкції і т. д.) або вводити структурну надмірність за допомогою резервування. В тому і іншому випадку отримують якісний  $\Delta P_c^{як}$  і кількісний  $\Delta P_c^{квл}$  прирости.

В ідеальному випадку, при високій надійності елементів, мінімально необхідної є структура у вигляді послідовного ланцюжка елементів. Це обумовлює найкоротший шлях успішного функціонування. За нульовий рівень і початок відліку якісного збільшення надійності доцільно прийняти структуру одного найкоротшого шляху успішного функціонування при рівнонадійних елементах з  $P_i = 0.5$ . При цьому значущість елементів подається через їх вагові коефіцієнти:

$$\xi_i = g_i = 2^{-m+1}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

а ймовірність безвідмовної роботи системи чисельно дорівнює вазі логічної функції працездатності системи:

$$P_c = g_{y(x_m)} = 2^{-m}. \quad (3)$$

Реальні елементи перевершують по безвідмовності величину  $P_i = 0.5$ . Якісний приріст системи від будь-якого елемента [3-6] легко розрахувати за формулою (1), з урахуванням формули (2). Збільшення надійності системи від всіх елементів можна розрахувати за формулою:

$$\Delta P_c^{як} = 2^{-m+1} \sum_{i \in C_m^1} \Delta P_i + 2^{-m+2} \sum_{i, j \in C_m^2} \Delta P_i \Delta P_j + \dots + 2^{-m+k} \sum_{i, j, \dots, k \in C_m^k} \Delta P_i \Delta P_j \dots \Delta P_k + \Delta P_1 \Delta P_2 \dots \Delta P_m, \quad (4)$$

де  $\Delta P_i = P_i - 0.5$  - приріст надійності  $i$ -го елемента в порівнянні з початковою величиною 0,5;  $C_m^k$  - число сполучень елементів із  $m$  по  $k$ , тобто підсумування проводиться по всіх наборах елементів з вказаними індексами  $i, j, \dots, k$ . У випадку однакової надійності всіх елементів системи, вираз (4) набирає вигляд:

$$\Delta P_c^{як} = \sum_{i=1}^m c_m^i 2^{-m+1} (\Delta P)^i \quad (5)$$

За нульовий рівень якісного підвищення надійності електронних систем можна прийняти рівень досягнутий до початку дослідного часу. Очікуване підвищення надійності всієї системи за рахунок підвищення якості всіх її елементів можна підрахувати за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta P_c^{як} = & \sum_{i \in C_m^1} \frac{\partial P_c}{\partial P_i} \Delta P_i + \sum_{i, j \in C_m^2} \frac{\partial P_c}{\partial P_i \partial P_j} \Delta P_i \Delta P_j + \\ & + \sum_{i, j, \dots, k \in C_m^k} \frac{\partial P_c}{\partial P_i \partial P_j \dots \partial P_k} \Delta P_i \Delta P_j \dots \Delta P_k + \\ & + \Delta P_1 \Delta P_2 \Delta P_3 \dots \Delta P_m \end{aligned} \quad (6)$$

Якщо якийсь блок електронної системи складається з однакових елементів, то маємо:

$$\Delta P_c^{як} = \sum_{j=1}^m c_m^j \frac{\partial^j P_c}{\partial P_i \dots \partial P_k} (\Delta P)^j; \quad (7)$$

$$i, \dots, k \in C_m^j.$$

Зазначимо, що у виразах (6) і (7) використовуються змішані частинні похідні, які визначаються за правилами звичайного диференціювання і відображають спільний вплив відповідних елементів на надійність всієї електронної системи.

При дублюванні  $i$ -го елемента системи однотипним елементом надійність ланки зростає на величину:

$$\Delta P_{\lambda} = P_i^{дубл} - P_i = 2P_i - P_i^2 - P_i = P_i Q_i, \quad (8)$$

а вся система отримає кількісне збільшення надійності:

$$\Delta P_c^{кл} = \xi_i \Delta P_{\lambda} = \xi_i P_i Q_i \quad (9)$$

Формула (8) вказує, що кількісне збільшення залежить не тільки від значущості, а й від величини надійності самого дубльованого елемента. Залежність підвищення надійності ланки  $\Delta P_{\lambda}$  (9) від приросту надійності дубльованого елемента  $P_{in}$  приведена на рис. 1 і показує, що найбільший ефект резервування буде при  $P_i = Q_i = 0.5$ . Ухвалення нульового рівня з надійністю елементів  $P_i = 0.5$  зручно забезпечує однозначність кривої (9), оскільки використовується тільки права гілка параболи на ділянці  $0.5 \leq P_i \leq 1.0$ .

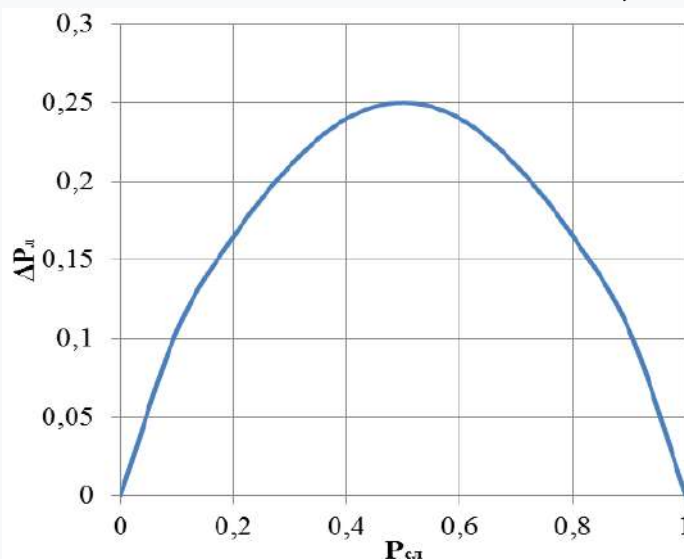


Рисунок 1 – Залежність підвищення надійності ланки системи від приросту надійності дубльованого елемента

У загальному випадку при дублюванні відразу декількох елементів, аж до максимально можливого їх числа отримаємо кількісне збільшення надійності всієї системи на величину:

$$\Delta P_c^{kil} = \sum_{i \in C_{m^1}} P_i Q_i \frac{\partial P_c}{\partial P_i} + \sum_{i,j \in C_{m^2}} P_i P_j Q_i Q_j \frac{\partial^2 P_c}{\partial P_i \partial P_j} + \dots +$$

$$+ \sum_{i,j,\dots,k \in C_{m^k}} P_i P_j \dots P_k Q_i Q_j \dots Q_k \frac{\partial^k P_c}{\partial P_i \partial P_j \dots \partial P_k} + P_1 P_2 \dots P_m Q_1 Q_2 \dots Q_m \quad (10)$$

Введення понять якісного і кількісного компонент дає можливість уявити надійність всієї системи у вигляді суми початкової надійності і складових її якісного і кількісного збільшень [7-10]. Таке розбиття дає можливість сформулювати відповідні заходи підвищення експлуатаційної надійності.

### Список літератури

19. 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. Випуск 158. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. Харків. 2015. С.252-262.
20. Гриньків А.В. Використання методів прогнозування в керуванні технічним станом агрегатів та систем транспортних засобів. Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосп. виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. 2016. №29. С. 25-32.
21. Аулін В.В., Гриньків А.В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки. 2016. №2 (77). С.36-41.
22. Аулін В.В., Гриньків А.В., Замота Т.М. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі використання методів теорії чутливості. Вісник інж. академії України. 2015. №3. С. 66-72.
23. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лукашук А.П., Чернай А.С. Формування діагностичної бази даних трансмісії транспортних машин за критерієм статистичної інформативності. 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. 308-311.
24. Аулін В.В., Гриньків А.В. Реалізація удосконалення стратегії технічної експлуатації засобів транспорту та її техніко-економічна оцінка. Актуальні задачі сучасних технологій. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, (Тернопіль, 16–17 листопада 2017 р.). Том III. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. С.12-13.
25. Аулин В.В., Гриньков А.В. Связь информационной энтропии с показателями надежности агрегатов и транспортных средств. Материалы X междунаучно-техн. конф. "Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта, ПГУАС. г. Пенза. 2015. С.39-44.
26. Аулін В.В., Гриньків А.В., Черновол М.І. Узгодження зміни технічного стану з раціональним вибором об'єкту діагностування. Вісник інж. академії України. 2015. №2. С. 182-188.
27. Аулін В.В., Гриньків А.В. Проблеми підвищення експлуатаційної надійності та можливості удосконалення стратегій технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 28. Кіровоград: КНТУ, 2015. С 126-131.
28. Аулин В.В., Гриньков А.В. Использование теоретико-информационного подхода для анализа технического состояния топливной системы автомобиля. "MOTROL" journal according of the Commission of Motorization and Energetic in Agriculture, CULS. 2016. Vol.18. №2. p.63-69.

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ШЕСТИЦИЛІНДРОВОГО ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

**Г. Кухаренко**, *д-р. техн. наук, проф.*,

**Д. Капський**, *д-р. техн. наук, доц.*,

*Білоруський національний технічний університет, м. Мінськ, Білорусь*

**М. Клессо**, *голов. конструктор,*

**А. Предко**, *ст.н.с.,*

**Д. Телюк**, *ст.н.с.,*

*ВАТ "Керуюча компанія холдингу "Мінський моторний завод""*, м. Мінськ, Білорусь

**Ю. Вовк**, *канд. техн. наук, доц.*,

**О. Ляшук**, *д-р. техн. наук, проф.*,

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

Дизельне двигунобудування - один з основних напрямків машинобудування, що розвиваються в Республіці Білорусь. Мінський моторний завод є найстарішим підприємством в країні, яке випускає багатоцільові дизельні двигуни в широкому діапазоні потужності (рис. 1) на протязі вже 56 років. Стратегія розвитку підприємства, що реалізується в рамках заводських і державних науково-технічних програм, націлена на випуск конкурентоспроможної продукції, яка відповідає сучасним технічним вимогам міжнародних стандартів і якості [1].

Найбільшим попитом в даний час користуються дві модифікації шестициліндрових тракторних дизелів Д-260.1S3А потужністю 116 кВт і Д-260.4S3А потужністю 156 кВт.

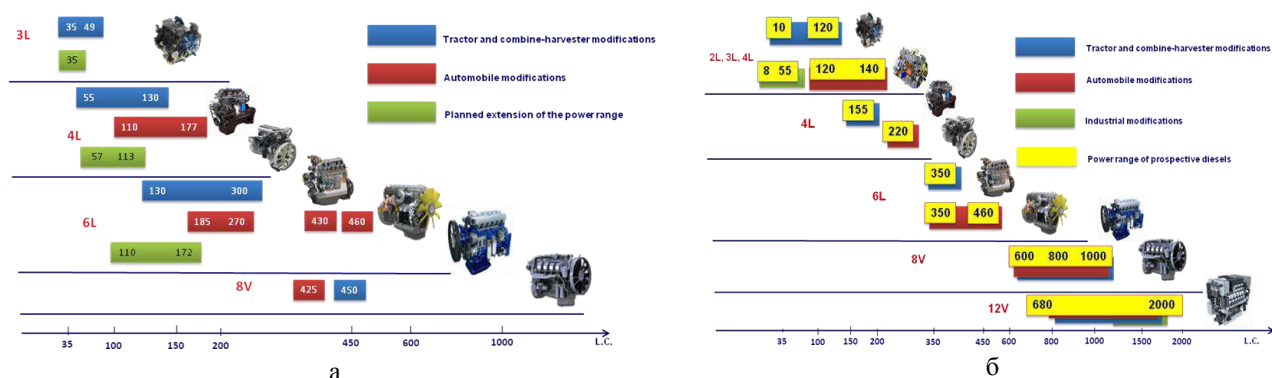


Рисунок 1 - Діапазон потужності двигунів виробництва ММЗ а) серійні двигуни; б) перспективні

На двигунах Д-260 використовуються головки циліндрів з двома клапанами на циліндр, що має забезпечувати простоту конструкції і обслуговування механізму газорозподілу. Кілька підвищений опір каналів газообміну в деякій мірі компенсується наддувом двигуна. Впускні канали є двофункціональними - гвинтовими. При профілюванні каналів правильність прийнятих конструктивних рішень перевіряється методом 3D-моделювання течії газу (рис. 2) з визначенням витрати повітря і середньої кутової швидкості повітряного заряду при заданих перепадах тиску. Математична модель течії в'язкої теплопровідної рідини заснована на системі рівнянь Нав'є - Стокса, що об'єднує закони збереження маси, імпульсу і енергії текучого середовища в нестационарній постановки [2-6].

Для контролю параметрів впускних каналів відлитих головок використовується безмоторний продувочний стенд зі спрямляючою решіткою [7]. Зазвичай дані віртуальних і натурних продувок розрізняються не більше ніж на 5%. Для двигунів Д-260 розроблені конструкції головок, що забезпечують генерацію повітряного вихору на впуску з вихровим відношенням 3 - 4 і 3,5 - 4,5.



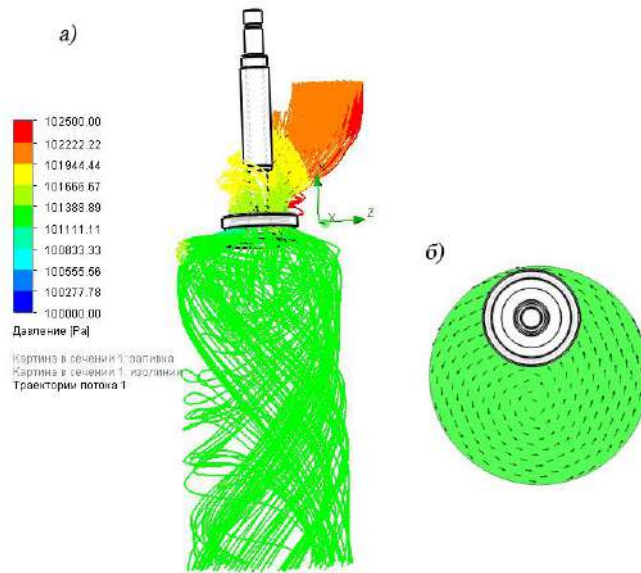


Рисунок 2 – Результати віртуальної продувки впускного каналу

Головки з меншим вихровим ставленням застосовуються на двигунах, оснащених акумуляторними паливними системами з високою інтенсивністю впорскування і відкритими камерами згоряння (рис. 3.а) [8-9]. Великі вихрові відносини використовуються для двигунів з паливною апаратурою безпосереднього дії і напіввідкритою камерою згоряння (рис. 3.б) [10].

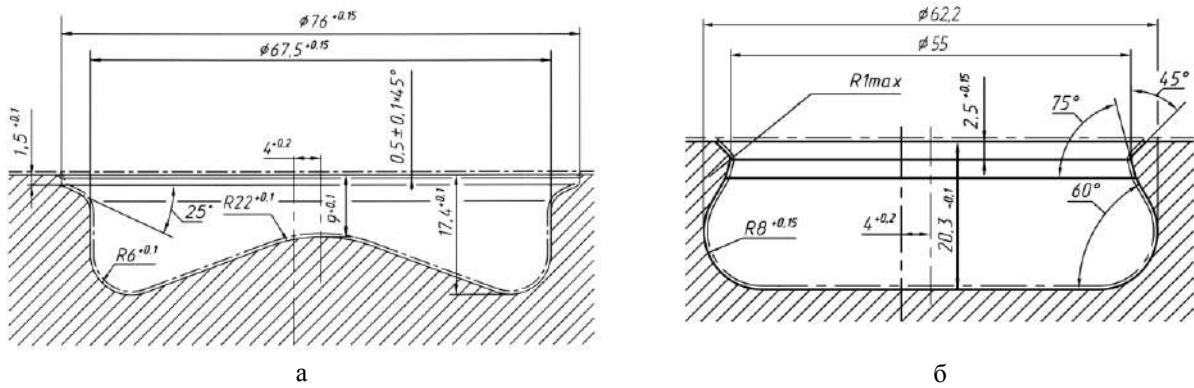
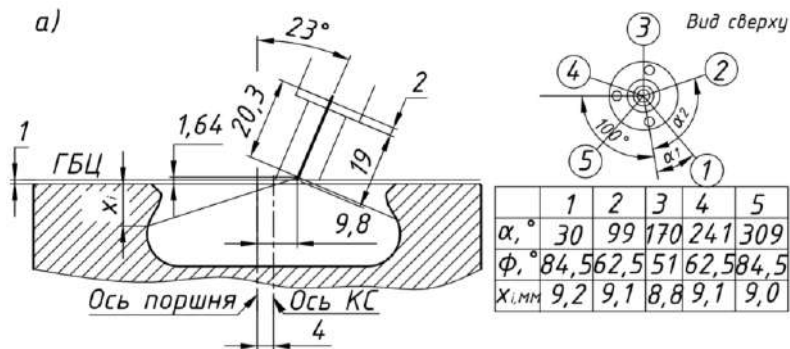


Рисунок 3 – Камери згоряння: а – відкрита камера згоряння; б – напіввідкрита камера згоряння

Узгодження форми камери згоряння і розташування паливних факелів здійснювалося з використанням 3D моделей [9]. Місця зустрічі осей паливних струменів зі стенками камери згоряння показані на рис. 4.





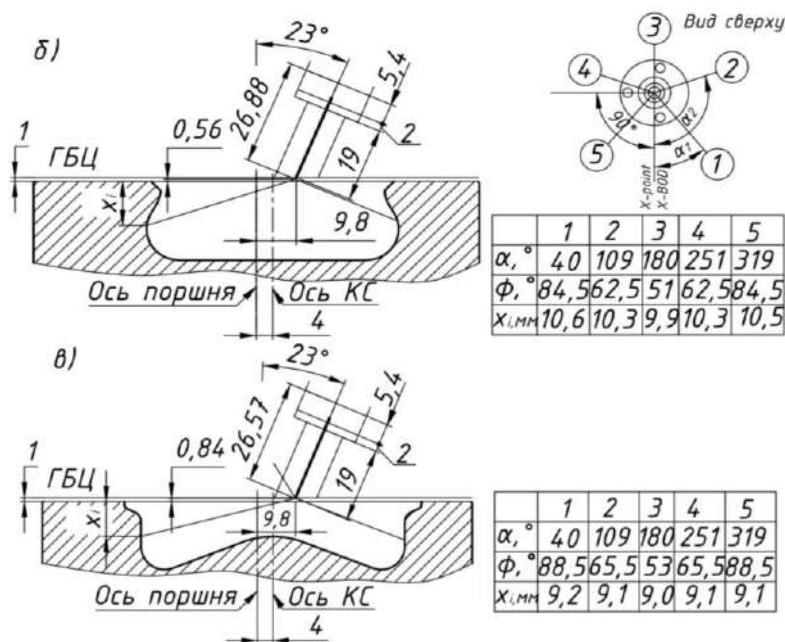


Рисунок 4 – Визначення точок перетину осей паливних факелів зі стінкою камери згоряння: а – розпилювач АЗПИ 172.1112110-12.01; б – Motorpal DOP140P528; в – Motorpal DOP147P528

Розроблено заходи щодо організації робочого процесу шестициліндрових тракторних дизелів екологічного рівня Stage 3A з рециркуляцією відпрацьованих газів по контуру високого тиску.

### Список літератури

1. Севиздрал, С. П. Состояние вопроса и перспективы развития двигателестроения в Республике Беларусь / С. П. Севиздрал, В. И. Березун // Журнал ассоциации автомобильных инженеров. – 2013. – № 6 (83). – С. 6–7.
2. Кухаренко, Г. М. Математическая модель вращения воздушного заряда в цилиндре дизеля / Г. М. Кухаренко, А. В. Предко // Вестник БНТУ. – 2002. – №4. – С. 50–54.
3. Предко, А. В. Моделирование течения во впускном канале ДВС / А. В. Предко // Наука - образованию, производству, экономике Материалы Четвертой МНТК В 2 томах Том 1. – Минск : БНТУ, 2006 – С. 262-265
4. Кухаренко, Г. М. Определеение показателей впускных каналов с использованием виртуального стенда продувки / Г. М. Кухаренко, А. В. Предко, К. Н. Юрчук // Вместе к эффективному движению! Сборник научных статей Международной научно-практической конференции. - Минск : БНТУ, 2008. – С. 262-265
5. Алямовский, А. А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одинцов, А. И. Харитонович, Н. Б. Понмарев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
6. Дейч, М. Е. Техническая газодинамика / М. Е. Дейч. – Москва : Энергия, 1969. – 368 с.
7. Предко, А. В. Методы экспериментального исследования закручивающих впускных каналов / А. В. Предко // Состояние и перспективы развития науки и подготовки инженеров высокой квалификации в БГПА. Материалы международной 51-ой НТК БГПА. – Минск : БГПА, 1995. – С. 78-79.
8. Кухаренко Г. М. Выбор формы камеры сгорания дизельного двигателя / Г. М. Кухаренко, А. Н. Петрученко, В. И. Березун // Вісник СевНТУ. – 2014. – № 1 (152). – С. 65-68.
9. Кухаренко, Г. М. Моделирование характеристик топливных струй и параметров камеры сгорания дизеля / Г. М. Кухаренко, Д. Г. Гершань // Вестник БНТУ. – 2011. – №4. – С. 35–39
10. Кухаренко, Г. М. Выбор формы камеры сгорания дизельного двигателя с низкой интенсивностью впрыска / Г. М. Кухаренко, В. И. Березун // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов. – Минск : БНТУ, 2014. – С. 180–184.

## **ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ УЩІЛЬНЕНЬ ГОЛОВОК БЛОКІВ ЦИЛІНДРІВ ДВИГУНІВ**

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

**З.В. Ружи́ло**, канд. техн. наук, доц.,

**Д.О. Сивого́рло**, студ.,

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

Ущільнювальні системи головки блоку циліндрів відіграють важливу роль в забезпеченні ефективної, безпечної та економічної роботи двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) [1, 2]. Як елемент передачі зусиль між блоком циліндрів (БЦ) і головкою блоку циліндрів (ГБЦ) прокладка суттєво впливає на розподіл сил, а отже, на еластичну деформацію безпосередньо корпусних деталей. Сучасні прокладки ДВЗ виконують цілий ряд функцій: забезпечують надійне ущільнення різних середовищ (оливи, охолоджуючої рідини, палива, відпрацьованих газів) між собою і компонентами двигуна; гарантують достатньо контактне напруження на всіх робочих режимах роботи. Досвід проведення ремонтних робіт показує, що вартість прокладки ГБЦ мала у порівнянні з оплатою робіт при ремонті ДВЗ, зняттям і встановленням ущільнень. Разом з тим, несвоєчасна заміна пошкодженої прокладки може призвести до втрати працездатності багатьох деталей ДВЗ.

Розглянемо основні типи та особливості конструкції прокладок ГБЦ. Якщо врахувати, що в ДВЗ встановлюється понад 60 різноманітних видів ущільнень, то матеріал, з якого вони виготовляються, відіграє важливу роль при забезпеченні їх надійності. Багатошарова сталева включає від двох до п'яти, а зазвичай трьох тонких сталевих пластин, прошарованих еластомером. Лицеві поверхні прокладок мають додатково нанесені силіконом окантовки каналів. Суцільні мідні прокладки ГБЦ відрізняються високою надійністю і встановлюються на двигунах спеціальних машин, які можуть експлуатуватись в напружених умовах. Еластомірні прокладки мають сталеву основу, на якій з обох сторін нанесено пластичний матеріал, а газовий стик має сталеві кільця, поверхні яких окантовані силіконовим герметиком. Композитні прокладки ГБЦ представляють собою ущільнення, які сформовані на азбесто-графітовій основі, але виготовляється за "старою" технологією. Абразивний азбест, не дивлячись на значне поширення, сприяє більш швидкому зносу двигуна, і крім того, такий матеріал нестійкий до температурних перепадів і вібрацій.

В останні десятиріччя, все частіше найбільші автомобільні концерни повністю відмовилися від застосування азбестових матеріалів при виготовленні ущільнень. Така прокладка після закінченню часу експлуатації втрачає свої ущільнювальні властивості, а волокна руйнуються. Цей матеріал нестійкий до значних температурних перепадів та до вібрації. Азбест токсичний, а пил практично ніякими засобами не виводиться з легень. Тобто, ущільнення без використання азбесту стають все більш популярними, користуючись загальноновизнаною екологічністю, характеристиками призначення та технологічністю.

Таким чином, довговічність ДВЗ в значній мірі залежить від обґрунтованого вибору ущільнень ГБЦ, якісного виконання монтажних операцій та введення в експлуатацію.

### **Список літератури**

1. Новицький А. В., Ружи́ло З. В., Харьковський І. С., Новицький Ю. А. Особливості конструкції та можливі пошкодження ущільнення головки блока циліндрів. Агроексперт, 2019, №1 (126). С. 78–81.
2. Новицький А. В., Бистрий О. М., Гура М. М., Кудрявський І. О. Інноваційні підходи при виборі ущільнень головок блоків циліндрів ДВЗ від компаній-виробників. Збірник тез доповідей VII-ї Міжн. наук. конф. "Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК" в рамках роботи XXXI Міжн. агропромислової виставки "АГРО 2019" (04-07 червня 2019 року) / НУБіП України. Київ. 2019. С. 60-62.

## **ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ДИЗЕЛЬНИМИ ДВИГУНАМИ**

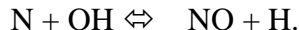
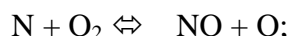
**В.Л. Куликівський**, канд. техн. наук, доц.,  
**О.С. Романовський**, студент,  
*Поліський національний університет, м. Житомир, Україна*

Дизельний двигун характеризується викидами оксидів азоту та шкідливих частинок. Однак, в результаті спалювання палива в дизельних двигунах дизеля утворюються чотири типи забруднення:

- оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ )
- вуглеводні (НС)
- чадний газ (СО)
- частинки.

До оксидів азоту належать дві хімічні речовини – монооксид та діоксид азоту ( $\text{NO}$  і  $\text{NO}_2$ ). Вони сприяють появі кислотних дощів і шкодять здоров'ю людей, своєю дією на слизові оболонки. Основним джерелом цих викидів є окислення азоту з повітря при високих температурах.

Основні реакції такі:



Викиди незгорілих вуглеводнів є результатом неповного згорання, пов'язаного з кількома явищами:

- надмірне збагачення паливної суміші. Це збагачення пояснюється великими краплинами палива, що вводяться зі зниженими швидкостями. Тому їх складніше випаровувати та спалювати.
- горіння біля "стіл". Температура біля стінок значно нижча за температуру горіння, що спричиняє додаткову кількість незгорілих матеріалів.

Оксид вуглецю (СО) утворюється при високих температурах. Однак він майже повністю окислюється під час фази розширення. Викиди СО, як правило, низькі для дизельного двигуна.

Враховуючи суттєву конструктивну різницю в будові дизельних двигунів, викиди також суттєво різняться. Так існує дві категорії дизельних двигунів, які відрізняються способом впорскування, це двигуни непрямого та прямого впорскування.

При прямому впорскуванні інжектор відкривається безпосередньо в циліндр. Основне розмежування відбувається між процесами розсіювання палива у повітрі та розсіювання плівки на стінках.

При непрямому впорскуванні, інжектор відкривається в камеру попереднього спалювання. Такий двигун був розроблений для усунення проблеми шуму від горіння. Через брак повітря в камері згорання кількість викинутої сажі більше, ніж для прямого впорскування.

Сучасними рішеннями впливу на кількість шкідливих викидів дизельних двигунів є:

- рециркуляція газу;
- зміна геометрії турбокомпресора;
- регулювання впорскування.

Викиди  $\text{NO}_x$  збільшуються з температурою спалених газів та концентрацією кисню. Одним з ефективних способів зменшити ці викиди є використання рециркуляції вихлопних газів.

Ця методика полягає у відновленні частини вихлопних газів на виході з циліндрів та у повторній циркуляції їх до впускного колектору за допомогою електромагнітного клапана.

## **ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ ДЕФЕКТОСКОПІЧНОГО КОНТРОЛЮ ВІДПОВІДАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАКТОРІВ ДЛЯ ОЦІНЕННЯ РИЗИКУ ЇХ ПОДАЛЬШОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

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

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

Задачі діагностування технічного стану машин та прогнозування безаварійності їх подальшої експлуатації тісно пов'язані між собою. Щоб обґрунтувати ресурс безпечної експлуатації машин, потрібно опиратися не лише на міцнісні, надійнісні та економічні показники, а й враховувати базові положення концепції ризику. Разом з термінами "міцність", "ресурс", "надійність" розробники техніки, науковці та експлуатаційники мають оцінювати "безпеку", "ризик" та "захист" працівників. І це має стосуватися не лише важливих і критично важливих виробничих об'єктів економіки, а й машин тривалої експлуатації, зокрема й сільськогосподарського призначення. У даній роботі для оцінення показників ризику і безпеки експлуатації машин запропоновано застосовувати результати дослідження ступеню накопичення експлуатаційної дефектності матеріалів та елементів конструкцій, адже зі збільшенням тривалості експлуатації машини ризик настання аварійних ситуацій через накопичення експлуатаційних дефектів зростає.

Згідно з Технічним регламентом безпеки машин (затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 30 січня 2013 р. № 62) у деталях машин потрібно відстежувати відсутність механічних пошкоджень та дефектів, що впливають на безпеку виконання робіт, зокрема безпеку дорожнього руху. Багато у чому справність машини визначають експлуатаційні тріщини (дефекти), які зароджуються і поширюються у відповідальних деталях і елементах конструкцій внаслідок корозійно-силового навантаження.

У роботі було проаналізовано кінетику накопичення експлуатаційних дефектів у масиві деталей окремих вузлів (систем) тракторів після тривалих термінів експлуатації з року їх виготовлення. Як об'єкт дослідження було вибрано трактори МТЗ-80(82), як однієї з найбільш поширених марок в Україні.

Для виявлення тріщин використовували розроблений вихорострумовий дефектоскоп, чутливість якого дозволяла виявляти поверхневі тріщини довжиною кілька міліметрів та більші без очищення і підготовки поверхні контрольованих деталей. Це дало змогу дослідити наявність дефектів у великому масиві з понад 1200 деталей 50 тракторів різних років виготовлення. Дефектоскопічний контроль проводили під час ремонтів тракторів із розбиранням окремих вузлів.

Щоб конкретизувати об'єкти дефектоскопічного контролю та звзвити поле виявлення тріщин, наявні деталі окремих вузлів трактора було виокремлено на кілька категорій: 1) високонапружені деталі з високою ймовірністю зруйнування; 2) деталі, технічних стан яких зумовлено сукупною дією силових чинників з агресивними умовами довкілля; 3) деталі, що зазнають малої пошкоджуваної дії; 4) деталі, в яких пошкодження виявляють лише візуально (дрібні, неметалеві тощо). У рамках запропонованого методичного підходу не було враховано потенційну тріщинонебезпечність та пошкоджуваність третьої і четвертої категорії деталей: кріпильних, гумових, неметалевих тощо.

На використаному в даній роботі дефектоскопі було улаштовано ступеневий перемикач чутливості, щоб під час контролю змінювати мінімальний розмір знайдених тріщин у діапазонах відповідно від 3, 5 і 7 мм довжиною (умовно названих малого, середнього і великого розміру залежно від перерізу деталі у місці контролю). Внаслідок такого підходу було побудовано кінетичні залежності накопичення експлуатаційних

дефектів у деталях вузлів із зростанням тривалості експлуатації тракторів, а також кінетичні залежності інтенсивності зародження малих тріщин у масиві контрольованих деталей.

За даними дефектоскопічного контролю побудовано кінетичні залежності накопичення експлуатаційних дефектів у деталях вузлів тракторів, які до 17 років перебували в експлуатації з часу виготовлення. Отримані кінетичні залежності виявилися монотонно збільшуваними, для їх описання запропоновано скористатися експоненційними функціями з огляду щодо максимальної достовірності апроксимування  $R^2$  лініями тренду. Потрібно зазначити, що експоненціальна залежність характерна для закономірностей монотонного накопичення розсіяного втомного пошкодження у зразках конструкційних матеріалів, представленого параметром Херста ( $H$ ). Це дозволяє використати підходи щодо критеріїв граничного стану лабораторних зразків внаслідок силового навантажування для встановлення граничних термінів експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки.

Разом з тим кінетика інтенсивності зародження експлуатаційних тріщин (умовно названих у роботі малими) у масиві деталей тракторів не є монотонною і характеризується максимумом у діапазоні близько 11-13 років експлуатації. Даний термін експлуатації може бути використаний як критерій для припинення експлуатації трактора, проведення дефектоскопії деталей та заміни дефектних деталей. За такої тривалості експлуатації трактора існує найбільша ймовірність раптового зруйнування вузлів трактора та створення аварійних ситуацій.

Статистичні дані дефектоскопічного контролю можуть бути застосовані у моделях створення небезпечних ситуацій у вигляді структурних схем (дерев), що передбачають виявлення поєднань зв'язків між базовими та проміжними подіями (помилковими діями працівників, набутими в експлуатації дефектами і відмовами техніки, несприятливими зовнішніми впливами виробничого довкілля), що формують головну подію з певним ризиком травмування працівників чи аварій. Як приклад використання логіко-імітаційних моделей у даній роботі було розраховано ймовірності настання травмонебезпечної ситуації внаслідок раптового опускання на працівника навісного знаряддя трактора, в деталях якого можуть виникнути і поширитися експлуатаційні тріщини.

Для аналізу логіко-імітаційної моделі настання травмонебезпечної ситуації та визначення ризику травмування працівників, які перебувають у зоні раптового опускання навісного знаряддя трактора, використано комп'ютерну програму *SAPHIRE*. До ймовірностей базових подій вказаної травмонебезпечної ситуації, що відповідають усередненим статистичним показникам виробничого травматизму в сільському господарстві України, було уведено відносну кількість тріщин у загальному масиві досліджених деталей трактора для двох термінів експлуатації тракторів. Зміни показників виробничого ризику для певного елемента логіко-імітаційної моделі небезпечної ситуації показують, що ризик травмування працівників внаслідок раптового опускання навісного знаряддя трактора збільшується у кілька разів після досягнення критичної щільності експлуатаційних тріщин у деталях навісної системи трактора.

На відміну від методу експертних оцінок та інших якісних методів оцінення професійного ризику розроблений кількісний метод базується на об'єктивних коефіцієнтах, що корелюють зі статистичними показниками виробничого травматизму в галузі та даними щодо накопичення експлуатаційного пошкодження у загальній сукупності деталей трактора.

## ***ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В ПРУЖНІЙ СИСТЕМІ МАШИНИ***

**М.В. Голотюк**, канд. техн. наук, доц.,

**В.О. Дорощук**, ст. викл.,

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

**П. Ружаньскі**, магістр, керівник Відділу Співпраці з промисловістю,

*Вища державна професійна школа у Холмі, Польща*

Під динамічною системою розуміють пружну механічну систему, що має можливість здійснювати коливальний рух. До зазначених механічних систем умовно відносять важільні, кулачкові, зубчасті, фрикційні механізми, механізми з гнучкими ланками, пневматичні і гідравлічні механізми, системи з електричними і електронними зв'язками.

До механічних систем з електричними зв'язками відносять машинні агрегати, в яких виникають перехідні процеси, викликані системою керування електродвигуном або генератором. До механічних систем з електронними зв'язками відносять машинні агрегати, керовані електронними пристроями, причому ці пристрої взаємодіють з механічною частиною агрегатів і впливають на їх роботу. Залежно від складності структури динамічних систем їх характеризують числом ступенів свободи (числом незалежних координат), що дозволяє визначати їх стан в будь-який фіксований момент часу.

У динамічних системах всі або окремі ланки приймаються пружними, тобто деформуються. При цьому деформація таких ланок не перевищує межі пружності. Саме завдяки властивості пружності буде деформована динамічна система намагаться повернутися в положення стійкої рівноваги. Такий процес завжди супроводжується коливальними рухами.

Динамічні системи володіють також властивістю демпфірування коливань. Ця властивість перешкоджає розвитку коливальних процесів внаслідок наявності внутрішнього тертя в кінематичних парах систем і в конструкційних матеріалах, з яких виготовлені їх ланки. При демпфуванні відбувається часткове розсіювання механічної енергії і перетворення її в тепло. Якщо в динамічній системі можна знехтувати демпфіруючими зв'язками і враховувати тільки пружні зв'язки, то її називають консервативною. В такій ідеалізованій системі при коливаннях механічна енергія зберігається незмінною.

Якщо ж у динамічній системі механічна енергія зменшується і в ній за відсутності зовнішнього порушення виникають затухаючі коливання, то її називають дисипативною. У такій системі завжди діє комплекс пружних і демпфіруючих зв'язків.

Залежно від характеру пружних деформацій ланок динамічних систем коливання останніх підрозділяються на поздовжні, поперечні і крутильні.

Динамічні навантаження в системі планувальника постійно змінюються, зростаючи із навантаженням на відвал. Дослідження дають можливість підібрати раціональні параметри елементів пружної системи для зменшення динамічних навантажень.

### **Список літератури**

1. Голотюк М.В. Дослідження процесу викорчовування при роботі за оптимальним ривковим режимом / М.В. Голотюк, Д.А. Паламарчук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини: зб. наук. пр.-Київ: КНУБА, 2016. – Вип. 88. – С. 21-27.
2. Сур'янінов М.Г. Теоретичні основи динаміки машин / Сур'янінов М.Г., Дашенко О.Ф., Білоус П.О. – Одеса: Наука і техніка, 2004. – 292 с.
3. Голотюк М.В. Дослідження конструкцій ходових систем гусеничних тракторів // науковий журнал "Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів". – Харків: ХНТУСГ, 2018. – Вип. 13. – С. 90–97.

## **АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ҐРУНТУ ПІД СІВБУ СОНЯШНИКУ**

**В.М. Мартишко**, канд. техн. наук, доц.,

**П.В. Кухарчук**, студ.,

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

Одна з головних умов одержання високих врожаїв при інтенсивній технології вирощування соняшнику полягає в якісному передпосівному обробітку ґрунту, який виконують паровими культиваторами та комбінованими агрегатами, що забезпечує дрібно грудкувату структуру ґрунту та сприятливі умови для сівби і росту соняшнику.

Для передпосівного обробітку ґрунту використовують різні машини та ґрунтообробні агрегати, переважно використовують комбіновані ґрунтообробні агрегати, які за один прохід виконують декілька операцій: суцільну культивацію, вирівнювання поверхні поля, подрібнення і ущільнення ґрунту, глибоке розпушування ґрунту по ширині і глибині тракторної колії.

Культиватор КПН-8, "Вакула" призначений для передпосівного обробітку ґрунту у всіх ґрунтово-кліматичних зонах, за виключенням районів з кам'янистими ґрунтами на глибину від 5 до 15 см. Робочим органом культиватора є звичайна стрілочаста лапа шириною 270 мм, яка встановлена на жорстко закріпленій стійці, що дає змогу якісно проводити обробіток ґрунту на задану глибину без виглиблення на твердому ґрунті. Недолік культиватора - ущільнення ґрунту при підвищеній вологості.

Культиватор Lemken Kompaktor дає змогу досягти рівномірної глибини і ущільнення ґрунту що є важливим при сівбі ріпаку. За один прохід Kompaktor виконує декілька операцій. Спочатку передній коток вирівнює ґрунт і забезпечує перше подрібнення великих грудок, далі два ряди стрілочастих лап проводять суцільне розпушування, за ними розміщений задній коток, а в кінці причіпний коток який забезпечує ущільнення ґрунту. Після проходження агрегату розпушений ґрунт знаходиться на твердій основі, а його дрібногрудкова структура забезпечує рівномірні сходи рослин. Завдяки тому що попереду й позаду розпушувальних лап встановлені котки ущільнення відбувається не робочими органами, а котками що сприяє якісній підготовці ґрунту під посів.

Особливість культиватора Vector від німецької фірми Kockerling полягає в блоці гідравлічного налаштування глибини за допомогою якого, можна безступінчасто регулювати глибину обробітку без необхідності зупинки трактора. Ще однією перевагою цього культиватора є можливість одночасно з обробітком ґрунту вносити мінеральні добрива.

Найбільш ефективніше і якісніше підготовка ґрунту під сівбу соняшнику перевагу віддають комбінованим агрегатам типу Lemken Kompaktor і Kockerling Vector, які використовуватись не тільки при передпосівному а й при основному обробітку ґрунту.



## **МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ АВТОМОБІЛІВ З ПНЕВМАТИЧНИМ ПРИВОДОМ**

**М.В. Красота**, канд. техн. наук, доц.,  
**С.Ю. Попов**, студ.,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Процес діагностування гальм по елементного на основі переліку характерних несправностей і умов експлуатації. Основними ознаками несправної гальмівної системи, при яких необхідна негайна діагностика гальм, - це [1]:

- збільшення довжини гальмівного шляху;
- сторонній стукіт, пульсація, скрип гальм;
- витік гальмівної рідини;
- провали, заїдання або надмірно вільний хід педалі гальма;
- відведення автомобіля убік, прагнення до занесення при гальмуванні;
- нагрівання гальмівних барабанів;
- нерівномірний знос гальмівних колодок;
- наявність тріщин або розривів на гальмівних шлангах.

Відповідно підбираються діагностичні параметри, визначаються нормативні показники, засоби, технологія й організація процесів діагностування на автотранспортному підприємстві.

Згідно ДСТУ 3649-97 "Засоби транспортні дорожні. Експлуатаційні вимоги безпеки до технічного стану та методи контролю" перевірка технічного стану гальмівних систем повинна включати контроль:

- ефективності гальмування робочої гальмівної системи (РГС),
- стоянкової гальмівної системи (СГС),
- допоміжної гальмівної системи (ДГС);
- герметичності пневматичного та пневмогідролічного привода.

Для визначення технічного стану гальм використовують три методи:

- 1) в дорожніх умовах — ходові випробування;
- 2) в процесі експлуатації за рахунок вбудованих засобів діагностування;
- 3) в стаціонарних умовах з використанням гальмівних стендів.

Контроль ефективності гальмування робочої гальмівної системи (РГС) повинен проводитися методом дорожніх чи стендових випробувань.

Контроль ефективності гальмування допоміжної гальмівної системи (ДГС) повинен проводитися методом дорожніх випробувань. Критерієм ефективності гальмування ДГС є значення усталеного сповільнення ДТЗ.

Контроль ефективності гальмування стоянкової гальмівної системи (СГС) повинен проводитися методом дорожніх чи стендових випробувань. Критерієм ефективності гальмування СГС є значення загальної питомої гальмівної сили.

Пневматичні приводи гальм застосовуються на вантажних автомобілях середньої й великої вантажопідйомності і на автобусах.

Методи, встановлені вимогами ГОСТ 33997-2016, не дають точної оцінки технічного стану пневмопривода РГС. Більш точна і об'єктивна оцінка технічного стану гальмівної системи відбувається за параметрами робочих процесів функціонування пневмосистеми у часі. Під час контролю технічного стану гальмівної системи сучасні силові роликові стенди, наприклад, німецької фірми "МАНА", дозволяють вимірювати наступні показники: швидкість обертання колеса, зусилля на органі управління, гальмівну силу, тиск в гальмівних контурах і гальмівних камерах, визначають вагу і все це виконується для кожного колеса

вимірюваної осі АТЗ, тобто в одному гальмуванні фіксуються зміни динаміки робочих процесів гальмівного приводу кожного окремого колеса, вимірювання всіх перерахованих показників здійснюється в часі.

За даними показниками відповідно до ДСТУ 3649-97 це дозволяє розрахувати відносну різницю гальмівних сил коліс по кожній осі АТЗ, питому гальмівну силу і для автопоїзда додатково коефіцієнт сумісності ланок. Крім того, з допомогою високій швидкості зчитування даних видаються такими стендами (так, наприклад, силовий роликівий гальмівний стенд зчитує сигнали з швидкістю 100 вимірювань в сек.) і здатності забезпечити швидкість обертання коліс і інші умови, абсолютно ідентичні попереднім, що забезпечується точним завданням початкової швидкості гальмування зовнішнім приводом, досягаються досить точні результати перевірки гальмівних систем. При цьому гальмівний стенд додатково зважує кожну вісь, тим самим дозволяючи розрахувати по фактичній вазі гальмівну силу.

Для діагностування пневматичних приводів гальмівних систем можливо розширити комплектацію гальмівного стенда пневматичними радіодатчиком тиску з передачею інформації у вимірювально-обчислювальний комплекс по радіоканалах, що дозволить отримати дані недоступні оцінці діагностів раніше, які після обробки дозволять побудувати графіки параметрів робочих процесів, що несуть значиму діагностичну інформацію щодо технічного стану РГС в цілому, кожної її ділянки і гальмівних механізмів:

- графіки вимірювання тиску в контурі для лівої і правої коліс вимірюваних осей тягача і напівпричепа,
- графіки вимірювання тиску в гальмівній камері для лівої і правої коліс вимірюваних осей тягача і напівпричепа.

Пропонується обладнати стенд радіопультот дистанційного керування з комплектом пневматичних радіодатчиків тиску, що забезпечують подачу радіосигналів на комп'ютер стенду, дистанційно з найменшим кроком дискретизації сигналів реєстрації Реальні показники можуть відрізнитися, що дозволяє визначити параметри з високим ступенем точності.

Такі технічні характеристики дозволяють оцінювати функцію тиску, що змінюється в часі, в кожній ділянці контурів РГС і визначити оціночні показники, такі як зусилля на органі управління, гальмівну силу, тиск в гальмівних контурах і гальмівних камерах, навантаження в процесі гальмування і все це виконати для кожного колеса вимірюваної осі, тобто в одному гальмуванні фіксувати зміну динаміки параметрів робочих процесів пневмоприводу кожного окремого колеса у часі [2-4].

### Список літератури

1. Беляев, В.М. Автомобили: Испытания: учебное пособие для вузов / В.М. Беляев, М.С. Высоцкий, Л.Х. Гилелес. Минск: Высшая школа, 1991. - 187с.
2. Щербакова, О. В. Исследование в области опрокидывания крупногабаритных ТС при криволинейном движении (зарубежный опыт) / О. В. Щербакова, С. А. Евтюков // Инновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов III международной научно-технической конференции 2015. г. Санкт-Петербург "Горный институт" С. 59-62.
3. Щербакова, О. В. Экспериментальное исследование диагностических параметров тормозных свойств автопоезда и оценка эффективности работы рабочей тормозной системы ТС / О. В. Щербакова, С. А. Евтюков, С. Н. Доценко // Вестник гражданских инженеров. - 2017. - №2 (61). - С. 224-231.
4. Щербакова, О. В. Совершенствование расчета установившегося замедления движения автопоезда по тормозному следу / О. В. Щербакова // Вестник гражданских инженеров. - 2017. - №3 (62). - С. 265-272.

## РЕЗОНАНСНІ КОЛИВАННЯ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНОВОЇ СУМІШІ ГВИНТОВИМ ШНЕКОМ ІЗ СЕПАРАЦІЄЮ

**В.З. Гудь**, канд. техн. наук, доц.,

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

Набагато складнішими у дослідженні є резонансні коливання гвинтового шнеку, який переміщає зернову суміш. Відомо [1], що резонансні процеси характеризуються значним ростом амплітуди. Це призводить з одного боку до зростання амплітуди поперечних коливань шнекового гвинта, а відтак до зростання динамічних напружень у ньому, а з іншого – до зростання інтенсивності перемішування зернової суміші. Останнє сприяє покращенню процесу сепарації. Таким чином, щодо резонансного процесу транспортування зернової маси із сепарацією треба підходити комплексно.

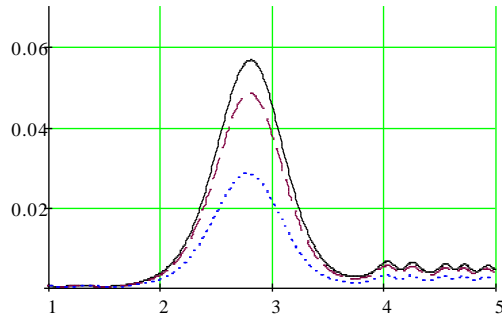
Що стосується математичного про процесу описання вказаного явища, то відомо [2], що основні параметри, які його описують залежать від різниці фаз власних та вимушених коливань  $-\theta(t) = \psi(t) - \gamma(t)$ . Резонансні співвідношення (для випадку головного резонансу), набувають вигляду:

$$\begin{aligned} \frac{da}{dt} &= \frac{-\varepsilon}{(\rho_{10} + \rho)\omega\pi} \beta \frac{\sqrt{\pi}\Gamma(s+1)}{\Gamma\left(\frac{2s+1}{2}+1\right)} a^{2s+1} + \frac{1}{\rho_{10} + \rho} 2 \frac{k\rho_{10}}{l} \frac{\pi^2}{l} V I_{12} \omega a \\ &+ \frac{1}{2\pi\omega} \int_0^{2\pi} \left[ \bar{h} \sin \gamma d\gamma - \frac{\bar{h}}{\rho_{10} + \rho} V \cos \gamma \right] \sin(\theta + \gamma) d\gamma \\ \frac{d\theta}{dt} &= \omega - p + \frac{3\varepsilon\alpha_1}{32(\rho_{10} + \rho)\omega\pi a} a^2 + \frac{1}{(\rho_{10} + \rho)} \frac{k\rho_{10}}{l} \left\{ \omega^2 + V^2 \left( \frac{\pi}{l} \right)^2 + \Omega^2 \right\} I_{11} + \\ &+ \frac{1}{2\pi\omega a} \int_0^{2\pi} \left[ \bar{h} \sin \gamma d\gamma - \frac{\bar{h}}{\rho_{10} + \rho} V \cos \gamma \right] \cos(\theta + \gamma) d\gamma \end{aligned} \quad (1)$$

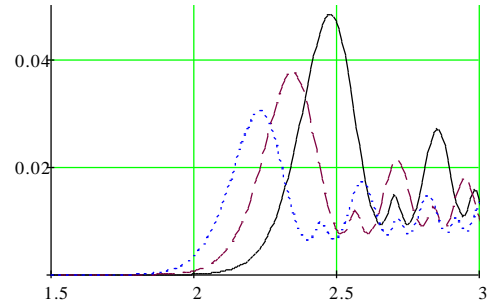
Після нескладних перетворень залежності (1) трансформуються до вигляду:

$$\begin{aligned} \frac{da}{dt} &= \frac{-\varepsilon}{(\rho_{10} + \rho)\omega\pi} \beta \frac{\sqrt{\pi}\Gamma(s+1)}{\Gamma\left(\frac{2s+1}{2}+1\right)} a^{2s+1} + \frac{1}{\rho_{10} + \rho} 2 \frac{k\rho_{10}}{l} \frac{\pi^2}{l} V I_{12} \omega a + \\ &+ \frac{\bar{h}}{2\omega} \cos \theta - \frac{\bar{h}}{2(\rho_{10} + \rho)\omega} V \sin \theta, \\ -\frac{1}{2\omega a} \frac{d\theta}{dt} &= \omega - p + \frac{3\varepsilon\alpha_1}{32(\rho_{10} + \rho)\omega\pi a} a^2 + \frac{1}{(\rho_{10} + \rho)} \frac{k\rho_{10}}{l} \left\{ \omega^2 + V^2 \left( \frac{\pi}{l} \right)^2 + \Omega^2 \right\} I_{11} + \\ &- \frac{\bar{h}}{2\omega a} \sin \theta - \frac{\bar{h}}{2(\rho_{10} + \rho)\omega a} V \cos \theta \end{aligned} \quad (2)$$

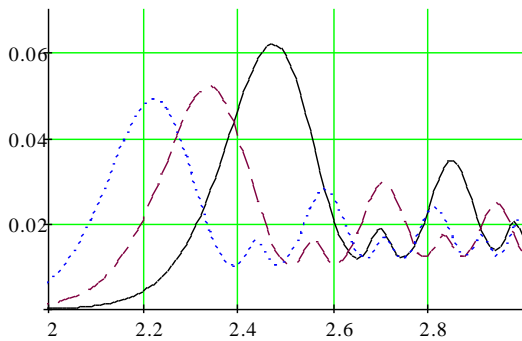
Відповідно до диференціальних рівнянь (2) на рисунку 1 представлено зміну в часі амплітуди коливань при переході через резонанс.



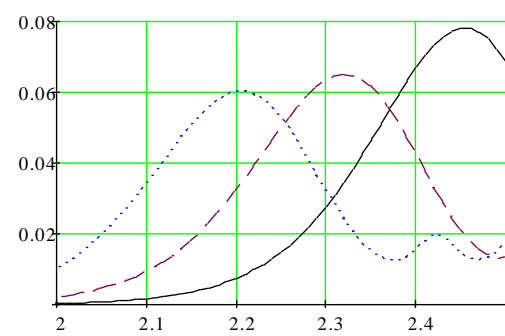
а)  $\rho_{10} = 20$  кг/м;  $\rho = 15$  кг/м;  $l = 8$  м;  $\Omega = 20$  с<sup>-1</sup>;  $V = 0$ ;  $k = 0$ ; .....  $V = 10$ ; -----  $k = 0,15$ ; —————  $k = 0,2$ .



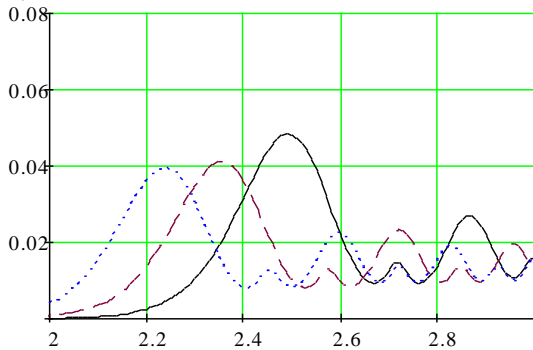
б)  $\rho = 15$  кг/м;  $l = 6$  м;  $\Omega = 20$  с<sup>-1</sup>;  $V = 0$ ;  $k = 0$ ; .....  $\rho_{10} = 30$  кг/м; -----  $\rho_{10} = 25$  кг/м;  $\rho = 15$  кг/м;  $l = 6$  м;  $\Omega = 20$  с<sup>-1</sup>;  $V = 10$ ;  $k = 0,1$ ; —————  $\rho_{10} = 15$  кг/м;  $\rho = 15$  кг/м;  $l = 6$  м;  $\Omega = 20$  с<sup>-1</sup>;  $V = 10$ ;  $k = 0,15$ .



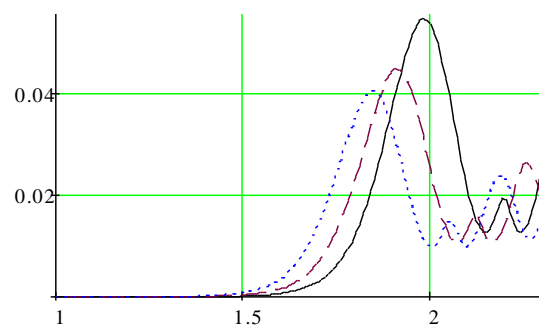
в) .....  $\rho_{10} = 30$  кг/м;  $\rho = 15$  кг/м;  $l = 8$  м;  $\Omega = 20$  с<sup>-1</sup>;  $V = 0$ ;  $k = 0$ ; -----  $\rho_{10} = 25$  кг/м;  $\rho = 15$  кг/м;  $l = 6$  м;  $\Omega = 20$  с<sup>-1</sup>;  $V = 10$ ;  $k = 0,1$ ; —————  $\rho_{10} = 15$  кг/м;  $\rho = 15$  кг/м;  $l = 6$  м;  $\Omega = 20$  с<sup>-1</sup>;  $V = 10$ ;  $k = 0,15$ .



г) .....  $\rho_{10} = 20$  кг/м;  $\rho = 25$  кг/м;  $l = 8$  м;  $\Omega = 25$  с<sup>-1</sup>;  $V = 0$ ;  $k = 0$ ; -----  $\rho_{10} = 20$  кг/м;  $\rho = 25$  кг/м;  $l = 8$  м;  $\Omega = 25$  с<sup>-1</sup>;  $V = 10$ ;  $k = 0,1$ ; —————  $\rho_{10} = 15$  кг/м;  $\rho = 25$  кг/м;  $l = 8$  м;  $\Omega = 25$  с<sup>-1</sup>;  $V = 10$ ;  $k = 0,15$ .



д) .....  $\rho_{10} = 20$  кг/м;  $\rho = 15$  кг/м;  $l = 6$  м;  $\Omega = 20$  с<sup>-1</sup>;  $V = 0$ ;  $k = 0$ ; -----  $\rho_{10} = 20$  кг/м;  $\rho = 15$  кг/м;  $l = 6$  м;  $\Omega = 20$  с<sup>-1</sup>;  $V = 7,5$ ;  $k = 0,1$ ; —————  $\rho_{10} = 20$  кг/м;  $\rho = 15$  кг/м;  $l = 6$  м;  $\Omega = 20$  с<sup>-1</sup>;  $V = 10$ ;  $k = 0,15$ .



е) .....  $\rho_{10} = 30$  кг/м;  $\rho = 30$  кг/м;  $l = 6$  м;  $\Omega = 20$  с<sup>-1</sup>;  $V = 0$ ;  $k = 0$ ; -----  $\rho_{10} = 30$  кг/м;  $\rho = 30$  кг/м;  $l = 6$  м;  $\Omega = 20$  с<sup>-1</sup>;  $V = 7,5$ ;  $k = 0,1$ ; —————  $\rho_{10} = 30$  кг/м;  $\rho = 30$  кг/м;  $l = 6$  м;  $\Omega = 20$  с<sup>-1</sup>;  $V = 10$ ;  $k = 0,1$ .

Рисунок 1 - Зміна амплітуди згинних коливань системи шнековий гвинт – зернова суміш при переході через головний резонанс із урахуванням процесу сепарації

Отримані результати, які стосуються транспортування зернової суміші із одночасною її сепарацією показують:

- вплив початкового значення амплітуди коливань та величини періодичного збурення на амплітуду проходження через резонанс незначний;
- резонансна частота із зростанням кутової швидкості обертання шнеку зменшується і одночасно амплітуда проходження через резонанс зростає;
- процес сепарації зернової суміші супроводжується одночасним зростанням амплітуди проходження через резонанс, до для більш інтенсивної сепарації вона є більшою.

### **Список літератури**

1. Митропольский Ю. А., Мосеенков Б. И. Асимптотические решения уравнений в частных производных. Киев : Вища школа, 1976. 592 с.
2. Боголюбов Н. Н., Митропольский Ю. А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. Москва : Наука, 1974. 501 с.

## **ОБГРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОЛІМЕРНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ С1**

**О.С. Кабат**, канд. техн. наук, доц.,

*Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпро, Україна*

**О.Д. Деркач**, канд. техн. наук, доц.,

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна*

**С.В. Зотов**, д-р. техн. наук, проф.,

*Інститут механіки металополімерних систем ім. В.А. Белого НАН Беларусі, Гомель, Беларусь*

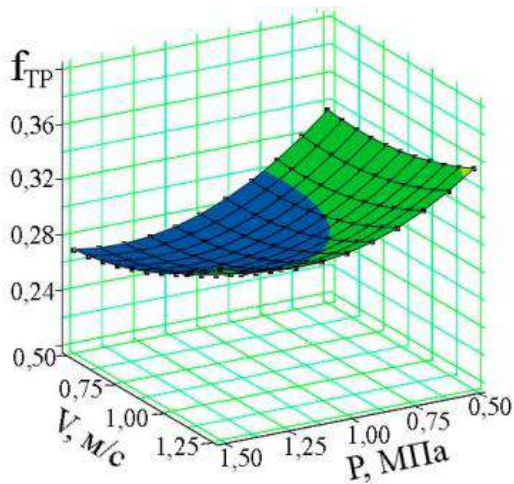
**Актуальність роботи.** В сучасному машинобудуванні застосування полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) триботехнічного призначення набуває широкого розповсюдження. Сьогодні підвищення технічного рівня створюваних машин прямо пов'язане з обсягом застосовування ПКМ. Завдяки ПКМ вдалося створити вузли машин і механізмів, які працюють при відносно високих значеннях тиску (2...5 МПа), швидкостях ковзання (0,5...2,5 м/с) і температурах в агресивних, абразивних середовищах без змащування [1, 2] і при граничному змащенні [3, 4]. Має значення також технологія виробництва деталей з ПКМ при масовому і серійному виробництві [5], як визначальний фактор вибору сировини. Проводяться дослідження в області рециклінгу полімерів [6]. До недоліків більшості ПКМ слід віднести їх невисоку міцність, тепло- і термостійкість. Тому, розробка нових ПКМ триботехнічного призначення з покращеними властивостями є актуальним завданням.

З метою створення термостійких ПКМ з високим рівнем трибологічних властивостей були отримані матеріали на основі ароматичного поліаміду фенілону С1, які наповнені дисперсним силікагелем. В роботі [7] встановлено, що оптимальним вмістом наповнювача у полімері є 10%. При цьому вмісту наповнювача спостерігаються найкращі значення трибологічних властивостей ПКМ при фрикційній взаємодії із сталлю. Тому є науковий інтерес визначити вплив тиску та швидкості ковзання на коефіцієнт тертя та інтенсивність лінійного зношування матеріалу 90% фенілон С1 + 10% силікагель, що дозволить визначити граничні умови експлуатації цього матеріалу.

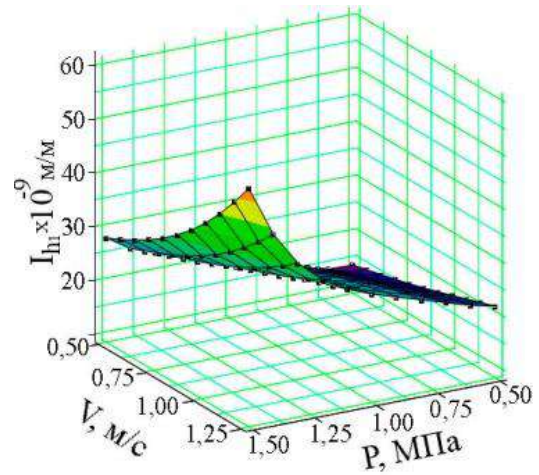
**Матеріали досліджень.** В якості полімерної матриці використовували ароматичний поліамід фенілон С1, а наповнювача – дисперсний силікагель.

**Методи досліджень.** Трибологічні властивості ПКМ визначали на машині "2070 СМТ-1" за фрикційної взаємодії зі сталлю в режимі тертя без змащування.

**Результати та їх обговорення.** Раніше встановлено [8], що при фрикційній взаємодії трибосистеми "фенілон С1-сталь" граничними тисками та швидкостями ковзання є  $P = 1,25$  МПа та  $V = 1,00$  м/с. При збільшенні хоча б одного з цих параметрів режим тертя з нормального перетворюється на аварійний. Тому попередні дослідження трибологічних властивостей пари тертя на основі фенілону С1 проводили саме в цьому інтервалі. При збереженні нормального режиму роботи дослідженої пари тертя значення навантаження та швидкості ковзання збільшували до настання аварійного режиму. Результати досліджень впливу навантажень та швидкостей ковзання на коефіцієнт тертя та інтенсивність лінійного зношування ПКМ на основі фенілону С1, який наповнено 10% силікагелю на рисунку.



а



б

Рисунок – Залежності (а) коефіцієнта тертя ( $f_{TP}$ ) та (б) інтенсивності лінійного зношування ПКМ на основі фенілону С1, наповненого 10% силікагелю

Виявлено, що зменшення коефіцієнта тертя для даного ПКМ спостерігається в інтервалі навантажень від 0,5 до 1,25 МПа впродовж всього інтервалу швидкостей ковзання. Така поведінка цього параметру характерна для матеріалів антифрикційного призначення, коли зростання сили тертя не таке інтенсивне, як зростання тиску. Подальше збільшення навантаження до 1,5 МПа спричинює зростання коефіцієнта тертя. Збільшення швидкості ковзання від 0,5 до 1,25 м/с призводить до зростання коефіцієнту тертя впродовж всього інтервалу навантажень.

Інтенсивність лінійного зношування змінюється симбатно навантаженню та швидкості ковзання. Причому, при величині тиску в межах 0,5...1,25 МПа спостерігається невисока інтенсивність зношування, а вже при більших навантаженнях вона значно зростає. Збільшення швидкості ковзання від 0,5 до 1,0 м/с призводить до незначного збільшення інтенсивності лінійного зношування впродовж всього інтервалу навантажень. А вже при збільшенні швидкості ковзання понад 1,0 м/с інтенсивність лінійного зношування зростає більш динамічно.

**Висновок.** Різке збільшення коефіцієнту тертя та інтенсивності лінійного зношування матеріалів на основі фенілона С1 при навантаженнях більше 1,25 МПа та швидкості ковзання більше 1,00 м/с пов'язано із переходом від нормального режиму роботи вузла тертя, що досліджували, до аварійного при якому спостерігається швидке руйнування матеріалу та можливе заклинювання вузла тертя в якому він працює. Тобто, граничними умовами експлуатації для матеріалу 90% фенілон С1 + 10% силікагель є  $P = 1,25$  МПа та  $V = 1,0$  м/с.

### Список літератури

1. Kabat O.S., Derkach O.D., Pavlushkina N.V., Pikula I.I. Polymeric composites of tribotechnical purpose based on fluoropolymers // Problems of Tribology, 92(2) (2019), 75-81. DOI: 10.31891/2079-1372-2019-92-2-75-81.
2. V. Aulin, O. Derkach, D. Makarenko, A. Hrynkiv, A. Pankov, A. Tykhyi. Analysis of tribological efficiency of movable junctions "polymeric-composite materials – steel"// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774 4/12, (100), 2019.
3. Деркач О.Д. Обґрунтування параметрів обертових елементів робочих органів зернозбиральних комбайнів: дис. ...канд. техн. наук: 05.05.11. Тернопіль, 2006. 182 с.
4. Деркач О.Д., Буря О.І. Підвищення технічного рівня електро- автомобільного транспорту та сільськогосподарської техніки за рахунок використання нових матеріалів. Наукові рекомендації. Дніпропетровськ: ДДАУ. – 2011. – 71 с.
5. Деркач О.Д., Артемчук В.В., Муранов Є.С. До питання технологічності отримання деталей з полімерних композитів для посівної техніки. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск 181. "Технічні системи і технології тваринництва" "Технічний сервіс машин для рослинництва". – Х.: Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, 2017. – 358 с. (с. 157-166).

6. Derkach O.D., Makarenko D.O., Derkach P.O., Vasarab-Kozhushna O.Yu. Investigation of the properties of structural plastics filled with exhausted polyethylene // Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів ТАСХ-2020: Матеріали IV Всеукраїнської наукової конференції, 10 квітня 2020 р., м. Дніпро. – Дніпро: "Середняк Т.К.", 2020. – с. 240., с/ 5-8.
7. Kabat, O.S. Fillers on the silica base for polymer composites of constructional purpose [Text] / O. S. Kabat, K. V. Heti., I. L. Kovalenko, A. M. Dudka // Journal of chemistry and technologies. – 2019. – Vol. 27(2) – P. 247-254  
<https://doi.org/10.15421/08192702>
8. Дудка А.М., Ситар В.І., Начовний І.І., Кабат О.С. Дослідження триботехнічних характеристик полімерних композитів для термонавантажених вузлів тертя машин і апаратів хімічного обладнання // Вопросы химии и химической технологии. – 2010. – №6. – С. 148-151.



## **НАДІЙНІСТЬ ТА РЕСУРС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ УКРАЇНИ**

**А.В. Глушко**, канд. техн. наук, ст. викл.,  
*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", м. Харків,  
Україна*

Надійність роботи елементів енергетичного обладнання постає перед енергетичною галуззю України своєчасним та невід'ємним питанням. На сьогоднішній день дуже важливою задачею є збільшення ресурсу експлуатації та збільшення надійності. У сучасних умовах генерації можлива низка ризиків, яка супроводжується такими факторами, наприклад, як реконструкція існуючих генерацій, відсутність визначених джерел фінансування проектів по розвитку атомної енергетики, проблема шкідливих викидів від теплових електростанцій.

Велика кількість обладнання, важливих елементів, конструкцій, механізмів входить до складу енергоблоків. Як відомо, кожне обладнання та елемент обладнання має певний граничний час напрацювання. Після проходження цього часу надійність роботи обладнання різко починає знижуватись і виникає необхідність продовжувати час роботи такого елемента, щоб збільшити ресурс напрацювання. Одними з основних елементів теплових електростанцій та атомних електростанцій є трубопроводи. Загальна довжина трубопроводів на потужностях теплових електростанцій та атомних електростанцій може досягати декілька кілометрів. Всі трубопроводи мають свою унікальну довжину та форму. Через різне призначення ці трубопроводи також можуть виготовляти з різних марок матеріалів. З'єднання між собою окремих частин теплових електростанцій та атомних електростанцій вимагає великого числа трубопроводів різної форми, різних діаметрів, різних призначень. Слід зазначити, що крім головних трубопроводів існує ще велика кількість допоміжних трубопроводів. Допоміжним трубопроводам також характерні свої параметри, матеріал, протяжність, призначення.

Відомо, що на сьогоднішній день трубопроводи виготовляють методами лиття. Але, поєднують між собою трубопроводи використовуючи зварювання. Таким чином на теплових електростанціях та атомних електростанціях присутня велика кількість зварних з'єднань трубопроводів. Зазначимо, що зварні з'єднання трубопроводів пошкоджуються значно більше, ніж самі трубопроводи. Пошкоджуваність полягає у тому, що ми отримуємо тріщини на трубопроводах, а саме у місцях де є зварні з'єднання (після певного часу напрацювання). А до того, як виникне сама тріщина метал зварного з'єднання трубопроводу проходить шлях від зміни структурного стану, зародження пор, розвитку пор. Тому питання надійності трубопроводів теплових електростанцій та атомних електростанцій є дуже актуальним.

Зупинки енергоблоків, до яких призводить пошкоджуваність металу зварних з'єднань, складає від 50-70% від загальної кількості вимушених зупинок. Зазначимо, що зупинка енергоблоку супроводжується значними фінансовими збитками.

При тривалій експлуатації трубопроводів у металі зварних з'єднань трубопроводів відбуваються певні структурні зміни. Зміна структурно стану у металі зварних з'єднань елементів енергетичного обладнання – трубопроводів або зміна структури самого металу елементів енергетичного обладнання призводить до зменшення ресурсу експлуатації, зниження надійності. Таким чином важливість дослідження структурного стану є необхідною та важливою задачею.

## **ВИКОРИСТАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ОБМОТОК СТАТОРА АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

**С.О. Гулак**, *ст. викл.*,  
**О.В. Губаревич**, *канд. техн. наук, доц.*,  
*Державний університет інфраструктури та технологій, м.Київ, Україна*

Процес оптимального керування залізничними перевезеннями вимагає надійної роботи об'єктів транспортної інфраструктури. Технічний стан об'єктів інфраструктури залежить від технічного стану елементів, з яких складається той чи інший об'єкт. Одним з таких елементів є асинхронний двигун (АД). Асинхронні двигуни використовуються в якості тягового двигуна та в якості допоміжних машин деяких серій електрорухомого складу, в приводі переведення рейкових стрілок та в інших електроприводах інфраструктури залізниці. Від його надійності та працездатного стану залежить ефективна робота електрорухомого складу, безпека руху, тощо.

Одними з найбільш поширених видів асинхронних двигунів у транспортній галузі є трифазні АД з короткозамкненим ротором.

Підвищення надійності асинхронних електричних двигунів відбувається шляхом проведення досліджень процесів, які відбуваються при різних дефектах двигунів, що супроводжується вдосконаленням існуючих та розробкою нових діагностичних методів.

Найбільш поширеними причинами виходу з ладу АД є пошкодження обмоток статора, які відповідно до існуючої статистики становлять 70-78% всіх відмов двигуна [1].

Можливість діагностики та диференціювання міжвиткового замикання обмотки, що зустрічається особливо часто при пошкодженнях статора, є найбільш трудомісткою і складною.

В даний час існує великий ряд сучасних методів діагностики обмоток статора АД, які засновані в основному на контролі стану ізоляції [1]. Контроль стану ізоляції, в свою чергу, здійснюється оцінкою параметрів, які вимірюються або розраховуються за допомогою електричних або неелектричних величин.

Існує ряд перспективних методів, що розвиваються, заснованих на аналізі параметрів вібрації елементів електродвигуна, магнітного потоку розсіювання в зазорі двигуна, вторинних електромагнітних полів машини, по температурі різних ділянок обмоток, спектральному аналізі акустичних коливань працюючого електродвигуна та ін.

Серед розглянутих методів найбільш поширено використовується метод вібродіагностики. При утворенні міжвиткового замикання в одній з фаз статора, створюється несиметричне обертове магнітне поле, яке сприяє виникненню вібрації при роботі двигуна. Несиметрія зумовлена не тільки зменшенням активного і індуктивного опору однієї з пошкоджених фазних обмоток, а й значною зміною взаємної індуктивності між обмотками.

В роботі проведені дослідження прояв міжвиткового замикання обмотки статора із застосуванням імітаційного моделювання для встановлення діагностичних параметрів цього виду пошкодження. За базову модель для проведення досліджень був прийнятий асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором серії *AIP* потужністю 11,0 *кВт*, паспортні дані якого наведені в таблиці 1. Дослідження проводилися з використанням моделі асинхронного двигуна, наведеної в роботі [2] і реалізованої в програмному пакеті *MATLab* зі встановленою адекватністю реальному процесу.

Для неушкодженого статора в режимі холостого ходу, а потім в номінальному режимі із застосуванням моделювання визначено значення електромагнітних моментів двигуна, потім були визначені значення аналогічних параметрів при зменшенні активного опору фази

А на 10% і на 20%, що імітує міжвиткове замикання різних за величиною ділянок ушкодження обмотки статора. Результати моделювання наведені в таблиці 2.

Таблиця 1 – Паспортні дані асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

Параметр	Значення
Номінальна потужність $P_{ном}, кВт$	11,0
Номінальна фазна напруга $U_{ном}, В$	220
Частота мережі $f, Гц$	50
Частота обертання в режимі холостого ходу (близько) $n_0, об/хв$	1500
Частота обертання при номінальному навантаженні $n_{ном}, об/хв$	1450
Момент холостого ходу $M_0, Нм$	0,38
Момент при номінальному режимі $M_{ном}, Нм$	72,671

Таблиця 2 – Результати моделювання роботи асинхронного двигуна при непошкодженому статорі і при наявності міжвиткового замикання при зміні активного опору

Параметр	Холостой ход			Номинальный режим		
	Неушкодженый статор	Активный опір		Неушкодженый статор	Активный опір	
		90%	80%		90%	80%
Частота обертання $n_{ном}, об/хв$	1500	1500	1500	1451,2	1451,2	1451,2
Середній електромагнітний момент $M_{ср}, Нм$	0,38	0,38	0,38	72,671	72,671	72,671
Максимальний електромагнітний момент $M_{max}, Нм$	0,38	0,793	1,209	72,671	73,524	74,386
Мінімальний електромагнітний момент $M_{min}, Нм$	0,38	-0,0329	-0,449	72,671	71,818	70,957
Коефіцієнт пульсацій електромагнітного моменту, $k_{1pulsM}, \%$	0	108,6	218,2	0	1,2	2,4

Таблиця 3 – Результати моделювання роботи асинхронного двигуна при непошкодженому статорі і при наявності міжвиткового замикання при зміні комплексного опору

Параметр	Холостой ход			Номинальный режим		
	Неушкодженый статор	Комплексный опір		Неушкодженый статор	Комплексный опір	
		90%	80%		90%	80%
Частота обертання $n_{ном}, об/хв$	1500	1500	1500	1451,2	1451,2	1451,2
Середній електромагнітний момент $M_{ср}, Нм$	0,38	0,38	0,38	72,671	72,671	72,671
Максимальний електромагнітний момент $M_{max}, Нм$	0,38	1,008	1,658	72,671	73,967	75,307
Мінімальний електромагнітний момент $M_{min}, Нм$	0,38	-0,248	-0,899	72,671	71,376	70,036
Коефіцієнт пульсацій електромагнітного моменту, $k_{2pulsM}, \%$	0	165,2	336,5	0	1,8	3,6

За результатами моделювання, наведеними в таблицях 2 та 3, побудовані графіки зміни коефіцієнта пульсацій електромагнітного моменту в залежності від зміни активного

(рис.1) і комплексного (рис.2) опору фази А статора для холостого ходу і номінального режиму.

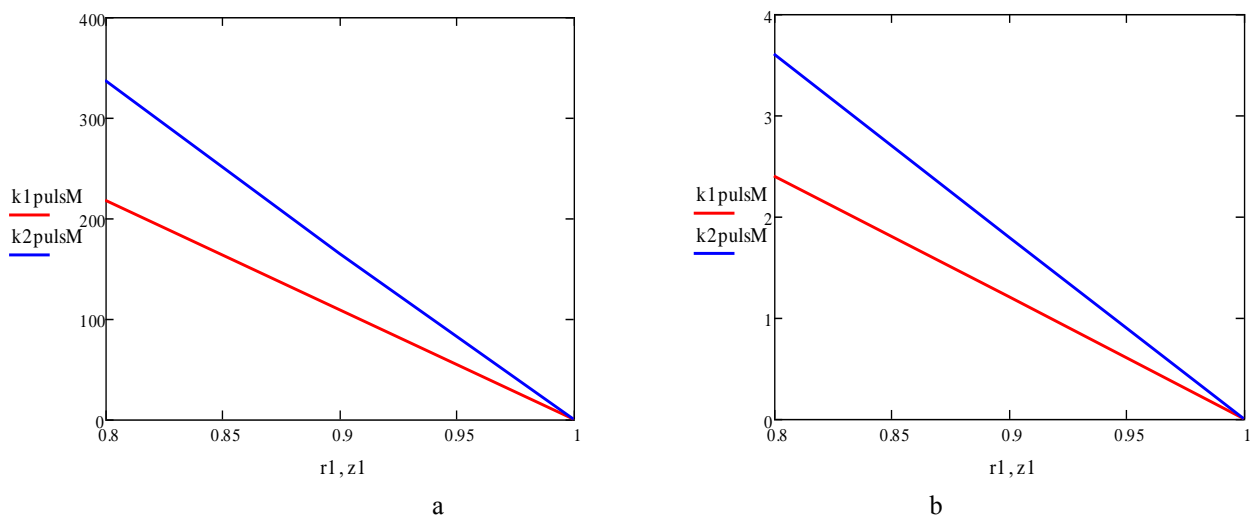


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта пульсацій електромагнітного моменту від зміни опору фази А статора:

- a)  $k_{1pulsM}$ , % - активного опору в режимі холостого ходу  $r_1$ , %;  
 $k_{2pulsM}$ , % - комплексного опору в режимі холостого ходу  $z_1$ , %;  
 б)  $k_{1pulsM}$ , % - активного опору в номінальному режимі  $r_1$ , %;  
 $k_{2pulsM}$ , % - комплексного опору в номінальному режимі  $z_1$ , %

Як випливає з рис. 1 і рис. 2, найбільш суттєві зміни відбуваються з пульсацією електромагнітного моменту при зміні активного і комплексного опору однієї з фаз на холостому ході. Отже, діагностування міжвиткового замикання методами вібродіагностики доцільно проводити в режимі холостого ходу коли ці прояви максимальні та досягають підвищення до 336,5 % при зниженні опору фази обмотки статора на 20%. Однак слід враховувати, що механічні несправності електродвигуна, вид механічного навантаження і відповідні гармоніки в спектрі струму, також викликають вібрацію машини, які ускладнюють достовірне і однозначне трактування виду дефекту виходячи з спектрального аналізу вібраційної частоти, що вимагає додаткових дослідних параметрів [3].

Крім того, з проведених досліджень випливає, що значення максимального моменту при збільшенні пошкодження обмотки статора на 20% зростає при однаковій частоті обертання з 72,671 Нм до 75,307 Нм, що також можливо використовувати при діагностуванні статора.

### Список літератури

1. Губаревич О.В., Гулак С.О., Голубева С.М. Комплексний підхід до діагностування асинхронних електродвигунів водного транспорту: – Новітні технології. Збірник наукових праць Приватного вищого навчального закладу "Університет новітніх технологій". – К.: ПВНЗ "Університет новітніх технологій", 2019. – Випуск 2(9).
2. Goolak, S., Gubarevych, O., Yermolenko, E, Slobodyanyuk, M, Gorobchenko, O. Development of mathematical model of induction motor for vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020, 2/2 (104), p.24-35.
3. Губаревич О.В., Козынько А.С. Природа вибрации и современные методы вибродиагностики электрических машин: - Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля, науковий журнал. – Сєверодонецьк: вид-во СЧУ ім. В. Даля, 2017, №3 (233). С.53-58.

## ***DIESEL ENGINE MODELLING***

**V.M. Savchenko**, *PhD, associate Professor,*  
**I.I. Klimchyk**, *student,*  
*Polissya National University, c. Zhitomir, Ukraine*

Mathematical modelling of internal combustion engines is a far reaching subject. In the development of engine models over the years we may distinguish three main steps: thermodynamic models based on mass and energy conservation laws have been used since 1950 to help engine design or subsystems matching and to enhance engine processes understanding; Empirical models based on inputoutput relations were introduced in early 1970s for primary control investigation; Physically based nonlinear models for both engine simulation and control design. Engine modelling for control tasks involves researchers from different disciplines, i. e. engineering, control and physics. Therefore, several specific nominations may be used for the same class of model in accordance with the framework. To avoid any misunderstanding, Guzzella and Amstutz, show three categories to classify the different modelling approaches with terminology adapted to the basic principle of the model:

*Thermodynamic-based models* (known also as, knowledge model, or parametric model, or white box), have been derived using physical first principles and include relatively few physical parameters which are very suitable for control.

*Non-thermodynamic models* (black-box, or non-parametric model), that use a prior chosen structure, and reflect the input output relationship of the engine based on experimental input-output analysis.

*Semi-physical approximate models* (or grey-box) which is an intermediate category where the model was built with equations derived from physical laws and which parameters are measured or estimated using identification techniques.

This classification is very helpful but it may be oversimplified because a complete engine model would be a mixture of physical and experimental sub-models. The following section will focus on the first two categories as the third category is mixture of the first two.

Thermodynamic diesel engine modelling passed through a long term development as early efforts in the 1950s focused on the closed part of the engine cycle, i. e. the compression/combustion/expansion sequence. These models evolved from the ideal cycle calculations in the 1950s to simple component matching models in the 1960s and multizone and multidimensional combustion models in the 1980s and early 1990s, Chow and Wyszynski. High resolution multidimensional models, such as KIVA II 3-D introduced by Mariani and Postrioti are often used for specific problem areas in engine design, where details of fluid transport processes or those involving subtle geometry changes dominate.

Quasi-steady models are simple and have the advantage of short run times, and for this reason they are suitable for real-time simulation. On the other hand, among the disadvantages of quasi-steady models are their heavy reliance on experimental data and low accuracy. A quasi-steady model requires a large amount of data to obtain empirical relations or maps for each engine component; furthermore, it cannot be transposed to other engines. Complex phenomena such as combustion or gas flow are oversimplified and thus reduce the simulation accuracy. These models do not provide a sufficient level of detail to reflect design change or to predict parameters that influence exhaust emissions Watson.

The filling and emptying models are based on solving the mass and energy conservation equations of a thermodynamic control volume. This method represents the unsteady flow phenomena more realistically as it models the time varying properties of flow and allows for mass accumulation between the engine system components. The main motivation for using the filling and

emptying method is to give general engine models with minimum empirical data requirement. Therefore, the model may be adapted to different types of engines with minimum effort. Filling and emptying model exhibit good prediction of engine performance under both steady and transient conditions and gives information on parameters known to influence pollutant emissions or noise. However, assumption of uniform state of gas covers up complex acoustic phenomena (resonance). Wave effects inside the manifold can affect engine performance, and thus, the error introduced by filling and emptying method must be considered. The filling and emptying model is not suitable to control design application because of their prohibitive computing time.

The cylinder-by-cylinder model, based on the filling and emptying method firstly established by Watson was of a turbocharged diesel engine simulator which has been designed to help in the development of an electronic controller. A nonlinear dynamic simulation of a turbocharged diesel engine was presented. The detail of the model was governed by the desire to accurately predict fuel economy of new engine designs currently on the drawing board, but without any empirical input, and respond correctly to changing ambient conditions, design alterations etc. Thus the model treats cylinders and manifolds as thermodynamic control volumes, solving energy and mass conservation equations with subroutines for combustion, heat transfer, turbocharger, dynamic aspects etc. In-cylinder calculations are performed in small engine crank-angle steps so that the correct ignition crank angle is predicted as well as the subsequent fuel burning rate. This enables parameters such as the cylinder pressure and diffusion burning factor to be predicted. It is shown how the run time of a previous model has been reduced by an order of magnitude. The accuracy of the model was tested and verified by comparison between measured and predicted performance over the complete steady state operating range of the engine. Also, the engine response to acceleration and full-load application was tested.

Complex thermodynamic models are unsuitable for analytical controller design where it used to solve complex differential and algebraic equations; hence simple non-thermodynamic models were the first kind of engine models used for control purposes. Non-thermodynamic, known as black-box, models they were built with the minimum level of knowledge about the system, and no fundamental principles are involved. However, they can include a priori information about the engine such as, time delay or engine nonlinearities. These models have to reproduce the input-output behaviour of the system and their structure (transfer function or statespace representation) complies with the control requirement. The modelling procedure consists of four important steps: Experimental data recording, choosing an adequate model structure and the identification algorithm, calculation of the model parameters and validation. In the following section, the "black-box" models of diesel engine will be split into two classes: linear and nonlinear models.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕСПІВВІСНОСТІ КОРИННИХ ОПОР БЛОКУ НА ПОТУЖНІСТЬ МЕХАНІЧНИХ ВТРАТ ДВИГУНА**

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

**Р.А. Осін**, канд. техн. наук, доц.,

**С.С. Колісник**, студ.,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Однією з основних причин недостатнього терміну служби двигуна після капітального ремонту є деформація базових поверхонь блоку і кришок, яка приводить до зміни форми і розміру корінних опор блоку по діаметру і зсуву центру отворів середніх корінних опор щодо крайніх, тобто приводить до неспіввісності останніх. Все це впливає на початкове взаємне розташування поверхонь тертя і приводить до інтенсивного зношування колінчастого валу і корінних підшипників. Ці чинники є найбільш поширеними в сучасних машинах і виникають через виникнення деформацій від навантажень, що діють, порушення технічних умов на монтаж деталей і ін. [1,2,3, 4,5,6].

Крім того, Тарасов А.І. в своїй роботі [7] відзначає, що багатоопорні колінчасті вали в результаті неспіввісності опор під вкладиші корінних підшипників сильно прогинаються. Аналіз зв'язку між формою пружного прогину колінчастого валу і розташуванням зон підвищеного зносу по колу і довжині корінної шийки, проведений Кузьміним А.А. і іншими [8], показує, що підвищений місцевий знос викликаний наслідками пружного прогину валу. А пружний прогин колінчастого валу, як вважає Фінкельштейн Е.С. та інші [4], спричиняє за собою зміну в положенні шатуна, а значить і поршня в циліндрі.

В той же час визначено, що величина мінімального зазору впливає на зміну товщини масляної плівки в сполученні. Автори підкреслюють, що надійна робота підшипника може бути забезпечена тільки при достатній мінімальній товщині масляного шару. Вони відзначають, що здатність масляного шару, що несе, в корінних підшипниках за наявності неспіввісності корінних опор блоку значно знижується, причому інтенсивність зниження здатності, що несе, зростає із зростанням зазору [4,7,8]. У роботі [9] наголошується, що із зменшенням товщини масляної плівки вірогідність безпосереднього контакту поверхонь тертя підвищується, що викликає додаткове збільшення їх температури і підвищений знос. Однією з основних причин підвищеного зносу корінних шийок колінчастого валу Кузьмін А.А., Нормухамедов Б.Ф. [8] рахують недостатню для забезпечення рідинного тертя мінімальну товщину масляного шару в області нижніх вкладишів.

Всі ці фактори впливають на потужність механічних втрат двигуна. Разом з тим відсутні дослідження про вплив неспіввісності корінних опор блоку на величину та характер механічних втрат та інші технологічні параметри роботи двигуна.

Мета дослідження: визначити вплив неспіввісності корінних опор блокартеру на потужність механічних втрат двигуна.

Дослідження проводилось в рамках реалізації Програми впровадження регіональних наукових досліджень у промислове виробництво Кіровоградської області на 2017-2020 роки між університетом та координатором виконання заходів і завдань Програми – Департаментом інфраструктури та промисловості Кіровоградської обласної державної адміністрації згідно договору від 22 листопада 2019 року № 31.119 на виконання науково-дослідної роботи "Розробка та впровадження технології та оснащення для відновлення співвісності та оптимальних геометричних параметрів корінних опор блокартерів ДВЗ".

Дослідження проведені в лабораторії випробування двигунів кафедри експлуатації та ремонту машин з застосуванням модернізованого випробувального стенду по діагностичних параметрах відповідно до ГОСТ 23435-79 "Двигуни внутрішнього згорання поршневі.

Номенклатура діагностичних параметрів" з урахуванням вимог ГОСТ 18509-80 "Дизелі тракторні і комбайнові. Методи стендових випробувань".

Дослідження проведені при стендових випробуваннях серійного двигуна ЯМЗ-238НБ, що пройшов 65-годинну обкатку, у якого замінювався тільки блок при забезпеченні заданої неспіввісності 3 корінних опори 0,012, 0,020 і 0,050 мм. Різна величина неспіввісності цієї опори досягалася шляхом розточування її на координатно-розточувальному верстаті. Неспіввісність 2 і 4 корінних опор відносно І і 5, прийнятих за базових, знаходилася в межах допуску (0,012 мм).

Для перевірки і дослідження основних показників роботи двигуна залежно від неспіввісності корінних опор блоку використані наступні прямі і непрямі параметри: потужність механічних втрат та питома витрата палива.

Математична обробка даних мікрометражу проведена з застосуванням відповідних комп'ютерних програм.

Визначені статистичні характеристики всіх кривих: математичне очікування  $X$ ; стандарт або середнє квадратичне відхилення –  $\delta$ ; мода -  $M_0$ ; медіана -  $M_e$ ; асиметрія –  $a_s$ ; аксес -  $e_k$ .

На рис.1 представлені криві відносної зміни потужності механічних втрат

$$\delta_{м.п.н.} = \frac{N_{м.п.н.} - N_{м.п.н.i}}{N_{м.п.н.}} \cdot 100\% ,$$

де  $N_{м.п.н.}$  - потужність механічних втрат при неспіввісності 0,012 мм. Крива 1 показує відносну зміну потужності механічних втрат при неспіввісності 0,020 мм, крива 2 - при неспіввісності 0,050 мм.

Аналіз зміни потужності механічних втрат при різній неспіввісності корінних опор блоку показує, що із збільшенням неспіввісності потужність механічних втрат підвищується. Максимальна відносна зміна потужності механічних втрат (по відношенню до  $N_{м.п.н.}$  при неспіввісності 0,02 мм) склала: 1,3% - при неспіввісності 0,020 мм і 4,5% - при неспіввісності 0,050 мм.

Таким чином, потужність механічних втрат при неспіввісності середніх корінних опор блоку 0,020 мм практично така ж, як і при її регламентованому значенні 0,012 мм.

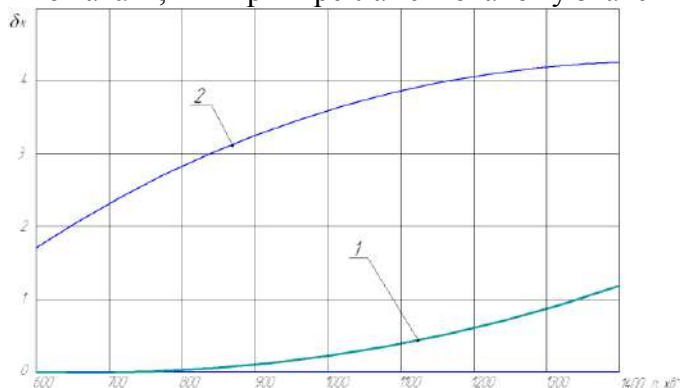


Рисунок 1 – Криві відносної зміни потужності механічних втрат залежно від частоти обертання колінчастого валу при неспіввісності корінних опор блоку: 1 - 0,020 мм., 2 - 0,050 мм

На рис. 2 представлені криві зміни питомої витрати палива при різній неспіввісності корінних опор блоку. Крива 1 показує зміну питомої витрати палива при неспіввісності 0,012 мм, крива 2 - при неспіввісності 0,020 мм, крива 3 - при неспіввісності 0,050 мм

Аналіз зміни питомої витрати палива при різній неспіввісності середньої корінної опори блоку показує, що із збільшенням неспіввісності питома витрата палива зростає. Так максимальна питома витрата палива на режимі  $n = 900$  хв<sup>-1</sup> складає: при неспіввісності 0,012 мм -  $265 \cdot 10^{-3}$  кг/(кВтгод)·, при неспіввісності 0,020 мм -  $265,3 \cdot 10^{-3}$  кг/(кВтгод)·, при неспіввісності 0,050 мм -  $267,1 \cdot 10^{-3}$  кг/(кВтгод)·. Мінімальна питома витрата палива на режимі  $n = 1500$  хв<sup>-1</sup> - склав: при неспіввісності 0,012 мм -  $258,2 \cdot 10^{-3}$  кг/(кВтгод)·, при



неспіввісності 0,020 мм -  $258,4 \cdot 10^{-3}$  кг/(кВтгод), при неспіввісності 0,050 мм -  $260,5 \cdot 10^{-3}$  кг/(кВтгод).

Таким чином, питома витрата палива при неспіввісності середніх корінних опор блоку 0,020 мм практично така ж, як і при її регламентованому значенні 0,012 мм.

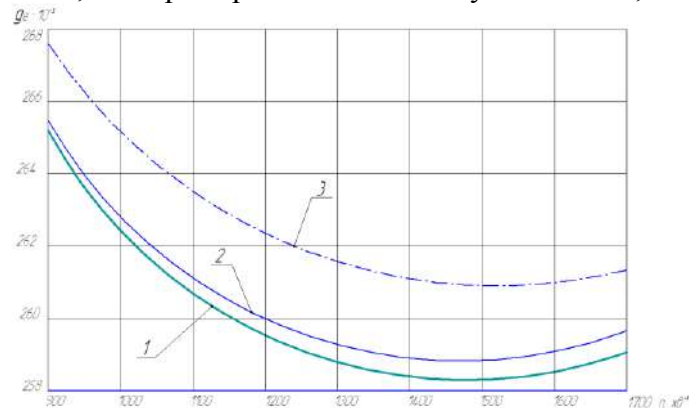


Рисунок 2 – Зміна питомої витрати палива залежно від частоти обертання колінчастого валу при неспіввісності корінних опор блоку: 1 - 0,012 мм, 2 - 0,020 мм, 3 - 0,050 мм

### Висновки.

1. При зміні неспіввісності середніх корінних опор щодо крайніх, прийнятих за базові, в межах до 0,020 мм зміна основних показників роботи двигуна ЯМЗ-238НБ практично не спостерігається, при збільшенні неспіввісності середніх корінних опор до 0,050 мм потужність механічних втрат збільшується на 4,5%,

2. При зміні неспіввісності середніх корінних опор щодо крайніх, прийнятих за базові, в межах від 0,020 мм до 0,050 мм питома витрата палива збільшується на 0,9 %,

3. Перевищення неспіввісності корінних опор блоку вище 0,020 мм є недопустимим. Блоккартери з таким дефектом підлягають відновленню.

### Список літератури

1. Билев Е.А. Ремонт базових поверхностей блока цилиндров двигателя ЗИЛ-120. - Автомобильный транспорт, 1958, № 8, с.25-27.
2. Краснов В.В. Влияние несоосности коренных подшипников на нагруженность коленчатого вала тракторного двигателя. - Трудн НАГМ, 1970, вып.206, с.73-84.
3. Тяжелов И.Н. Разработка методов оценки деформации и напряжений в кривошипно-шатунном механизме. - Отчет МАДИ, 1970. 251 с.
4. Финкельштейн З.С. Исследование надежности подшипников автомобильного двигателя. - Сб.: Надежность и контроль качества. Ежемесячное приложение к журналу "Стандарты и качество", 1971, № 9, с.69-74.
5. Ильяков Б. В. Контроль диаметра и соосности опор коренных подшипников. - Автомобильный транспорт, 1970, 10, с.39-40.
6. Кузнецова С.А. Исследование износов постелей блока двигателей ЯМЗ-238НБ, поступающих в капитальный ремонт. - Научные труды ЛСХИ, т.339, Ленинград-Пушкин, 1976, с.51-54.
7. Тарасов А.И. Напряженное состояние вкладышей подшипников коленчатого вала и изнашивание в напряженном состоянии. - Труды Новосибирского с.х. института: Пути увеличения продукции с.х., Новосибирск, 1967, с.32-37.
8. Кузьмин А.А., Нормухамедов Б.Ф. Исследование влияния конструкции вкладышей на толщину смазочного слоя в коренных подшипниках коленчатого вала автотракторного двигателя. - Труды Горьковского политехнического ин-та, 1971, том 27, вып.7, с.54-57.
9. Коровчинский М.В. Прикладная теория подшипников жидкостного трения. - М.: Машгиз, 1954. - 186 с.

## **ДИНАМІКА ШНЕКОВОГО БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ТРАНСПОРТЕРА**

**О.Л. Ляшук**, д-р. техн. наук, проф.,

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

**Ю.Я. Вовк**, канд. техн. наук, доц.,

**О.П. Маруніч**, асп.,

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

Шнековий робочий орган багатофункціонального транспортера у робочому режимі зазнає значних динамічних навантажень в результаті одночасної дії на нього: поздовжньої стискувальної сили; зовнішнього привідного моменту; сил взаємодії із оброблювальним середовищем. Вказані силові чинники зумовлюють у ньому складні коливання – поєднання крутильних, поздовжніх та згинальних. Оброблювальне середовище рухаючись із деякою швидкістю відносно шнекового робочого органу спричиняє додаткову динамічну дію на нього. Урахування вказаних чинників у математичній моделі динаміки відносного руху системи пружне тіло – рухомий потік середовища, надає їй якісно нової форми [1-2], для якої, у загальному випадку, не вдається застосувати відомі аналітичні методи дослідження систем із розподіленими параметрами [3]. Застосування ж для неї чисельних методів симуляції через складність систем до бажаного результату не призводять, це особливо стосується найбільш небезпечних резонансних коливань робочого органу. Основну увагу звернуто розробці наближених аналітичних методів дослідження згинальних коливань робочого органу багатофункціонального транспортера, який обертається зі сталою кутовою швидкістю навколо поздовжньої осі і вздовж нього рухається суцільний потік оброблювального середовища. Розглядаються резонансний та нерезонансний випадки.

Шнековий компенсаційний багатофункціональний транспортер виконано у вигляді корпусу (рис.1) з двома опорами передньою і задньою з можливістю зміни їх висоти для можливості транспортування матеріалів по горизонталі і під кутом. В залежності які операції підбирають нерухому трубу. Так розглянемо роботу транспортера для видавлювання соку. Для цього необхідно виставити кут його нахилу за допомогою зменшення висоти лівої опори відомим способом. Нерухому трубу вибирають з наскрізними отворами і відповідну конструкцію конусного гвинтового робочого органу з відповідним зазором між ними і нерухою трубою, який виставляють за допомогою регулювальної гайки. Матеріали з яких будуть видавлювати сік завантажують в завантажувальний патрубок. З пульта керування включають транспортер і встановлюють відповідні режими роботи. Видавлений сік через систему наскрізних отворів стікає в ємкість і жолоб, де його забирають, а жмиху через вивантажувальний патрубок збирають в окрему ємкість за допомогою відкидного шибера.

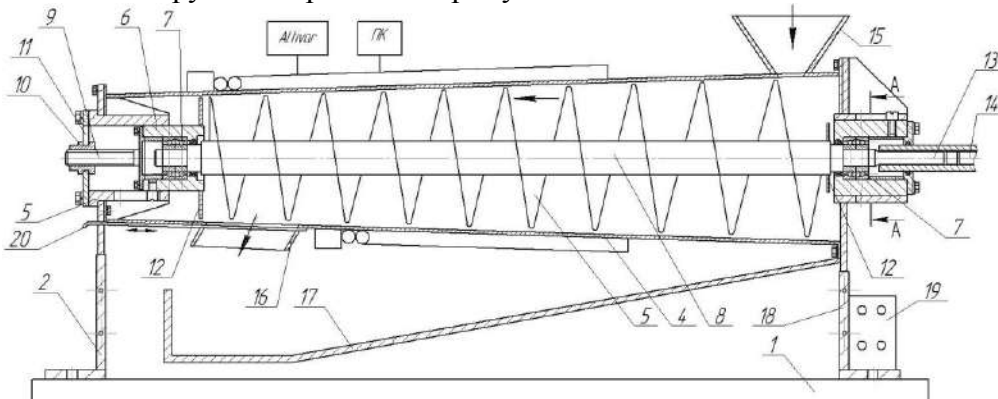


Рисунок 1- Схема шнекового компенсаційного багатофункціонального транспортера [4]

Для шнекового робочого органу багатофункціонального транспортера, який обертається зі сталою за величиною кутовою швидкістю  $\omega$  і вздовж котрого рухається із відносною швидкістю  $V$  суцільний потік оброблювального середовища необхідно визначити вплив зовнішніх та внутрішніх чинників на його поперечні коливання.

Шнековий робочий орган: симетричне відносно поздовжньої осі пружне тіло, матеріал котрого задовольняє нелінійному технічному закону пружності [5]-  $\sigma = E(\varepsilon_1 + \varepsilon\varepsilon_1^3)$  ( $\varepsilon_1$  - відносна деформація, параметр  $\varepsilon$  характеризує відхилення його пружних властивостей від лінійного закону і нижче вважається його малим у порівнянні із модулем пружності  $E$ ); момент інерції його відносно поздовжньої осі  $OX$  -  $I(x)$ , а погонна маса його  $m_1(x)$  обертається зі сталою кутовою швидкістю навколо поздовжньої осі, яка нахилена до горизонту під кутом  $\alpha$ ; -  $u(x,t)$ - поперечне переміщення нейтральної осі його із координатою  $x$  в довільний момент часу  $t$  (вісь  $OX$  відраховується від верхнього підшипника вздовж недеформованої осі шнекового робочого органу); депланація нормального поперечного перерізу відсутня. Оброблюване середовище – не пружне суцільне тіло [6-8] із погонною масою  $m(x)$ .

Зовнішні сили:  $N$  - сили тиску на кінці шнеку, сила ваги шнеку та оброблювального середовища; сили опору руху шнекового робочого органу; привідний момент, зосереджені сили, зумовлені взаємодією окремих включень у оброблюване середовище зі шнековим робочим органом внаслідок обертального руху останнього.

Математична модель об'єкту дослідження. Наведене вище дозволяє [9,10] диференціальне рівняння згинних коливань робочого органу багатофункціонального транспортера, вздовж котрого переміщується суцільний потік оброблювального середовища подати у вигляді

$$(m_1 + m)\left(\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} + \omega^2 u(x,t)\right) + 2mV \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t \partial x} + (mV^2 + N) \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} + \lambda \left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial t}\right)^s + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( EI(x) \left( \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} + \varepsilon \left( \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} \right)^3 \right) \right) \right] = H \sin^{2q}(\omega t + \varphi_0) \delta(x - x_0), \quad (1)$$

де  $\lambda$ ,  $s$ ,  $x_0$ ,  $\varphi_0$ ,  $I$ ,  $H$  - сталі,  $\delta(x - x_0)$  - дельта функція Дірака;  $\lambda \left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial t}\right)^s$  - описує силу опору відносному рухові робочого органу, а співвідношення  $H \sin^{2q}(\omega t + \varphi_0) \delta(x - x_0)$  - силу взаємодії неоднорідного включення та робочого органу ( $q = 1, 2, \dots$ ;  $x_0$  - вказує на місце знаходження неоднорідного включення, а  $q$  - його форму).

Для динамічного процесу розглядуваної системи до рівняння (1) долучаємо крайові умови, які для простоти приймаємо у вигляді

$$u(x,t)|_{x=0;l} = \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} \Big|_{x=0;l}, \quad (2)$$

де  $l$  - віддаль між верхнім і нижнім підшипниками робочого органу.

Диференціальне рівняння (1) подати у вигляді

$$\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} + \omega^2 u(x,t) + \frac{N}{m_1 + m} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} + \frac{EI}{m_1 + m} \frac{\partial^4 u(x,t)}{\partial x^4} = \frac{1}{m_1 + m} (H \sin^{2q}(\omega t + \varphi_0) \delta(x - x_0) - \lambda \left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial t}\right)^s - mV^2 \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} - 2mV \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t \partial x} - \varepsilon EI \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left( \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} \right)^3) \quad (3)$$

Виходячи із наведених вище обмежень щодо досліджуваної системи, максимальне значення правої його частини є малою величиною у порівнянні із максимальними значеннями доданків лівої його частини. Останнє, у свою чергу, є базою для використання

при побудові розв'язку кайової задачі (3), (2) поєднання методу Бубнова-Гальоркіна та методу Ван- дер-Поля. Відповідно до першого, перше одночастотне наближення у формах близьких до головної форми коливань, можна подати у вигляді  $u(x,t) = \sin \frac{\pi}{l} x T(t)$  де  $T(t)$  невідома функція, яка є розв'язком звичайного квазілінійного диференціального рівняння

$$\ddot{T}(t) + \Omega^2 T(t) = -\frac{\bar{\lambda}}{m+m_1} \dot{T}^s + \frac{mV^2}{(m+m_1)} \left(\frac{\pi}{\ell}\right)^2 T + \frac{3\varepsilon EI}{32} \left(\frac{\pi}{\ell}\right)^6 T^3 + \frac{H}{\ell(m+m_1)} \sin \frac{\pi x_0}{\ell} \sin^{2q}(\omega t + \varphi_0) \quad (4)$$

$$\text{де } \Omega^2 = \frac{EI}{(m+m_1)} \left(\frac{\pi}{\ell}\right)^4 - \omega^2 - \frac{N}{(m+m_1)} \left(\frac{\pi}{\ell}\right)^2, \quad \bar{\lambda} = \lambda \frac{\Gamma(1+s/2)}{2\Gamma(1.5+s/2)}$$

Якщо врахувати ту обставину, що права частина рівняння (4) є періодичною за часом із періодом  $\pi/\omega$ , то за певного співвідношення між частотою власних (незбурених) коливань робочого органу та кутовою швидкістю його обертання, а від так періодичного збурення, у системі можливий резонанс. Це вимагає розгляду для рівняння (4) двох випадків: резонансного  $\Omega \approx 2\omega$  та нерезонансного  $\Omega \neq 2\omega$ . Головний резонанс у шнековому робочому органі буде спостерігатись за наступної кутової швидкості його обертання (рис.2)

$$\omega = \frac{\pi}{\sqrt{5}} \left( \frac{EI}{(m+m_1)} \left(\frac{\pi}{\ell}\right)^2 - \frac{N}{(m+m_1)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

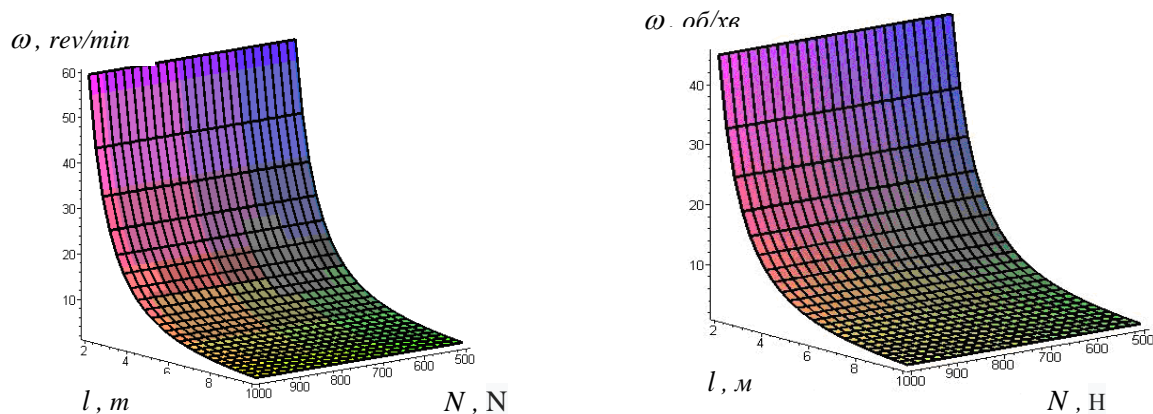


Рисунок 2 - Залежність кутової швидкості обертання робочого органу за від його довжини та стискальної сили

Отримані розрахункові та побудовані на їх базі графічні залежності показують що для резонансного випадку: амплітуда переходу через головний резонанс для більших значень швидкостей відносного руху оброблювального середовища є більшою. Збільшення відносної швидкості від 2 до 5 м/с при наступних значеннях параметрів  $m = 15\hat{e}\hat{a}\hat{l}$ ,  $m_1 = 10\hat{e}\hat{a}\hat{l}$ , причинає збільшення амплітуди перереходу через головний резонанс на 17%, а при  $m = 30\hat{e}\hat{a}\hat{l}$ ,  $m_1 = 10\hat{e}\hat{a}\hat{l}$ , на 54%

### Список літератури

1. Горошко О. А. О продольных колебаниях балки с подвижным экипажем / Горошко О. А. // Прикладная механика. – 1978. – 14. – №8. – С. 70–78.
2. Доценко П. Д. О колебаниях и устойчивости прямолинейного трубопровода / Доценко П. Д. // Прикладная механика. – 1971. – Вып.3. – С. 85–91.
3. Кошляков Н. С. Уравнения в частных производных математической физики / Кошляков Н. С., Глинер Э. Б., Смирнов М. М. – М.: Высшая школа, 1970. – 710 с.
4. Пат. 128417 Україна, МПК В65G 33/00, В65G 33/34 Гвинтовий завантажувач-змішувач з центральним приводом / Ляшук О.Л., Слободян Л.М., Маруніч О.П.; заявник і власник патенту Ляшук О.Л., Слободян Л.М., Маруніч О.П. – 201805638; заявл. 21.05.2018; опубл. 10.09.2018, Бюл. № 17.

## **ПРОЦЕС ЗМІНИ СТАНУ ОЛИВИ ПРИ ПРИПРАЦЮВАННІ СПРЯЖЕНЬ ДЕТАЛЕЙ ТА ОБКАТЦІ ДВИГУНІВ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН**

**В.В. Аулін**, *д-р. техн. наук, проф.*,  
**А.В. Гриньків**, *канд. техн. наук*,  
**С.В. Лисенко**, *канд. техн. наук, доц.*,  
**А.Є. Чернай**, *асп.*,  
**А.П. Лукашук**, *асп.*,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Припрацювальна олива в порівнянні з моторною, виконує свої функції в двигуні досить короткий час. Тобто за короткий проміжок часу припрацювальна олива піддається незначній термічній полімеризації. В ній накопичуються продукти згоряння палива, оливи, смоли, асфальтени, домішки. Всі ці зміни викликають необхідність визначення термінів служби припрацювальної оливи, використовуваної при обкатці нового або відремонтованого двигуна транспортного засобу.

Незважаючи на велику кількість розробок, спрямованих на визначення оптимальних термінів служби моторних олив, відсутні раціональні моделі прогнозування термінів використання припрацювальних олив. Недосконалість системи використання у одноразовій обкатці двигуна вже використаної припрацювальної оливи вимагає обґрунтування нових підходів на підставі показників фактичного стану.

При розгляді теорії процесу старіння оливи використовують ентропію, вважаючи, що внутрішня енергія системи змінюється пропорційно швидкості хімічних перетворень в оливі з точки зору зміни вмісту присадок, їх складу і властивостей.

Розглядаючи ентропію як істотний чинник процесу старіння і зміни властивостей припрацювальної оливи, можливо зробити такі припущення:

– припрацювальна олива являє собою вуглеводневу основу з присадками, в якій під дією достатньо високих температур відбувається ряд хімічних перетворень, що змінюють структуру основи та хімічний склад присадок і добавок;

– процес старіння припрацювальної оливи є в певній мірі незворотнім, але за рахунок додавання деяких компонентів і видалення спрацьованої частини основи і присадок оливу можна вважати частково відпрацьованою і процес циклічно повторюється.

Процес роботи припрацювальної оливи на основі зроблених припущень можна уявити як сукупність наступних циклів (рис. 1):

0-1 – ізобаричний процес нагрівання припрацювальної оливи в період холодної обкатки двигуна (від початку крутного моменту), коли температура оливи змінюється від температури навколишнього середовища  $T_0$  до робочої температури  $T_p$ ;

1-2 – ізобаричний процес роботи оливи, коли її температура змінюється в залежності від навантаження, що збільшується і доходить до якої певної межі;

2-3 – ізотермічний процес, коли температура оливи практично не підвищується за рахунок сталого режиму і роботи системи охолодження;

3-4 – ізохоричний процес, коли олива після проведення операції обкатки зливається і охолоджується до певної температури;

4-5 – ізотермічний процес впливу на олива при його очищенні від продуктів зносу при постійній температурі (за спеціальною технологією на установці для очищення олива);

5-6-7-8-9-10 – процеси, що повторюють 0-5 при проведенні обкатки двигунів на оливі, після її очищення.

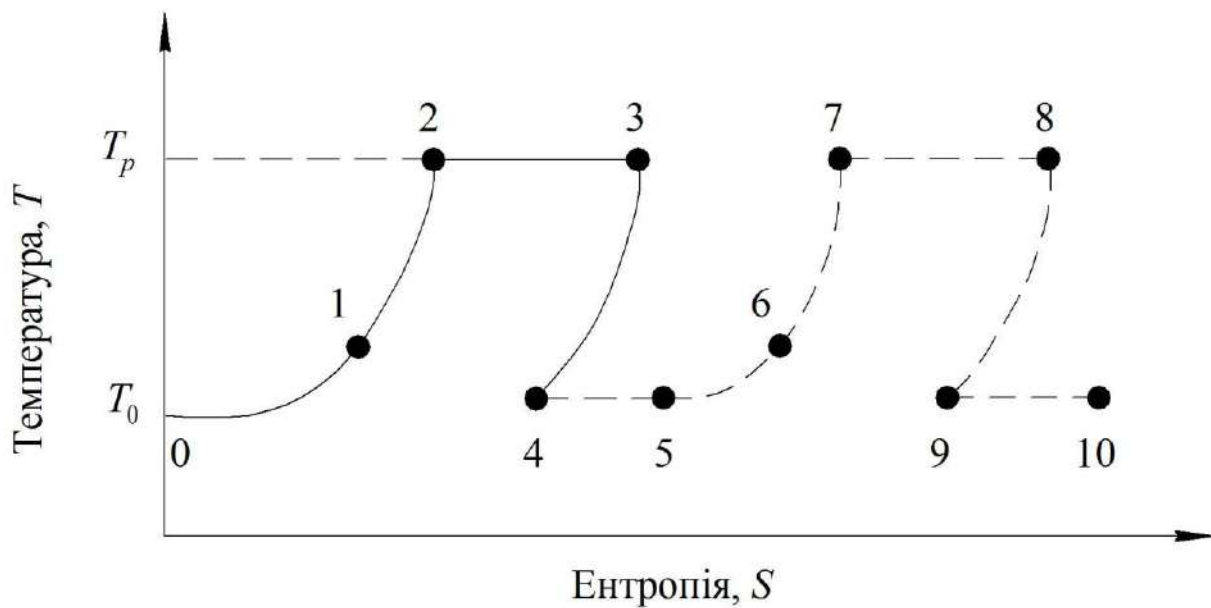


Рисунок 1 – Цикли роботи припрацювальної оливи в двигунах транспортних машин

Прийнята триразова циклічність пояснюється і обмежується спрацьовуванням присадок і добавок в припрацювальній оливі, що вимагає експериментального підтвердження.

Зміна ентропії циклу буде визначатися сумою зміни ентропії в кожному окремому процесі, а загальна зміна дорівнюватиме:

$$S_{\text{ц}} = \sum_i^n \Delta S_i, \quad (1)$$

де  $\Delta S_i$  – зміна ентропії в  $i$ -процесі, кДж/(кг·К).

Одним з показників, що характеризують процес старіння оливи, є в'язкість оливи, яка взаємопов'язана з накопиченням продуктів окислення вуглеводневої основи, утворення смол і спрацьовування присадок та добавок.

Якщо вважати, що у циклі кінематична в'язкість дорівнює:

$$v_{M1} = v_{OM}. \quad (2)$$

Для подальших циклів маємо наступну зміну кінематичної в'язкості:

$$v_{M2} = v_{M1} \cdot \left( 1 + 0,03 \cdot \left( \frac{t_{M(1-2)}}{24 \cdot n} \right)^{0,414} \right), \quad (3)$$

де  $t_{M(1-2)}$  – поточний час визначення.

Весь процес роботи припрацювальної оливи в ДВЗ при реалізації процесів, циклів і етапів підкоряються характерній степеневій залежності (рис. 2).

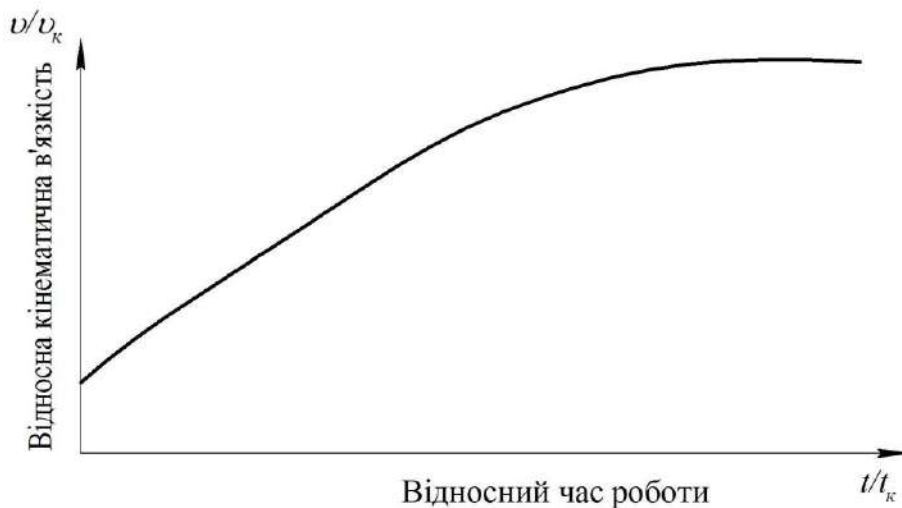


Рисунок 2 – Залежність зміни відносної в'язкості від відносного часу роботи оливи в ДВЗ транспортних машин

При цьому ентропія, супроводжувана накопиченням енергії, буде змінюватися за експоненційною залежністю і може бути описана рівнянням, що зв'язує час роботи оливи з ентропією:

$$t_p = -\frac{1}{\nu} \cdot \ln \left( 1 - \frac{S_i}{x \cdot S_p} \right), \quad (4)$$

де  $\nu$  – коефіцієнт швидкості спрацювання присадок, добавок ( $\nu = 3 \cdot 10^{-3}$ );  $S_p$  – величина граничного зміни ентропії, коли подальше використання припрацювальної оливи є недоцільним (кДж/кг·К);  $x$  – коефіцієнт, що враховує працездатність оливи.

Граничну зміну ентропії  $\Delta S_p$ , яку могла б мати припрацювальна олива в процесі всього періоду використання, визначимо як ізотермічний процес при усередненій температурі оливи і максимальному навантаженні:

$$\Delta S_p = \frac{\Delta q_{xp}}{T_p} = \frac{\delta \cdot \varphi_x \cdot N \cdot T_{III} \cdot 3600}{\sigma_M \cdot T_p}, \quad (5)$$

де  $\delta$  – коефіцієнт, що враховує величину частки тепла, що отримується маслом (приймаємо рівним  $\delta = 0,6$ );  $\varphi_x$  – коефіцієнт, що враховує величину частки тепла, що витрачається на протікання хімічної реакції ( $\varphi_x = 0,015$ );  $T_{III}$  – прогнозоване час роботи оливи.

Отримані вирази і залежності дозволять визначити напрямки підвищення ефективності використання припрацювальної оливи в технологічному процесі припрацюванні основних спряжень деталей та обкатки відремонтованих двигунів транспортних машин.

### Список літератури:

1. Гуреев А.А. Химмотология / А.А. Гуреев, И.Г. Фукс, В.Л. Лашхи. - Москва: Химия, 1986. - 368 с.
2. Остриков В.В. Физико-химические процессы «старения» моторных масел и способы их замедления / В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. - 2004. - №2. - С. 47-51.
3. Салмин В.В. Обеспечение сохранности мобильной техники путем подбора антикоррозионных смазочных материалов : монография / В.В. Салмин, Д.Ю. Вавилкин. - Пенза : ПГУАС, 2013. - 136 с.
4. Салмин В.В. Улучшение эксплуатационных показателей автотракторных двигателей совершенствованием трибохимических и гидро-термодинамических процессов в смазочных системах: дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.03 / В.В. Салмин. - Саранск, 2003. - 475 с.

5. Серегин Е.П. Химмотология и современность: достижения и проблемы / Е.П. Серегин // Химия и технология топлив и масел. - 1992. - № 11. - С. 2-4.
6. Сорокин И.А. Ускоренная обкатка как контроль качества ремонта дизельных двигателей Д-240 / И.А. Сорокин // Вестник НГИЭИ. - 2013. - № 2 (21). - С. 50-57.
7. Перминов Б.Н. Теоретическое исследование старения моторного масла в судовых тронковых дизелях / Б.Н. Перминов // Труды Дальневосточного государственного университета. - № 137. - 2004. - С. 162-169.
8. Тупотилов Н.Н. Особенности кинетики «старения» работающих моторных масел / Н.Н. Тупотилов, В.В. Остриков, В.В. Жилин // Химия и технология топлив и масел. - 2005. - № 3. - С. 32-33.
9. Храпцов Н.В. Обкатка и испытание автотракторных двигателей / Н.В. Храпцов. - Москва : Агропромиздат, 1991. - 123 с.
10. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення: монографія / Аулін В.В. та ін.; за ред. В.В. Ауліна. Кропивницький: Лисенко В. Ф. 2016. 303 с.
11. Можливості технологій триботехнічного відновлення для підвищення зносостійкості і довговічності спряжень деталей транспортних засобів / Аулін В.В. та ін. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті: науковий журнал. 2018. №1(10). С. 5-11.
12. Аулін В.В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія. Кіровоград: Вид. Лисенко В.Ф., 2014. 370 с.
13. Войтов В.А., Стадниченко Н.Г., Джус Р.Н., Стадниченко В.Н. Технологии триботехнического восстановления. Обзор и анализ перспектив. Проблемы трибологии. 2005. №2. С. 86-94.
14. Аулін В.В. Можливості технологій триботехнічного відновлення для підвищення зносостійкості і довговічності спряжень деталей транспортних засобів. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2018. №1(10). С. 5-11.
15. Аулін В. В., Лисенко С.В., Кузик О.В., Жилова І.В. Фізико-мезомеханічний підхід до виявлення характеру зношування спряжень деталей сільськогосподарської і автотранспортної техніки. Проблеми трибології. 2017. № 4. С. 82-86.



## **КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ РОБОЧОГО ШАРУ ХРОМОНІКЕЛЕВИХ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ ЗА КОЕРЦИТИВНОЇ СИЛОЮ – СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ РЕСУРСУ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

**А.К. Автухов, д-р. техн. наук, доц.,  
О.С. Кур'янов асп.,**

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра  
Василенка, м. Харків, Україна*

Одним з визнаних шляхів підвищення ресурсу валків є розробка нових підходів до комплектації їх в пари перед установкою в кліть [1].

При підборі валків враховують хімічний склад, твердість, тривалість природного старіння (у разі, якщо вони не пройшли термообробку), геометричні розміри [2].

В останні роки для підбору валків в комплект стали використовувати неруйнівні методи контролю: ультразвуковий, вихрострумний і магнітний.

Практика використання ультразвукового і вихрострумного методів показала, що вони не дозволяють коригувати і оптимізувати технологію підготовки валків до експлуатації оскільки спрямовані на визначення наявності тріщин або раковин. Це, як правило, вимагає вибракування або капітального ремонту валка.

Магнітний метод, заснований на вимірюванні коерцитивної сили, більш інформативний [3,4]. Застосування цього методу пояснюється тим, що коерцитивна сила є однією з найбільш структурно-чутливих характеристик феромагнітних матеріалів і дає можливість реєструвати неоднорідності робочого шару, що виникають, як в наслідок технологічних проблем при виготовленні, так і внаслідок накопичення напружень при експлуатації [5,6]. Аналіз неоднорідності робочого шару в процесі підготовки валків до експлуатації, дає можливість прогнозувати їх напрацювання.

Під час проведення досліджень були проаналізовані хромонікелеві валки виконань ЛПХНМд-71 розміром 675×1760 листових станів 1700. Хімічний склад досліджених валків відповідав технічним умовам на їх виготовлення (ТУ У27.1-26524137-1291-2007) [7].

Аналіз експлуатаційної стійкості валків показує, що середній обсяг прокату на 1мм знімання робочого шару валків стана 1700 становить ≈1850т. [8].

Кінцевий діаметр валків при списанні, що використовувались в одному комплекті стану 1700 відрізняється на 1,5-2,5 мм. Це свідчить про те, що деякі комплекти валків списуються за наявності не використаного робочого шару одного з них. При цьому діаметр валка або рівень його твердості не є визначальними.

З огляду на це можна зробити висновок: залишковий ресурс окремих валків після списання штучно знижено на 4255-4902,5 т, що становить ≈5-6% загального напрацювання.

З проведеного аналізу видно, що для збільшення ресурсу валків доцільно кліті комплектувати валками з однаковим наробітком робочого шару. Це дозволить забезпечити максимальне використання їх ресурсу.

Були проведені додаткові дослідження з вивчення можливості прогнозування напрацювання валків. При підборі валків в комплект враховували діаметр їх бочки, твердість і показники коерцитивної сили робочого шару.

У всіх комплектах діаметри валків були близькими за геометричними розмірами. Два комплекти були підібрані з однаковими показниками твердості і різним рівнем коерцитивної сили, а чотири – з однаковим рівнем коерцитивної сили [9] і рівними або відмінними характеристиками твердості.

Значення показників твердості і коерцитивної сили визначали перед термообробкою, після термообробки, перед перешліфовкою і після перешліфовки робочого шару.

Аналіз експлуатаційної стійкості показав, що валки підібрані в комплекти з близькими початковими діаметрами, твердістю але різною величиною коерцитивної сили були списані з діаметрами, що істотно відрізнялися кінцевими розмірами. Різниця кінцевих розмірів при списанні становила 4,1 мм.

Валки, що були підібрані в комплекти з близькими початковими діаметрами, величиною коерцитивної сили і твердістю після списання мали однаковий діаметр – 636мм.

Додаткові дослідження результатів виробничих випробувань хромонікелевих валків показали, що при підборі їх в комплект з близькими геометричними характеристиками і показниками твердості вони не мали однаковий знос за компанію (закладку), який складав – 0,812-1,37 мм.

При доборі комплекту валків за близькими геометричними характеристиками і показниками твердості з додатковим визначенням рівня коерцитивної сили, значення показників якої не відрізнялися більше ніж на 10-15%, їх виробіток за закладку був близьким до максимального і становив – 0,96-1,068 (середній показник 1,014). Середні показники напрацювання комплектів валків, підібраних за коерцитивною силою, були на 7,98% вище, ніж у комплектів підібраних без урахування цього показника.

#### **Висновки.**

В результаті проведених досліджень було встановлено, що магнітний контроль за коерцитивною силою робочого шару прокатних валків при їх комплектуванні дозволяє підібрати валки з однаковим ресурсом і підвищити ефективність їх експлуатації.

В результаті підбору комплектів валків за близькими початковими діаметрами, величиною коерцитивної сили і твердістю можливо збільшити число їх переточувань і напрацювання за закладку, в середньому, на 7,5%.

Значення колювання показань коерцитивної сили при підборі комплекту по цій характеристиці не повинні перевищувати 10-15.%

#### **Список літератури.**

1. Приходько В.П. Проблемы эксплуатации валков прокатных станов / В.П. Приходько// Прокатное производство.-1985.-№8.-С.45-47.
2. Производство и применение прокатных валков: Справочник/ Скобло Т.С., А.И.Сидашенко, Н.М.Александрова и др. Под ред. Т.С.Скобло. - Х.: ЦД №1, 2013.-572 с. (с.531).
3. Бидга В.Г. Коэрцитиметрия в неразрушающем контроле/ В.Г.Бидга, А.П. Ничипурук//Дефектоскопия. – 2000.-№10.-С.3-27.
4. Матюк В.Ф. Контроль структуры, механических свойств и напряженного состояния ферромагнитных изделий методом коэрциметрии/В.Ф. Матюк, В.Н. Кулагин// Наука. Серия. Неразрушающий контроль и диагностика. 2010.-№3.-С.4-14.
5. Безлюдько Г.Я. Оценка текущего состояния и остаточного ресурса прокатных валков на основе магнитного (по коэрцитивной силе) метода неразрушающего контроля/Г.Я. Безлюдько, В.Ф. Мужичкий, Л.А. Крутикова и др.//Дефектоскопия.-2002.-№4.-С.3-9.
6. <http://www.cta.ru>. Муриков С. Роботизированный комплекс магнитной диагностики прокатных валков./С.Муриков, И.Артемьев, В.Урцев, А.Кудрешов и др.//Современные технологии и автоматизации (контрольно измерительные системы).-2010.-№3.-С.60-67.
7. Валки для металлопрокатных станов из чугуна. ТУ У 27.1-26524137-1291-2007.
8. Скобло Т.С. Анализ эксплуатационной стойкости двухслойных чугунных валков./Скобло Т.С., Атухов А.К., Соколов Р.Г.//Сталь-2015.-№2.-С.34-37.
9. Патент UA №101535 B21B31/00, B21B21/00. Спосіб комплектування прокатних валків./Скобло Т.С. Автухов А.К., Сидашенко О.І., та ін..\_Опуб.25.09.2015, Бюл.№18

## КІБЕРФІЗИЧНИЙ ПІДХІД В ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

В.В. Аулін, *д-р. техн. наук, проф.*,

А.В. Гриньків, *канд. техн. наук*,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Загально відомо, що технічні системи – це штучно створені системи, які являють собою сукупність взаємосприяючих складових матеріальної і нематеріальної природи, об'єднання яких між собою та зовнішнім середовищем за допомогою фізичних та інформаційних зв'язків утворює нові властивості непритаманні окремим складовим. Що стосується основного завдання технічних систем, то це виконання закладених в них функцій.

Загальні принципи структурної побудови технічних систем являють собою ієрархічні відношення певних рівнів технічної і функціональної складності та призначення.

Розглянемо структурну побудову технічних системи на прикладі кіберфізичного підходу. Результатом функціонування таких систем є останні наукові і технологічні досягнення, що базується на кіберфізичній теорії.

Кіберфізичні системи (CPS), як технічні комплекси які складаються з природніх об'єктів, штучних підсистем і мікроконтролерів, завдяки їх швидкому розвитку і прийняттю концепції Індустрії 4.0 зазнало суттєвих змін. На сьогодні загальновідомі промислові, транспортні кіберфізичні системи та кіберфізичний світ. Кіберфізичні системи це системи, в яких фізичні і програмні компоненти працюють в різних просторових і часових масштабах, тісно переплітаються, демонструючи множинні і чіткі взаємосприятливі поведінкові акти і взаємодіють між собою за допомогою Інтернету і хмарних технологій безліччю способів, які змінюються з контекстом.

В контексті апаратної реалізації заданих функціональних сервісів ієрархічна інфраструктура промислової CPS складається з рівнів: елементів, вузлів, підсистем.

До рівня елементів відносяться датчики, функція яких створення вимірювальних сигналів і їх перетворення в дані (повідомлення), зручні для подальшої обробки. До рівня вузлів відносяться мікроконтролери і промислові комп'ютери, які виконують обробку вимірювальних даних, видачу сигналів управління на виконавчі пристрої, формування даних (повідомлень) для систем моніторингу, контролю та управління, виконавчі пристрої. До рівня підсистем належать комп'ютери, сервери, пристрої хмарних сервісів, які забезпечують роботу систем диспетчеризації і управління підприємством (SCADA, DCS, MES, ERP).

Між рівнями і їх структурними апаратними одиницями існує зв'язок, кожен з яких виконує набір незалежних задач. Реалізація зв'язків здійснюється за допомогою сегментованої промислової або комп'ютерної мережі.

Виходячи з кіберфізичного підходу апаратну структуру технічної системи аналітично можливо представити наступним чином:

$$\begin{aligned} \{Sys\} &= \{Lev_{\alpha} \{Lev_{(\alpha-1)} \{ \dots \{Lev_1\} \} \} \} = \\ & \left\{ \bigcup_{\beta^{\alpha}=1}^{m^{\alpha}} Con_{\alpha\beta^{\alpha}} \left\{ \bigcup_{\beta^{(\alpha-1)}=1}^{m^{(\alpha-1)}} Con_{\alpha\beta^{\alpha}\beta^{(\alpha-1)}} \left\{ \dots \left\{ \bigcup_{\beta^1=1}^{m^1} Con_{\alpha\beta^{\alpha}\dots\beta^1} \right\} \right\} \right\} \right\} = \quad , \quad (1) \\ & \left\{ \bigcup_{\beta^{\alpha}=1}^{m^{\alpha}} \bigcup_{\gamma^{\alpha}=1}^{n^{\alpha}} Dev_{\alpha\beta^{\alpha}\gamma^{\alpha}} \left\{ \bigcup_{\beta^{(\alpha-1)}=1}^{m^{(\alpha-1)}} \bigcup_{\gamma^{(\alpha-1)}=1}^{n^{(\alpha-1)}} Dev_{\alpha\beta^{\alpha}\gamma^{\alpha}\beta^{(\alpha-1)}\gamma^{(\alpha-1)}} \left\{ \dots \left\{ \bigcup_{\beta^1=1}^{m^1} \bigcup_{\gamma^1=1}^{n^1} Dev_{\alpha\beta^{\alpha}\gamma^{\alpha}\dots\beta^1\gamma^1} \right\} \right\} \right\} \right\} \end{aligned}$$

де  $Lev_x$  – множина рівнів ( $Lev_{x-1} \subset Lev_x \subset Sys$ ),  $Con_{\beta^x}$  – множина складових відповідного рівня ( $\forall Con_{\beta^x} \subset Lev_x$ ),  $Dev_{\beta^x\gamma^x}$  – множина структурних апаратних одиниць

$(\forall Dev_{\beta^x \gamma^x} \subset Con_{\beta^x})$ ,  $\{\alpha:1\}$  – множина індексів ієрархічних рівнів,  $\beta = (1:m^x)$  – індекс складової рівня  $x$ ,  $\gamma = (1:n^x)$  – множина індексів структурних апаратних одиниць складової рівня  $x$ ,  $x$  – довільний індекс.

Горизонтальні зв'язки між складовими та пристроями рівнів відсутні. Множини, що складають рівні відносяться до множин вищого рівня і визначаються характеристичним вектором як бінарним відношенням між складовими зв'язками.

На увагу заслуговують системоутворюючі зв'язки між елементами, вузлами та підсистемами:

$$L_{(x-1)y} \subset L_{xy} \mid \forall L_{(x-1)y} \in L_{x-1}, b_i = 1, \quad (2)$$

де  $L_x$  – множина довільного рівня,  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_{|L_x|}\}$  – характеристичний вектор множини  $L_x$ ,  $i = (1:|L_x|)$ ,  $x$  – довільний індекс рівня,  $y$  – довільний індекс складової множини  $L_x$ .

Таким чином, в роботі запропоновано кіберфізичний підхід до розгляду стану технічних систем з урахуванням ієрархічних відношень певних рівнів технічної і функціональної складності та призначення систем. Запропоновано представлення технічних систем у вигляді їх сенсорних інфраструктур в системі сенсорів. Розглянуто визначення сенсорно-апаратної, сенсорно-функціональної та сенсорно-програмної інфраструктури.

### Список літератури

1. Ауліє 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 нац. техн. університету сільск. господарства. /Вип. 158. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. – Харків. – 2015.-С.252-262.
2. Аулін В.В., Гриньків А.В. Теоретичне обґрунтування методу і системи діагностування стану мобільної сільськогосподарської техніки // Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства. /Вип. 163. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. – Харків. – 2015.-С.39-44.
3. Аулін В.В., Черновол М.І., Гриньків А.В. Узгодження зміни технічного стану з раціональним вибором об'єкту діагностування // Вісник інж. академії України. – 2015. – №2. – С. 182-188.
4. Аулін В., Бичевой И. Диагностический мониторинг технического состояния электронных систем автомобилей // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2016. Vol.18. No.2. – P. 103-109.
5. Аулін В.В., Гриньків А.В. Теоретичне обґрунтування моментів контролю технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2017. – №8. – С. 9-20.
6. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологія визначення основних експлуатаційних властивостей та якості функціонування транспортних і технічних систем // Вісник інж. академії України. – 2017. – №2. – С.110-115.
7. Аулін В.В., Панков А.А. Эволюционное вычисление жизненного цикла технических средств на основе генетических алгоритмов // Вісник інж. академії України. – 2017. – №2. – С.116-119.
8. Aulin V., Hryniv A., Dykha O., Chernovol M. et al. Substantiation of diagnostic parameters for determining the technical condition of transmission assemblies in trucks // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 2, Issue 1 (92). P. 4–13.
9. Аулін В.В., Замота Т.Н., Замота О.Н., Гриньків А.В. Технично-економічне обґрунтування переваг інтелектуальної стратегії технічного обслуговування і ремонту легкового автомобіля // Вісник інж. академії України. – 2017. – №4. – С.50-56.
10. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Удосконалення системи транспортного обслуговування підприємств агропромислового виробництва // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 47, ч.ІІ. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – С. 3-10.
11. Aulin V., Hryniv A., Lysenko S., Rohovskii I. et al. Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability during vehicle operation // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2019. Vol. 1 (6 - 97). - P. 7-12.
12. Аулін В.В., Замота Т.Н., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Крупица О.В., Панайотов К.К. Обоснование использования современных подходов для усовершенствования диагностирования систем и агрегатов автомобиля // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2019. Вип. 2(33). С.65-75.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ, НАПРЯМКІВ ТА ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ  
ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ТА СПІВВІСНОСТІ КОРИННИХ ОПОР БЛОККАРТЕРІВ  
ДВИГУНІВ**

**С.І Маркович**, канд. техн. наук, доц.,  
**В.О. Дубовик**, канд. техн. наук, доц.,  
**О.Ю. Жулай**, канд. техн. наук, ст. викл.,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Деформація базових поверхонь блоку і кришок двигуна приводить до спотворення форми і розміру корінних опор блоку по діаметру і зсуву центру отворів середніх корінних опор що до крайніх, тобто приводить до неспіввідності останніх. Все це впливає на початкове взаємне розташування поверхонь тертя і приводить до інтенсивного зношування колінчастого валу і корінних підшипників. Білов Е. А. [1], Краснов В.В. [2], Тяжелов И.Н. [3], Финкельштейн З.С. [4], Ільяков В. [5], Кузнецова С.А. [6] вивчаючи роботу двигунів, пришли до висновку, що однією з основних причин недостатнього терміну служби двигуна є зміни геометричних розмірів та співвідності корінних опор блоккартерів двигунів.

Мета дослідження: визначення характеру, напрямків та закономірностей зміни геометричних розмірів та співвідності корінних опор блоккартерів двигунів.

Дослідження проводилось в рамках реалізації Програми впровадження регіональних наукових досліджень у промислове виробництво Кіровоградської області на 2017-2020 роки між університетом та координатором виконання заходів і завдань Програми – Департаментом інфраструктури та промисловості Кіровоградської обласної державної адміністрації згідно договору від 22 листопада 2019 року № 31.119 на виконання науково-дослідної роботи "Розробка та впровадження технології та оснащення для відновлення співвідності та оптимальних геометричних параметрів корінних опор блоккартерів ДВЗ".

Як об'єкти дослідження прийняті блоки двигунів ЯМЗ-238НБ, що поступили в капітальний ремонт. Дослідження проводили в моторній дільниці ПрАТ "Кіровоградське автотранспортне підприємства "Агробудавтосервіс".

Мінімальне число об'єктів спостережень підраховане по ГОСТ 17510-79. Всі заміри проведено згідно ГОСТ 18509-80. Блоки заміряні в зборі з кришками при моменті затягування болтів 30-32 Н-м. Схема вимірів діаметру корінних опор блоків приведена на рис. 1. Виміри проведені в 3-х площинах (А-А, Б-Б, В-В) і 2-х перетинах (I-I, II-II). Перший перетин вибрано найближчий до радіатора, заміри проведені на відстані 8 мм від початку корінної опори блоку. Другий перетин брали на відстані 8 мм від кінця корінної опори. Заміри проведені нутроміром індикаторним 80 - 120 мм. Погрішність вимірювання +12 мкм.

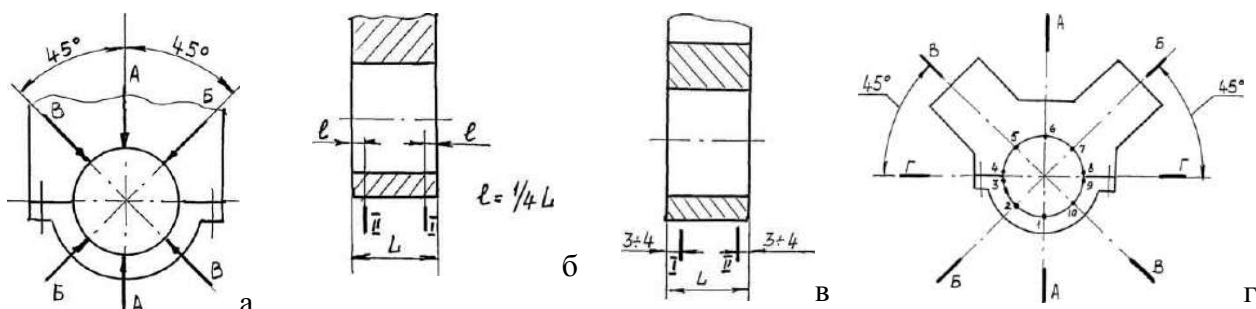


Рисунок 1 – Схема вимірів діаметру а) корінних опор блоків двигунів ШВ-238НБ в трьох площинах ( А-А, Б-Б, В-В ) а) і двох перетинах ( I-I, II-II ) б); деформацій корінних опор блоків двигунів ЯМЗ-238нб в двох перетинах (I-I, II-II), чотирьох площинах ( А-А, Б-Б, В-В, Г-Г )

Одночасно з вимірюванням діаметру корінних опор заміряли і деформацію в блоках і кришках цих опор. Виміри проведені пристосуванням, виготовленим по аналогії з приладом

Ярославського об'єднання "Автодизель" [7] для виміру деформації корінних опор блоку двигуна ЯШ-236. Погрішність вимірювання +4 мкм.

Для роботи з пристосуванням блок двигуна встановлювався в робоче положення так, щоб він спирався на подовжні бічні стінки, але у жодному випадку не на кришки опор колінчастого валу щоб уникнути їх деформації. Затягування болтів кріплення кришок здійснювалося з моментом, що крутить, 30-32 Н-м, тобто з тим моментом, з яким були затягнуті болти при обробці корінних опор. Пристосування вводили в блок кінцем вільним від індикатора. Свідчення індикатора записували через кожні 45°, повертаючи пристосування за годинниковою стрілкою на 360°.

Деформація кожної корінної опори заміряна в 10 точках (5 точок в блоці і 5 точок в кришках), розташованих у взаємно перпендикулярних площинах (А-А і Г-Г, Б-Б і В-В), а також в 2-х перетинах (І-І, ІІ-ІІ), розташованих від кінців корінних опор на відстані 3-4 мм. Значення деформацій вибрані найбільші з розглянутих двох перетинів.

Виміри деформації корінних опор починали з точок 1,2. Деформація в районі площини роз'єму заміряна в точках близько розташованих до площини роз'єма: 3-8, 4-9. Після повного обороту пристосування стрілка індикатора поверталася в нульове положення. Записавши показання індикатора з першою по п'яту корінні опори, отримали епюри розподілу деформації всіх п'яти корінних опор.

Для дослідження неспіввісності корінних опор по ГОСТ 17510-79 підраховано мінімальне число об'єктів спостережень. Мінімальне число об'єктів спостережень для блоків склало 41 (при довірчовальній вірогідності  $\beta = 0,95$ ; відносній помилці  $\delta = 0,10$ ; коефіцієнті варіації  $\gamma = 0,43$ ). Об'єм вибірки прийнятий  $N = 50$ .

Одночасно з виміром деформації у цих двигунів визначена зміна діаметру корінних опор.

Для дослідження зміни діаметру корінних опор блоків, що поступили в капітальний ремонт, по ГОСТ 17510-79 підраховано мінімальне число об'єктів спостережень. Мінімальне число об'єктів спостережень 36 (при довірчій вірогідності  $\beta = 0,95$ ; відносній помилці  $\delta = 0,10$ ; коефіцієнті варіації  $\gamma = 0,34$ ), Об'єм виборки прийнятий  $N = 40$ .

На рис.2 представлені полігони розподілу зміни діаметру корінних опор блоків двигунів ЯМЗ-238НБ, що поступають в капітальний ремонт. Значення відхилень вибрані найбільші з розглянутих двох перетинів. Абсолютне значення відхилень діаметру визначені по відношенню до номінального розміру діаметру корінних опор блоку, рівного 116 мм.

З приведених графіків видно, що у 90 % корінних опор блоків діаметр перевищує допустимий технічними умовами (+0,030 мм); зміна діаметру корінних опор спостерігається як у бік збільшення (позитивні значення  $X_i$ ), так і у бік зменшення діаметру (негативні значення  $X_i$ ); найбільша зміна діаметру корінних опор спостерігається в площині Б-Б, тобто під кутом 45° до горизонту у бік обертання колінчастого валу.

Збільшення діаметру корінних опор блоків може бути пояснено деформацією останніх. Максимальна значення діаметру досягають величини 116,080 мм і спостерігаються у першої і п'ятої корінних опор.

Зменшення діаметру корінних опор блоків відбувається, на наш погляд, за рахунок зім'яття поверхонь раз'єму блоку і кришок, що виникають в процесі мікропереміщень їх щодо один одного при затягуванні болтів, сполучаючих кришки з блоками.

Характерно, що для всіх п'яти корінних опор обох конструкцій блоків найбільше зменшення діаметру спостерігається у вертикальній площині (А-А) і доходить до значень діаметру, рівного 115,940 мм.

Найбільше збільшення діаметру корінних опор блоків в площині Б-Б (на відміну від однорядних двигунів, де найбільше збільшення діаметру спостерігається у вертикальній площині А-А) пояснюється, на наш погляд, конструкцією V - подібного двигуна ЯМЗ-238НБ, у якого циліндри розташовані під кутом 45° до горизонту.

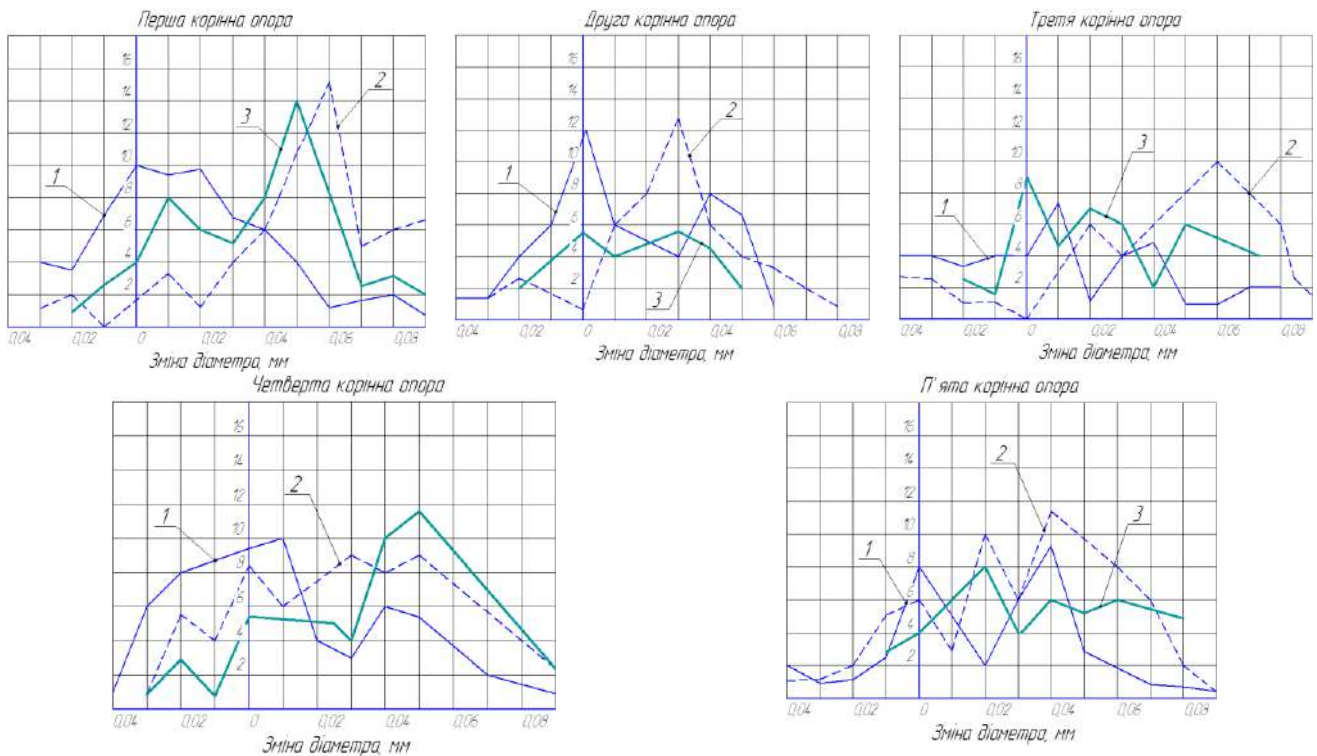


Рисунок 2 – Полігони розподілу зміни діаметра корінних опор блоків двигунів ЯМЗ-238НБ, що поступають в капітальний ремонт: 1- в площині А-А, 2 - в площині Б-Б, 3 - в площині В-В

Визначені емпіричні криві розподілу зміни діаметру п'яти опор блоків двигунів ЯМЗ-238НБ, що поступають в капітальний ремонт, і статистичні характеристики цих змін.

З приведених графіків і статистичних характеристик визначили, що найбільше збільшення діаметру мають перша ( $X = 0,042$  мм) корінна опора. Найменше збільшення діаметру ( $X = 0,035$  мм) спостерігається у 3-ої і 4-ої;  $x = 0,036$  мм корінних опор.

Найбільше збільшення діаметру крайніх корінних опор, на наш погляд, пояснюється обертанням консольних кінців колінчастого валу, що розбивають корінні опори. Крім того, наявність маховика на кінці колінчастого валу поблизу п'ятої корінної опори збільшує навантаження на неї і посилює збільшення діаметру. На збільшення діаметру другою, третьою і четвертою корінних опор, мабуть, впливає деформація блоку.

Статистична обробка даних мікрометражу дозволила визначити вірогіднісний закон, якому підкоряються данні емпіричні розподіли.

Як показало дослідження, емпіричні криві розподілу зміни діаметру всіх п'яти корінних опор блоків базової конструкції є асиметричними і аксесивними. Криві перших чотирьох корінних опор мають позитивну асиметрію, а крива п'ятої корінної опори має негативну асиметрію. Асиметричність кривої 2 корінної опори найбільша ( $a_s = 0,741$ ), асиметричність кривої 1 корінної опори найменша ( $a_s = 0,026$ ). Величини асиметрії і ексцесу у кривих розподілу зміни діаметру всіх корінних опор блоків не перевищують потрібних значень їх помилок. Це свідчить про добре узгодження емпіричних кривих з кривою нормального розподілу.

Знаючи закон, якому підкоряється дане емпіричне розподілення, визначена кількість корінних опор блоків, не лежать в межах поля допуску. Ця кількість склала: для 1 корінної опори - 86 %, для 2 корінної опори - 78 %, для 3 корінної опори - 64 %, для 4 корінної опори - 66%, для 5 корінної опори - 83 % .

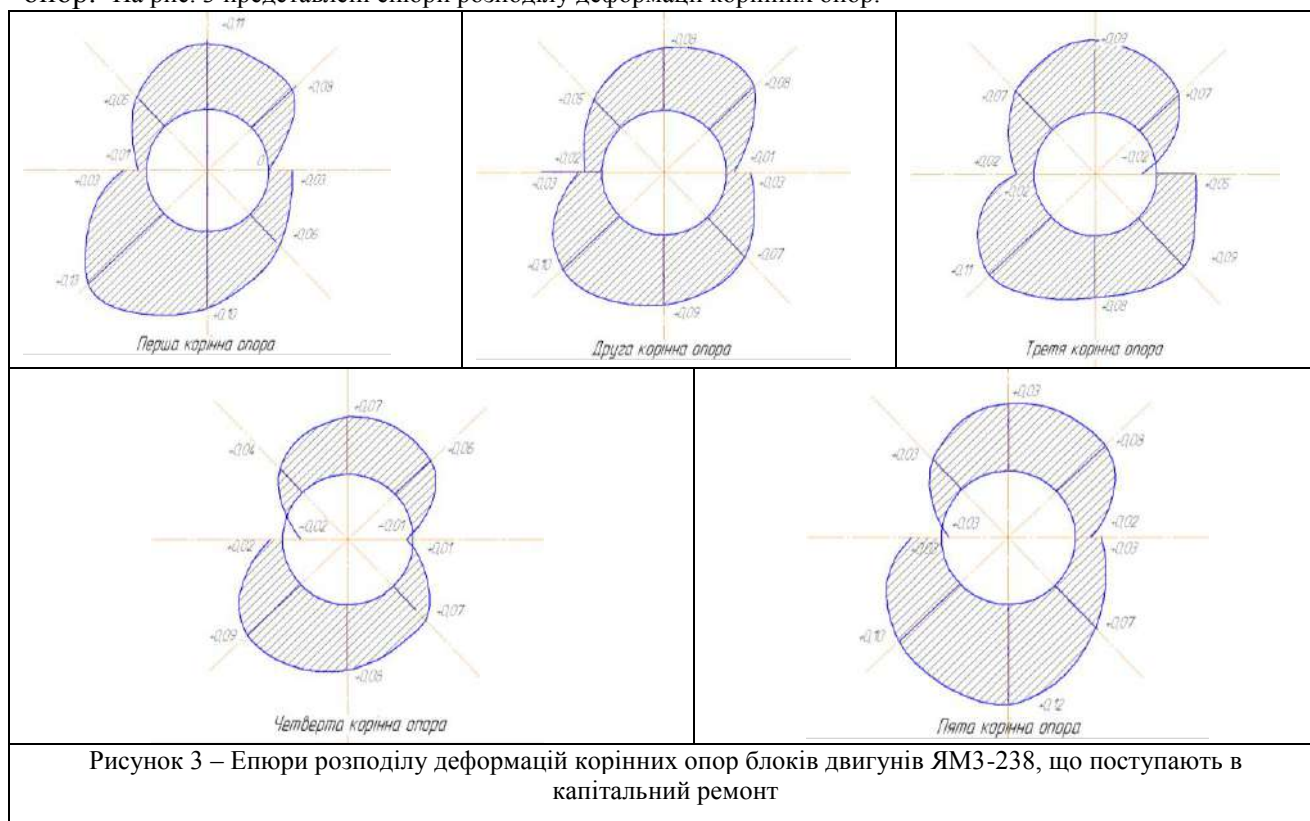
Оскільки в процесі експлуатації двигунів відбувається не тільки зміна діаметру корінних опор по величині, але змінюється і їх геометрія, яка приводить до неспіввісності корінних опор, то досліджена і геометрія корінних опор блоків двигунів ЯМЗ-238НБ, поступаючих в капітальний ремонт, а також визначена неспіввісність.

Для дослідження неспіввісності корінних опор блоків двигунів ЯМЗ-238НБ, що поступають в капітальний ремонт, по ГОСТ 17510-79 підраховано мінімальне число об'єктів



спостережень. Мінімальне число об'єктів спостережень склало 41 (при  $\beta = 0,95$ ;  $\delta = 0,10$ ;  $\gamma = 0,43$ ). Об'єм вибірки прийнятий  $N = 50$ .

Одночасно з виміром деформації у цих двигунів визначена зміна діаметру корінних опор. На рис. 3 представлені епюри розподілу деформації корінних опор.



З представлених епюр видно, що найбільшу деформацію мають крайні корінні опори - перша і п'ята; найбільша деформація корінних опор спостерігається у вертикальній площині (А-А) і в площині, розташованій під кутом  $45^\circ$  до горизонту (Б—Б); найменша деформація спостерігається в площині роз'єму блоку і кришок (Г-Г)4 деформація кришок більше деформації блоків.

Епюри розподілу деформації корінних опор дозволили розрахувати неспіввісність середніх корінних опор блоку двигуна щодо крайніх, прийнятих за базові.

Розрахунок величини неспіввісності середніх корінних опор щодо крайніх, прийнятих за базових, проведений по методиці, запропонованій в роботі [8]. По цій методиці спочатку визначена величина зсуву центру всіх корінних опор щодо осі пристосування. Ця величина визначена як напіввісниця алгебраїчного найбільшого і найменшого значення свідчення індикаторної головки, заміряних в протилежних крапках, з урахуванням значень зміни діаметру, що доводиться на сторону корінної опори, що заміряється, тобто:

$$C_i = \frac{(a_{\delta i} - h_{\delta}) - (a_{\mu i} - h_{\mu})}{2} ,$$

де  $a_{\delta i}$   $a_{\mu i}$  - числові значення свідчень індикаторної головки, виражені в мм, з боку більшої і меншої зміни діаметру;  $h_{\delta}$  - числове значення найбільшої зміни діаметру, вираженого в мм, в площині, що заміряється;  $h_{\mu}$  - числове значення найменшої зміни діаметру, вираженого в мм, в тій же площині виміру.

Враховуючи, що найбільша деформація корінних опор спостерігається у вертикальній площині (А-А) і в площині, розташованій під кутом  $45^\circ$  до горизонту Б-Б), а найбільше збільшення діаметру корінних опор обох конструкцій блоків є в площині Б-Б (рис.3 ), нами розглянутий зсув центрів корінних опор тільки у вертикальній площині.

Далі розрахунковим шляхом, з урахуванням відстаней від досліджуваної корінної опори до крайніх, прийнятих за базових, а також про облік зсуву центру пристосування



щодо центру досліджуваної корінної опори, знайдений зсув центрів середніх корінних опор. Потім по GT СЕВ 301-76 підрахована величина неспіввісності середніх корінних опор щодо крайніх, прийнятих за базові.

Визначені емпіричні криві розподілу неспіввісності середніх корінних опор щодо крайніх, прийнятих за базові, блоків двигунів ЯМЗ-238НБ, що поступають в капітальний ремонт, і статистичні характеристики цих неспіввісностей.

З графіків і статистичних характеристик встановлено, що найбільшу неспіввісність має третя корінна опора ( $X=0,027$  мм). Найменшу неспіввісність має 2 корінна опора ( $X = 0,019$  мм).

Причому максимальні значення неспіввісностей корінних опор блоків двигунів досягають величини: для 2 корінної опори - 0,064 мм, для 3 корінної опори - 0,094 мм, для 4 корінної опори - 0,064 мм.

Статистична обробка даних мікрометражу дозволила визначити імовірнісний закон, якому підкоряються дані емпіричні розподіли.

Величини асиметрії і ексцесу у кривих розподілу неспіввісності корінних опор обох конструкцій блоків не перевищують потрібних значень їх помилок  $\delta a_3 = 0,35$ ;  $3\delta a_3 = 1,05 \geq a_3$ ;  $= 0,70$ ;  $3\delta e_k = 2,10 \geq e_k$ . Це свідчить про хороше узгодження емпіричних кривих з кривою нормального розподілу.

**Висновки.**

1. В результаті експлуатації двигунів відбувається деформація блоків і кришок корінних підшипників, що приводить до спотворення геометрії корінних опор блоку.

2. Зміна діаметру корінних опор у блоків підкоряється закону нормального розподілу.

3. Деформація кришок більше деформації блоків і досягає максимального значення 0,130 мм.

4. Спотворення геометричної форми корінних опор в блоці і кришках корінних підшипників викликає відхилення корінних опор від номінального розміру як по діаметру, так і по неспіввісності. Найбільші відхилення від номінального розміру діаметру спостерігаються у першій і п'ятій корінних опор і складають:  $X=0,042$  мм і  $X = 0,040$  мм відповідно. Максимальна величина відхилення від номінального розміру діаметру складає: 0,085 мм. Найбільша неспіввісність спостерігається у 3 корінної опори і складає:  $X = 0,027$  мм. Максимальна величина неспіввісності складає: 0,094 мм.

### **Список літератури**

1. Билев Е.А. Ремонт базових поверхностей блока цилиндров двигателя ЗИЛ-120. - Автомобильный транспорт, 1958, № 8, с.25-27.
2. Краснов В.В. Влияние несоосности коренных подшипников на нагруженность коленчатого вала тракторного двигателя. - Труды НАГМ, 1970, вып.206, с.73-84.
3. Тяжелов И.Н. Разработка методов оценки деформации и напряжений в кривошипно-шатунном механизме. - Отчет МАДИ, 1970. 251 с.
4. Финкельштейн З.С. Исследование надежности подшипников автомобильного двигателя. - Сб.: Надежность и контроль качества. Ежемесячное приложение к журналу "Стандарты и качество", 1971, № 9, с.69-74.
5. Ильяков Б. В. Контроль диаметра и соосности опор коренных подшипников. - Автомобильный транспорт, 1970, 10, с.39-40.
6. Кузнецова С.А. Исследование износов постелей блока двигателей ЯМЗ-238НБ, поступающих в капитальный ремонт. - Научные труды ЛСХИ, т.339, Ленинград-Пушкин, 1976, с.51-54.
7. Чирков М.Ф. Прибор для контроля соосности постелей под вкладыши коленчатого вала. - Автомобильная промышленность, 1973, № 4, с.15-17.
8. Тихомиров Г.А., Сеницын Н.М. Методика определения смещения опор валов корпуса бортовых фрикционов трактора. - В сб.: Ремонт, надежность и совершенствование машин, Труды, вып.29, Челябинск, 1967, с.319-325.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА НА БІОДИЗЕЛЬНОМУ ПАЛИВІ З ВОДОРОСТІ**

**С.І. Криштопа**, *д-р. техн. наук, проф.*,

**Л.І. Криштопа**, *канд. техн. наук, доц.*,

**І.М. Микитвій**, *асп.*

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

**Р. Шмігінс**, *д-р. техн. наук, проф.*,

*Латвійський університет наук про життя та технологій, м. Елгава, Латвія*

З урахуванням того, що нафта підходить до свого вичерпання, в світі прогнозується неминуче зростання цін на моторне паливо. Тому сьогодні існує актуальна проблема забезпечення потреби автомобільного транспорту та сільськогосподарської техніки в дизельному паливі ненафтового походження. Один з перспективних подальших шляхів розвитку біодизельного палива для автомобільного транспорту пов'язаний з використанням біомаси водоростей, які як енергетична сировина за своїми характеристиками перевершують інші сировинні біоресурси. Проте широкому впровадженню в практику біопалива з водоростей як добавки до моторного палива заважає недостатнє на даний момент вивчення питань надійності автомобільних та тракторних дизелів при використанні в них біопалив, які виготовлені із зазначених біоматеріалів.

Тому в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу у співпраці з латвійськими колегами університету наук про життя та технологій з м. Елгава були виконані експериментальні дослідження зміни потужнісних характеристик дизельного двигуна при використанні нафтового дизельного палива та його сумішей з біопаливами, які одержані з сине-зелених водоростей. Стендові дослідження проводили на експериментальній установці, що включала в себе серійний тракторний дизель Д21А1, коротка технічна характеристика якого наведена в табл. 1.

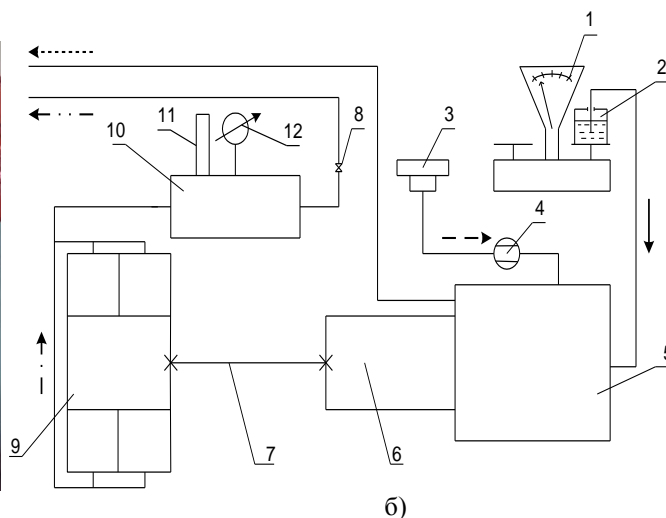
Таблиця 1 – Технічна характеристика малопотужного тракторного дизеля Д21А1

Назва параметрів двигуна	Одиниці вимірювання	Значення
Тип дизеля	-	Чотирьохтактний, двохциліндровий
Робочий об'єм	л	2,08
Номинальна потужність двигуна	кВт (к.с.)	18 (25)
Ефективна питома витрата палива	г/кВтгод (г/к.с. год)	253 (186)
Частота обертання колінчастого вала двигуна при номінальній потужності	об./хв.	1800
Маса дизельного двигуна	кг	280

Зазначений двигун відноситься до малопотужних тракторних дизелів і використовується на тракторах пострадянського простору, в тому числі України та Латвії. Вибір малопотужного дизельного двигуна пов'язаний з мінімізацією витрат на виконання експериментальних досліджень.

Схема та зовнішній вигляд дизельного двигуна Д21А1 зображені на рис. 1. Навантаження для двигуна Д21А1 (5) створюється за допомогою чотирьохступінчатого чотирьохциліндрового компресора марки К-5М (9). Потужність на валу компресора К-5М

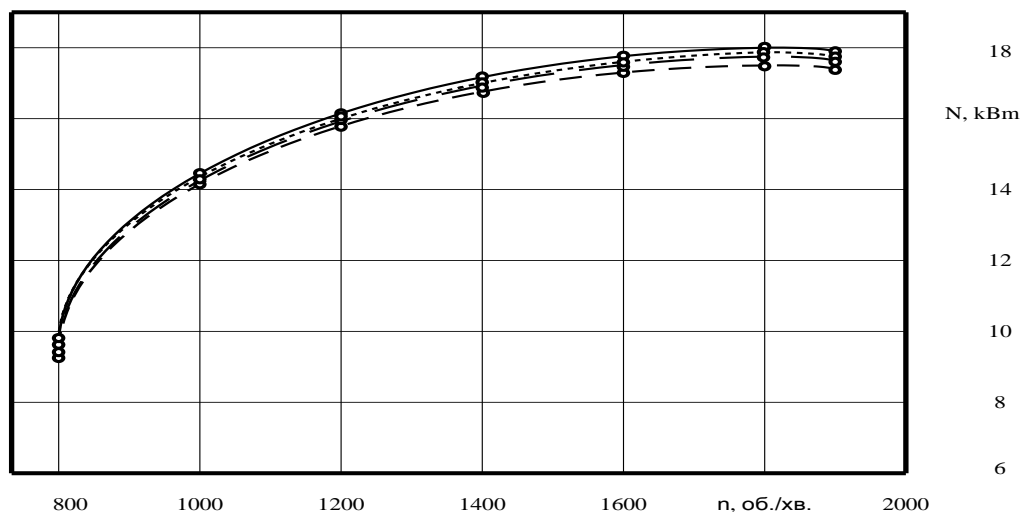
може регулюватись в діапазоні від одного до тридцяти п'яти кВт, що дозволяло на 100 % навантажити дизельний двигун. Крутний момент від двигуна Д21А1 до компресора передається за допомогою коробки перемикання передач (5) та карданної передачі (7).



1 – вага для вимірювання витрати палива; 2 – ємність для біодизельного палива; 3 – повітряний фільтр; 4 – газовий лічильник; 5 – експериментальний дизельний двигун; 6 – коробка перемикання передач; 7 – карданна передача; 8 – дросель; 9 – компресор; 10 – ресивер; 11 – термометр; 12 – манометр.

Рисунок 1 – Зовнішній вигляд (а) та схема експериментальної установки на базі двигуна Д21А1 (б) для дослідження показників роботи на біодизельних сумішах

Для порівняльної оцінки показників двигуна на дизельному паливі з відповідними показниками дизельного двигуна на суміші дизельного палива з біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції сине-зелених водоростей в кількості 5, 10 та 20 % знімалися навантажувальні характеристики двигуна на фіксованих частотах обертання колінвалу (рис. 2).



— робота двигуна на 100 % нафтовому дизельному паливі;  
 ..... робота двигуна на суміші з 95 % нафтового дизельного палива та 5 % метилових ефірів;  
 - - - - робота двигуна на суміші з 90 % нафтового дизельного палива та 10 % метилових ефірів;  
 - - - - - робота двигуна на суміші з 80 % нафтового дизельного палива та 20 % метилових ефірів

Рисунок 2 – Експериментальні залежності ефективної потужності  $N$  від частоти обертання колінчастого вала двигуна  $n$  за різного вмісту біодобавок

Перед вимірюваннями параметрів для стабільного протікання робочого процесу двигун на заданому режимі працював не менше 5 хвилин. Результати вимірювань заносились в протокол випробувань при трикратному повторюванні на кожному режимі роботи

дизельного двигуна.

В результаті виконаних експериментальних досліджень встановлені залежності зміни ефективної потужності двигуна при використанні дизельного палива і суміші дизельного палива з одержаними біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції сине-зелених водоростей *Chroococcoides* в кількості 5, 10 та 20 %. Експериментально встановлено, що ефективна потужність двигуна при використанні суміші дизельного палива з одержаними біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції сине-зелених водоростей *Chroococcoides* в кількості 5, 10 та 20 % зменшиться, в середньому, на 0,9, 1,8 та 3,5 %. Також встановлено, що в межах експлуатаційних та експериментальних випробувань на протязі 85 мото-годин не спостерігалось проблем із засміченням системи живлення та закоксовуванням форсунок.

Таким чином, під час експериментальних досліджень синтезований метиловий ефір ліпідної фракції застосовувався в якості добавки 5 - 20 % до звичайного дизельного палива. В процесі експериментальних випробувань встановлено, що на різних сумішах біодизельного та дизельного палив не спостерігалось проблем із надійністю роботи двигуна, а різниця потужнісних характеристик малопотужного судового дизеля Д21А1 спостерігається в межах 0,9-3,5 %, що з експлуатаційної точки зору не є суттєвою різницею.

**ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ  
ТРИБОСПРЯЖЕННЯМИ ДЕТАЛЕЙ СИСТЕМ І АГРЕГАТИВ  
ТРАНСПОРТНИХ МАШИН**

**В.В. Аулін**, *д-р. техн. наук, проф.*,  
**С.В. Лисенко**, *канд. техн. наук, доц.*,  
**А.В. Гриньків**, *канд. техн. наук*,  
**А.Є. Чернай**, *асп.*,  
**А.П. Лукашук**, *асп.*,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Метод оптимального керування технічним станом систем і агрегатів транспортних машин дозволяє підвищити ефективність їх функціонування, зменшення енергетичних втрат, особливо на подолання процесів тертя та зношування в трибоспряженнях деталей.

Показано, що застосування інтелектуальних триботехнологій на основі концепції Smart Grid виводить проблематику оптимального керування на новий рівень і дозволяє, застосовуючи адаптивні системи автоматичного керування, підвищити якість функціонування і керування станом систем і агрегатів транспортних машин.

Підвищення ефективності оперативного керування технічним станом в сучасних умовах може досягти шляхом розширення функціональних можливостей діючих систем технологічного керування, або шляхом впровадження сучасних програм і технічних засобів з високими показниками зносостійкості і надійності трибоспряжень систем і агрегатів машин та готовністю до їх використання протягом тривалого часу.

Зазначимо, що сучасні тенденції розвитку світової енергетики базуються на використанні положень концепції Smart Grid [1].

Оперативне керування нормальними режимами на основі концепції Smart Grid, передбачає використання автоматизованих та адаптивних систем автоматичного керування (САК) [2]. Потребують розроблення та вдосконалення математичні моделі, які б забезпечували можливість перенесення відновлюваних результатів оптимального управління потоками потужності на об'єкт керування. Використання таких моделей в оперативному управлінні дозволить узгодити з САК [3-5].

На початку ХХІ ст. здійснюється принципове переосмислення енергетичного підходу та енергетичної політики у розвинених країнах світу у зв'язку з переходом від "індустріальної" фази розвитку економіки і суспільства до "постіндустріального", інформаційного. Вони підпорядковуються екологічним і соціальним вимогам, а також вимогам економічної і організаційної стійкості та безпеки.

При цьому ключовими вимогами до нового енергоефективного підходу виробництва та експлуатації машин і механізмів стають: доступність, надійність, економічність, ефективність, гармонія з навколишнім середовищем, безпека. Головний наголос здійснюється на нерозривність та узгодженість дій при енергозатратах: енергозабезпеченість, енергодоступність, енергоприйнятність. Ці складові розглядаються як основа для досягнення глобальної мети – забезпечення стабільного розвитку, що гарантує стале зростання економіки, рівня життя населення, захист навколишнього середовища.

Розвиток комп'ютерних технологій та можливостей Internet, поява останніх досягнень в області інформаційних та мережевих технологій (ІМТ), інформаційно-керуючих систем (ІКС) на мікропроцесорної та силової електроніки, а також розвиток ринкових відносин в енергоспоживанні, зумовили якісний стрибок в його ефективності та стали передумовою розвитку нового виду енергетики – інтелектуальної.

Набула широкого розвитку розумна ефективність, яка відображає інтелектуальну взаємодію експлуатаційних процесів і ефективне використання ресурсів, згідно концепції Smart Grid.

Останні десятиліття характеризуються виникненням цілого ряду факторів, що визначають необхідність кардинальних перетворень у використанні енергії та енергоефективності, в тому числі при розвитку триботехнологій припрацювання та відновлення.

Це наступні групи факторів, які сприяють кардинальним перетворенням в триботехнологіях припрацювання і відновлення та оптимальному керуванню режимами функціонування трибоспряджень деталей систем і агрегатів транспортних машин:

- фактори технологічного прогресу: загальна тенденція до підвищення рівня автоматизації процесів, поява і розвиток нових матеріалів і технологій, наростаючі темпи та масштаби розвитку інформаційно-комп'ютерних технологій;

- фактори посилення вимог споживачів: підвищення вимог до конструкції та якості послуг, очікування зниження вартості послуг, підвищення вимог до діагностичного та технічного стану систем і агрегатів, і транспортних машин в цілому;

- фактори зниження надійності: наростаючий рівень зносу деталей спряження, необхідність реновації поверхневих шарів робочих поверхонь деталей, зниження загального рівня надійності, високий рівень втрат при перетворенні, передачі та розподілу енергії;

- фактори підвищення вимог: у сфері енергоефективності та екологічної безпеки, необхідність зниження впливу енергетичного фактору на навколишнє середовище, необхідність енергоефективності та енергозбереження.

При цьому можна виділити наступні ускладнюючі фактори розвитку:

- істотна невизначеність умов розвитку та функціонування паливно-енергетичного комплексу і систем енергетики, наявність суб'єктів відносин, що мають різні, багато в чому не співпадаючі, а часто й суперечливі інтереси, істотне посилення взаємовпливу систем енергетики та їхнього впливу на системи життєзабезпечення.

З'ясовано, що що вихідними умовами модернізації систем енергоефективності є: неоптимізовані процеси в системі, нерівномірність навантаження, максимальна зношувальність, значна частка енергетичних втрат, зростання вимог до якості енергії.

В зв'язку з цим визначилися наступні тренди розвитку:

- структурні тренди: невизначеність в структурі зростання відновлюваності маси і енергії;

- технологічні тренди: створення "розумної енергосистеми", розвиток технологій самоорганізації і самовідновлювання, розсіювання і накопичення енергії в поверхневих шарах деталей;

- тренди розвитку: перехід до інтелектуальної енергетики (використання розосередженої генерації енергії, енергокластерів, всіх інфраструктурних систем, підвищення рівня обслуговування, використання новітніх технологій).

Таким чином, при оптимальному і ефективному керуванні режимами функціонування трибоспрядження деталей систем і агрегатів транспортних машин слід враховувати:

- ресурсну глобалізацію;

- підвищення структурності (зниження ентропії) потоку енергії;

- перехід від силової до інтелектуальної енергетики.

### **Список літератури**

1. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В. Модель надійності деталей транспортних машин за процесами реалізації триботехнологій їх припрацювання і відновлення // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2019. Вип. 2(33). С.50-64.
2. Aulin V., Zamota T., Hrynkiv A., Lysenko S. et al. Increase of formation efficiency of gears contact spot at electrochemical-mechanical running-in // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 24 (4/94) (2019) – С.33-39.
3. Aulin V., Hrynkiv A., Lysenko S., Zamota T. et al. Determining the rational composition of tribologically active additive to oil to improve characteristics of tribosystems // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2019. Vol. 6 (12 - 102). - P. 52-64.

## **СТВОРЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ, КОНВЕРТОВАНИХ НА ГАЗОВЕ ПАЛИВО**

**С.І. Криштопа**, *д-р. техн. наук, проф.*,  
**М.М. Гнип**, *асп.*,

**Ф.В. Козак**, *канд. техн. наук, проф.*

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

**К. Гурскі**, *д-р. техн. наук, проф.*,

*Технологічний університет ім. Казімежа Пуласкего, м. Радом, Польща*

Створення провідними світовими фірмами моногазових двигунів, які вже задовольняють найбільш жорстким нормам токсичних викидів у відпрацьованих газах, свідчить про суттєві переваги переобладнання дизельних двигунів у газові з іскровим запалюванням.

В зазначеному напрямку проводять роботи такі відомі світові концерни як Cummins, MAN, Scania, Iveco, Mercedes-Benz та інші, які вже розробили на базі дизельних двигунів газові для автобусів та вантажних автомобілів [1].

Аналогічні роботи проводяться також і в країнах пострадянського простору. Так було здійснено переобладнання дизельного двигуна Мінського виробництва для роботи на природному газі [2]. У дизельному двигуні ММЗ-245.12 замість форсунок були встановлені іскрові свічки запалювання та змонтована система запалювання безконтактно-транзисторного типу. На впускному колекторі було встановлено газовий змішувач моделі СГ-250 та два газові редуктори високого і низького тиску моделі "Сага-7Б". Для уникання детонації у двигуні було зменшено ступінь стиску з 16,0 до 12,0 одиниць за рахунок розточки камери згоряння в поршні. На Ярославському моторному заводі виконувались дослідження газового двигуна, створеного на базі дизельного двигуна ЯМЗ-236НЕ [3]. Двигун обладнувався системою запалювання та газовою апаратурою з електронним управлінням. Газовий двигун комплектувався штатним турбокомпресором і системою нейтралізації відпрацьованих газів. Конвертований двигун за викидами шкідливих речовин з відпрацьованими газами відповідав вимогам Правил ЕЕК ООН до рівня Євро-3 і зменшив викиди CO<sub>2</sub> на 30 % в порівнянні з базовим дизельним двигуном.

В автомобільній корпорації КамАЗ була здійснена конвертація восьмициліндрового дизельного двигуна КамАЗ-740 в газовий двигун під екологічні норми Євро-5 з іскровим запалюванням і кількісним регулюванням подачі газоповітряної суміші у впускну систему [4]. Наприклад, такі двигуни встановлюються автовиробником на самоскид КамАЗ-6520PG, вантажопідйомністю 18 тонн. Паливна система автомобіля складається з балонів для стиснутого газу в кількості 13 штук, загальний об'єм балонів складає 1120 літрів або 224 м<sup>3</sup> стиснутого природного газу при тиску 20 МПа. Дальність ходу автомобіля складає 450 км (максимально навантажений) або 700 км (порожній). У конвертованому двигуні в отвори форсунок встановлені свічки запалювання з індивідуальними котушками, а камера згоряння в поршні розточена так, щоб ступінь стиску знизилась з 17,0 до 12,0 [5].

Є досвід конвертації дизельних двигунів в газові і в Україні. Аналіз розробок українських організацій свідчить про те, що одержаний певний досвід конвертації в газові двигуни декількох типів дизелів, які встановлюються на транспортних засобах і сільськогосподарських машинах. Так в Інституті проблем машинобудування ім. А. Н. Подгорного НАНУ розроблена технологія конвертації дизельних двигунів в газові і створений діючий зразок газового двигуна на базі дизельного двигуна Д-21 [6], що мав номінальну потужність 18,4 кВт.

У Луцькому національному технічному університеті дизельний двигун Д-240 білоруського виробництва був переобладнаний в газовий двигун [7]. Особливістю технології переобладнання даного дизельного двигуна в газовий було те, що зниження ступеня стиску до 12,0 досягнули за рахунок установки трьох прокладок між головкою і блоком циліндрів товщиною 4,5 мм.

Для дослідження надійності роботи дизельних двигунів, конвертованих на газове паливо в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу у співпраці з польськими колегами технологічного університету ім. Казімежа Пуласкего з м. Радом було переобладнано для роботи на газовому паливі дизельний двигун моделі X17DTL автомобіля Опель Астра (рис. 1).



Рисунок 1 - Автомобіль Опель Астра конвертований з дизельного палива на пропан-бутанову суміш: *а* – дизельний двигун моделі X17DTL; *б* – головка блока переобладнаного двигуна; *в* – встановлена на переобладнаний двигун головка блока з системою запалення

Вказаний автомобіль та двигун були виготовлені в 2000 р. та на момент початку досліджень пробіг автомобіля склав 186 тис. км. Компресія в циліндрах двигуна складала  $2,95 \pm 0,05$  МПа. Для переведення дизельного двигуна моделі X17DTL автомобіля Опель Астра на газ було знижено степінь стиску двигуна та змонтовано пропан-бутанову газову апаратуру італійського виробництва. Далі встановлена оригінальна мікропроцесорна DIS-система запалення власної розробки та оптимізована робота системи управління двигуном. Коротка технічна характеристика переобладнаного дизельного двигуна моделі X17DTL автомобіля Опель Астра наведена в табл. 1.

Таблиця 1 - Технічна характеристика переобладнаного дизельного двигуна моделі X17DTL

№ п/п	Назва параметра	Значення
1	Базовий двигун	Дизельний, з електронною системою вприскування Bosch
2	Конвертований двигун	Газовий (пропан-бутанова суміш), з системою електронного управління розробки ІФНТУНГ
3	Робочий об'єм двигуна, см <sup>3</sup>	1669
4	Номінальна потужність, кВт (к.с.)	50 (68)
5	Частота обертання колінвала при експлуатаційній потужності, об./хв.	4500
6	Степінь стиску базового двигуна	22,0
7	Степінь стиску конвертованого на газ двигуна	13,1

Створена установка дозволить розширити експериментальну базу даних щодо надійності робочих процесів та зміни основних потужнісно-економічних та екологічних характеристик в перспективних конструкціях дизельних двигунів, конвертованих на газове паливо. Для прикладу на рис. 2 зображені залежності викидів оксидів азоту у відпрацьованих газах дизельного двигуна моделі X17DTL автомобіля Опель Астра при роботі на дизельному паливі та при роботі на піролізній суміші в залежності від частоти обертання колінчастого вала. Так, при роботі базового двигуна моделі X17DTL автомобіля Опель Астра на дизельному паливі при частоті обертання колінчастого вала 900 об./хв. спостерігається



відносно незначне зниження викидів оксидів азоту у відпрацьованих газах з 760 ppm до 620 ppm при роботі конвертованого двигуна на піролізній суміші, або на 19,5 %. Але при роботі базового двигуна моделі X17DTL на дизельному паливі на високій частоті обертання колінчастого вала 4500 об./хв. спостерігається суттєво вище зниження викидів оксидів азоту у відпрацьованих газах з 630 ppm до 470 ppm при роботі конвертованого двигуна на піролізній суміші, або на 25,4 %.

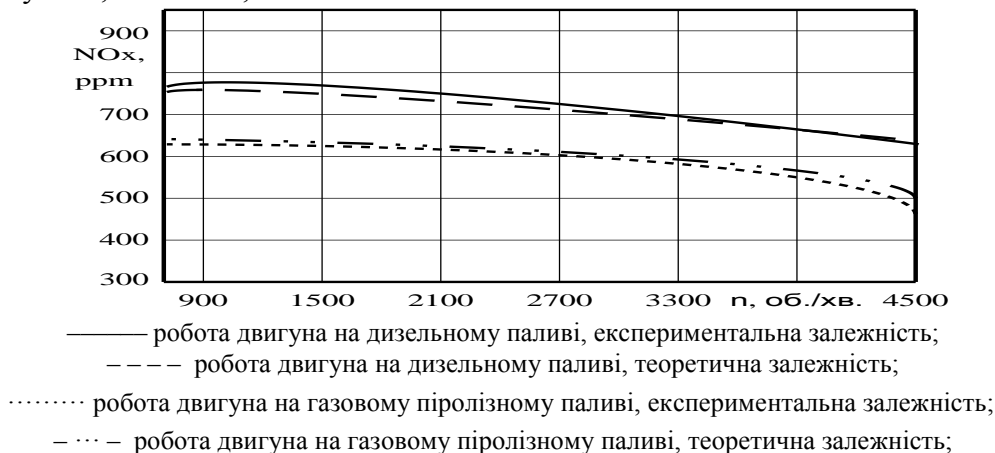


Рисунок 2 – Залежності викидів оксидів азоту у відпрацьованих газах дизельного двигуна моделі X17DTL автомобіля Опель Астра при роботі на дизельному паливі та при роботі на піролізній суміші в залежності від частоти обертання колінчастого вала n

Одержані результати дозволяють підвищити надійність, оптимізувати конструкції систем живлення двигунів внутрішнього згорання для роботи на альтернативних паливах та знизити викиди шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобільних двигунів.

### Список літератури

1. Гайворонский А.И. Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях / А.И. Гайворонский, В.А. Марков, Ю.В. Илатовский // М.: ООО "ИРЦ Газпром". – 2007. – 480 с.
2. Лютко В. Применение альтернативных топлив в ДВС / В.П. Лютко, В.Н. Луканин, А.С. Хачиян // М.: МАДИ (ТУ). – 2000. – 331 с.
3. Кутенёв В.Ф. Разработка газового двигателя на базе дизеля ЯМЗ – 236НЕ: (разработки отдела энергосберегающих технологий и альтернативных топлив) [Электронный ресурс] / В.Ф. Кутенёв, В.А. Лукшо // Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт – 2007. – Режим доступа к источнику: <http://www.nami.ru/subdivisions/engines/energy-efficient-technologies/development/>
4. Семейство газовых двигателей КамАЗ 820.60 [Электронный ресурс]. – Режим доступа к источнику: <http://www.kamaz.ru/production/related/semeystvo-gazovykh-dvigately-kamaz-820-60/>
5. Двигатели транспортные газовые КАМАЗ-820.52–260, КамАЗ-820.53–260 [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа к источнику: <http://www.remkam.ru/trangazdv82/>
6. Бганцев В.Н. Газовый двигатель на базе дизеля Д-21. / Бганцев В.Н., Левтеров А.М., Кайдалов А.А., Канило П.М., Мараховский В.П. // Авіаційно-космічна техніка і технологія. Зб. наук. пр. – Харків: ХАІ. – 2002. – Вип. 30. – С. 24-27.
7. Богомолов В.А. Особенности конструкции экспериментальной установки для проведения исследований газового двигателя 6Ч13/14 с искровым зажиганием / В.А. Богомолов, Ф.И. Абрамчук, В.М. Манойло, А.И. Воронков, С.В. Салдаев, А.Н. Кабанов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Харьков: ХНАДУ. – 2007. – № 37. – С. 43-47.

## ВПЛИВ СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ КЕРОВАНОЇ ПІДВІСКИ НА СТІЙКІСТЬ РУХУ КТЗ ВЗДОВЖ КРИВОЛІНІЙНОЇ ДІЛЯНКИ

**Б.І.Сокіл**, д-р. техн. наук, проф.,

Національна академія Сухопутних військ України ім. П. Сагайдачного, м. Львів, Україна

**О.Л. Ляшук**, д-р. техн. наук, проф.,

**Р.В. Хорошун**, асп.,

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

**М.Б. Сокіл**, канд. техн. наук, доц.,

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

Для підвищення плавності ходу колісних транспортних засобів (КТЗ) набула широкого застосування керована система підвіски [1-4]. В роботах [5-8], розроблена методика аналітичного дослідження впливу нелінійно – пружних сил амортизаторів на вертикальні, поперечно – кутові коливання та стійкість руху транспортних засобів вздовж криволінійних ділянок шляху. Отримані результати, можуть бути базою для створення програмного продукту керованої підвіски, що показують пружні амортизатори із нелінійним законом зміни відновлювальної сили впливають не тільки на кількісні характеристики коливань підресореної маси (ПМ).

Для КТЗ, фізичної модель котрого подана на рис. 1., для створення програмного продукту керованої системи підресорювання з метою і являє собою отримати такі аналітичні залежності, які б були базою мінімізації динамічних навантажень на людей та вантажі які транспортуються, забезпечення максимальної швидкості стійкого руху під час маневрування КТЗ, руху вздовж криволінійних ділянок шляху.

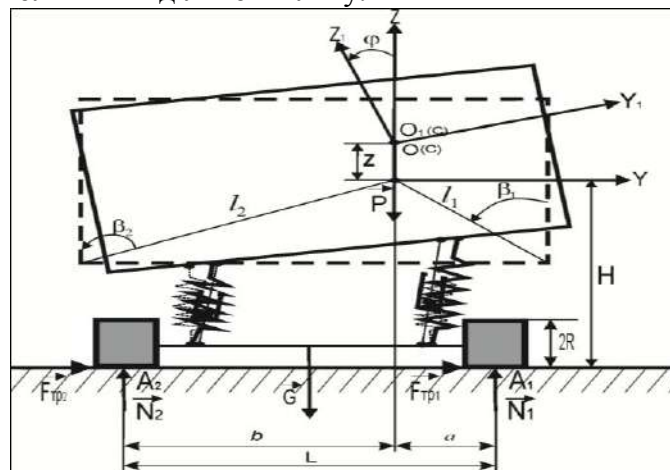


Рисунок 1 - Фізична модель для дослідження коливань КТЗ із неконсервативною силовою характеристикою системи підресорювання

Відносний рух ПМ КТЗ є плоско-паралельним, а отже її положення однозначно визначається положенням центру мас (т.  $O$ ) та кутом повороту  $\varphi(t)$  вказаної частини навколо центру  $O$ . Положення центру мас в довільний момент часу (із урахуванням наведених вище обмежень) найбільш зручно визначати відносно статичного положення координатою -  $z(t)$ . Таким чином, для побудови математичної відносного руху ПМ можна використати рівняння Лагранжа II – го роду. Відповідно до вибраних узагальнених координат кінетична енергія ПМ у відносному її русі  $T$  набуває вигляду

$$T = M \frac{\dot{z}^2(t)}{2} + I_C \frac{\dot{\varphi}^2(t)}{2}. \quad (1)$$

де  $M$  - маса підресореної частини, а  $I_C$  - її момент інерції відносно поперечної осі, яка проходить через центр мас і паралельна до вектора швидкості переносного руху. Узагальнені сили, які відповідають вибраним узагальненим координатам, то для їх знаходження, перш за все, виразимо через вказані координати та геометричні параметри КТЗ: вектори відносних переміщень ( $\bar{\Delta}_1$ ,  $\bar{\Delta}_2$ ) точок приєднання пружних амортизаторів до ПМ із початкового її положення довільне

$$\begin{aligned} \bar{\Delta}_1 &= \bar{j}l_1\varphi \cos\left(\frac{\varphi}{2} + \beta_1\right) + \bar{k}\left[z + l_1\varphi \sin\left(\frac{\varphi}{2} + \beta_1\right)\right], \\ \bar{\Delta}_2 &= \bar{j}l_2\varphi \cos\left(\beta_2 - \frac{\varphi}{2}\right) + \bar{k}\left[z - l_2\varphi \sin\left(\beta_2 - \frac{\varphi}{2}\right)\right]; \end{aligned} \quad (2)$$

відносні швидкості точок, які співпадають із кінцями вказаних векторів ( $\dot{\bar{\Delta}}_1$ ,  $\dot{\bar{\Delta}}_2$ )

$$\begin{aligned} \dot{\bar{\Delta}}_1 &= \bar{j}l_1\dot{\varphi} \cos\left(\frac{\varphi}{2} + \beta_1\right) - \bar{j}l_1\varphi \frac{\dot{\varphi}}{2} \sin\left(\frac{\varphi}{2} + \beta_1\right) + \bar{k}\left[\dot{z} + l_1\dot{\varphi} \sin\left(\frac{\varphi}{2} + \beta_1\right) + l_1\varphi \frac{\dot{\varphi}}{2} \cos\left(\frac{\varphi}{2} + \beta_1\right)\right], \\ \dot{\bar{\Delta}}_2 &= \bar{j}l_2\dot{\varphi} \cos\left(\beta_2 - \frac{\varphi}{2}\right) + \bar{j}l_2\varphi \frac{\dot{\varphi}}{2} \sin\left(\beta_2 - \frac{\varphi}{2}\right) + \bar{k}\left[\dot{z} - l_2\dot{\varphi} \sin\left(\beta_2 - \frac{\varphi}{2}\right) + l_2\varphi \frac{\dot{\varphi}}{2} \cos\left(\beta_2 - \frac{\varphi}{2}\right)\right]; \end{aligned} \quad (3)$$

деформації пружних елементів  $\delta_1$ ,  $\delta_2$

$$\begin{aligned} \delta_1 &= \sqrt{(z^*)^2 + l_1^2\varphi^2 + 2z^*l_1\varphi \sin\left(\frac{\varphi}{2} + \beta_1\right)}, \\ \delta_2 &= \sqrt{(z^*)^2 + l_2^2\varphi^2 - 2z^*l_2\varphi \sin\left(\beta_2 - \frac{\varphi}{2}\right)}, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $z^* = z - \Delta_{cm}$ ,  $\Delta_{cm}$  - статична деформація пружних елементів,  $l_1, l_2, \beta_1, \beta_2$  - геометричні параметри, які характеризують розміщення пружних елементів щодо центру мас,  $\bar{k}, \bar{j}$  - одиничні орти напрямлені відповідно, вздовж осей нерухомої системи відліку  $OZ$  та  $OY$  (рис.1.). У випадку симетричного розміщення центру ваги ПЧ відносно пружних елементів  $l_1 = l_2$ , а  $\beta_1 = \beta_2$ . Співвідношення (2) - (4), а також припущення щодо силових характеристик системи підресорювання (див. п.3) дають змогу активні складові сил, які діють на ПМ ( $\bar{F}_1$  та  $\bar{F}_2$ ) представити у вигляді

$$\begin{aligned} \bar{F}_1 &= \delta_1^{v_1} \left( \alpha_1 + \chi_1 \dot{\Delta}_1^v \right) \left( \bar{j}l_1\varphi \sin\left(\frac{\varphi}{2} + \beta_1\right) + \bar{k}\left[z^* + l_1\varphi \sin\left(\frac{\varphi}{2} + \beta_1\right)\right] \right), \\ \bar{F}_2 &= \delta_2^{v_2} \left( \alpha_2 + \chi_2 \dot{\Delta}_2^v \right) \left( \bar{j}l_2\varphi \cos\left(\beta_2 - \frac{\varphi}{2}\right) + \bar{k}\left[z^* - l_2\varphi \sin\left(\beta_2 - \frac{\varphi}{2}\right)\right] \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Сума проєкцій вказаних сил та сили ваги підресореної частини на вертикальну вісь (CZ) буде не чим іншим як активною складовою узагальненої сили, яка відповідає узагальненій координаті  $z$ , тобто

$$Q_z^a = \delta_1^{v_1} \left( \alpha_1 + \chi_1 \dot{\Delta}_1^v \right) \left( z^* + l_1\varphi \sin\left(\frac{\varphi}{2} + \beta_1\right) \right) + \delta_2^{v_2} \left( -\alpha_2 + \chi_2 \dot{\Delta}_2^v \right) \left( z^* - l_2\varphi \sin\left(\beta_2 - \frac{\varphi}{2}\right) \right) - P. \quad (6)$$

Активну складову узагальненої сили, яка відповідає узагальненій координаті  $\varphi$  тобто  $Q_\varphi^a$  визначимо на базі наступних міркувань [9]: з одного боку робота активних сил, що діють на ПМ на можливому переміщенні вказаної узагальненої координати  $\delta\varphi$  визначається співвідношенням  $\delta A_\varphi^a = Q_\varphi^a \delta\varphi$ , а з іншого боку -  $\delta A_\varphi^a = M_C^a \delta\varphi$ , де  $M_C^a$  - сума моментів активних сил, які діють на підресорену частину відносно центру мас. Остання величина, відповідно до

теорема Варінійона [9], визначається залежністю  $M_C^a = F_{1z}^a y_1 - F_{1y}^a z_1 + F_{2z}^a y_2 - F_{2y}^a z_2$ , де  $F_{1y}^a, F_{1z}^a$  та  $F_{2y}^a, F_{2z}^a$  – проекції на осі  $OY$  та  $OZ$  активних сил, які діють на праву та ліву частини ПЧ КТЗ;  $y_1, z_1$  та  $y_2, z_2$  – координати точок прикладання цих сил, тобто  $y_1 = l_1 \sin \beta_1$ ,  $z_1 = -l_1 \cos \beta_1$ ;  $y_2 = -l_2 \sin \beta_2$ ,  $z_2 = -l_2 \cos \beta_2$ . Таким чином,  $Q_\varphi^a = F_{1z}^a y_1 - F_{1y}^a z_1 + F_{2z}^a y_2 - F_{2y}^a z_2$ . Якщо в останню залежність підставити відповідні величини, отримаємо

$$Q_\varphi^a = (\alpha_1 + \chi_1 \dot{\Delta}_1^{\nu_1}) \left( (z^*)^2 + l_1^2 \varphi^2 + 2z^* l_1 \varphi \sin \left( \frac{\varphi}{2} + \beta_1 \right) \right)^{\frac{\nu_2}{2}} \left\{ l_1 \sin \beta_1 \left( z^* + l_1 \varphi \sin \left( \frac{\varphi}{2} + \beta_1 \right) \right) + l_1 \cos \beta_1 \left( z^* + l_1 \varphi \sin \left( \frac{\varphi}{2} + \beta_1 \right) \right) \right\} + (\alpha_2 + \chi_2 \dot{\Delta}_2^{\nu_1}) \left( (z^*)^2 + l_2^2 \varphi^2 - 2z^* l_2 \varphi \sin \left( \beta_2 - \frac{\varphi}{2} \right) \right)^{\frac{\nu_2}{2}} \left\{ -l_2 \sin \beta_2 \left( z^* - l_2 \varphi \sin \left( \beta_2 - \frac{\varphi}{2} \right) \right) + l_2 \cos \beta_2 \left( z^* - l_2 \varphi \sin \left( \beta_2 - \frac{\varphi}{2} \right) \right) \right\} \quad (7)$$

Поступаючи подібним чином як і для активних складових відновлюючої сили, отримуємо пасивні складові узагальнених сил

$$Q_{iz}^{\Pi} = -\gamma_i \bar{f}_i(\varphi, \dot{\varphi}, z, \dot{z}) \times \left[ 2\dot{z} + \dot{\varphi} \left( l_1 \sin \left( \frac{\varphi}{2} + \beta_1 \right) - l_2 \sin \left( \beta_2 - \frac{\varphi}{2} \right) \right) + \varphi \frac{\dot{\varphi}}{2} \left( l_1 \cos \left( \frac{\varphi}{2} + \beta_1 \right) + l_2 \cos \left( \beta_2 - \frac{\varphi}{2} \right) \right) \right],$$

$$Q_\varphi^{\Pi} = -\gamma_i \bar{f}_i(\varphi, \dot{\varphi}, z, \dot{z}) \left\{ l_1 \left[ \dot{z} + \dot{\varphi} l_1 \left( \sin \left( \frac{\varphi}{2} + \beta_1 \right) + \frac{\varphi}{2} \cos \left( \frac{\varphi}{2} + \beta_1 \right) \right) \right] \left( \sin \beta_1 + \varphi \cos \left( \frac{\varphi}{2} + \beta_1 \right) \right) - \right.$$

$$- l_1^2 \left[ \dot{\varphi} \left( \cos \left( \frac{\varphi}{2} + \beta_1 \right) - \frac{\varphi}{2} \sin \left( \frac{\varphi}{2} + \beta_1 \right) \right) \right] \left( \cos \beta_1 - \varphi \sin \left( \frac{\varphi}{2} + \beta_1 \right) \right) +$$

$$+ l_2 \left[ \dot{z} - \dot{\varphi} l_2 \left( \sin \left( \beta_2 - \frac{\varphi}{2} \right) - \frac{\varphi}{2} \cos \left( \beta_2 - \frac{\varphi}{2} \right) \right) \right] \left( \sin \beta_2 - \varphi \cos \left( \beta_2 - \frac{\varphi}{2} \right) \right) -$$

$$\left. - l_2^2 \left[ \dot{\varphi} \left( \cos \left( \beta_2 - \frac{\varphi}{2} \right) + \frac{\varphi}{2} \sin \left( \beta_2 - \frac{\varphi}{2} \right) \right) \right] \left( \cos \beta_2 + \varphi \sin \left( \beta_2 - \frac{\varphi}{2} \right) \right) \right\}. \quad (8)$$

У наведених вище співвідношеннях  $\bar{f}_i(\varphi, \dot{\varphi}, z, \dot{z})$  – відомі функції, що визначаються відповідно до припущень які стосуються сили опору демпферних пристроїв. Таким чином, коливальний процес підресореної маси описується системою диференціальних рівнянь в яких праві частини визначаються відповідно до співвідношень (6) – (8).

$$M \frac{d^2 z}{dt^2} = Q_z^a + Q_z^{\Pi}, \quad (9)$$

$$I_C \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = Q_\varphi^a + Q_\varphi^{\Pi}$$

Коливання ПМ КТЗ впливають не тільки на комфортабельність перевезення людей, але й стійкість руху під час об'їзду перешкод, маневруванні, руху вздовж криволінійних ділянок шляху із нерівностями. Для вказаних випадків руху КТЗ мають місце рівняння кінетостатики, які крім активних та пасивних сил ураховують ще й сили інерції вказаних частин. Головний вектор сил інерції непідресореної частини  $\Phi_Q^e$  (у випадку руху КТЗ зі сталою за величиною швидкістю) рівний  $\Phi_Q^e = \frac{Q V^2}{g R}$  і напрямлений у протилежну сторону до внутрішньої нормалі траєкторії вказаної точки. Що стосується головного вектора сил інерції ПМ, то він складається із двох складових: переносної  $\Phi_{\Pi}^e = \frac{P V^2}{g R}$  та відносної  $\Phi_{\Pi}^r = -\frac{P}{g} \frac{d^2 z}{dt^2}$ . Із рівнянь кінетостатики для системи непідресорена- підресорена маси для визначення критичної швидкості стійкого руху на перекидування  $\tilde{V}_{kp}$

$$Pb + Q \frac{a+b}{2} - I_{A_2} \frac{d^2 \varphi}{dt^2} - \frac{P}{g} \frac{\tilde{V}_{kp}^2}{R} h_c - \frac{Q}{g} \frac{\tilde{V}_{kp}^2}{R} r = 0, \quad (10)$$

де  $I_{A_2}$  - момент інерції підресореної маси відносно точки контакту "зовнішньої" шини і шляху, який відповідно до теореми Гюйгенса – Штейнера рівний  $I_{A_2} = \frac{P}{g} \left( \rho^2 + \left( \frac{a+b}{2} \right)^2 + h_c^2 \right)$ ,  $h_c$  - висота центру ваги ПМ над шляхом у статичному положенні.

Критичне значення швидкості стійкого руху із урахуванням поперечно – кутових коливань у вигляді

$$\tilde{V}_{кр} = \sqrt{\frac{Pb + Q \frac{a+b}{2} - I_{A_2} \frac{4a_\varphi(1-\nu_1)}{(v_2+2)(2-\nu_1)} \Omega^2(a_\varphi)}{Ph_c + Qr}} Rg \quad (11)$$

На рис. 2. Подано залежність критичної швидкості з огляду на перекидування стійкого руху від амплітуди поперечно – кутових коливань.

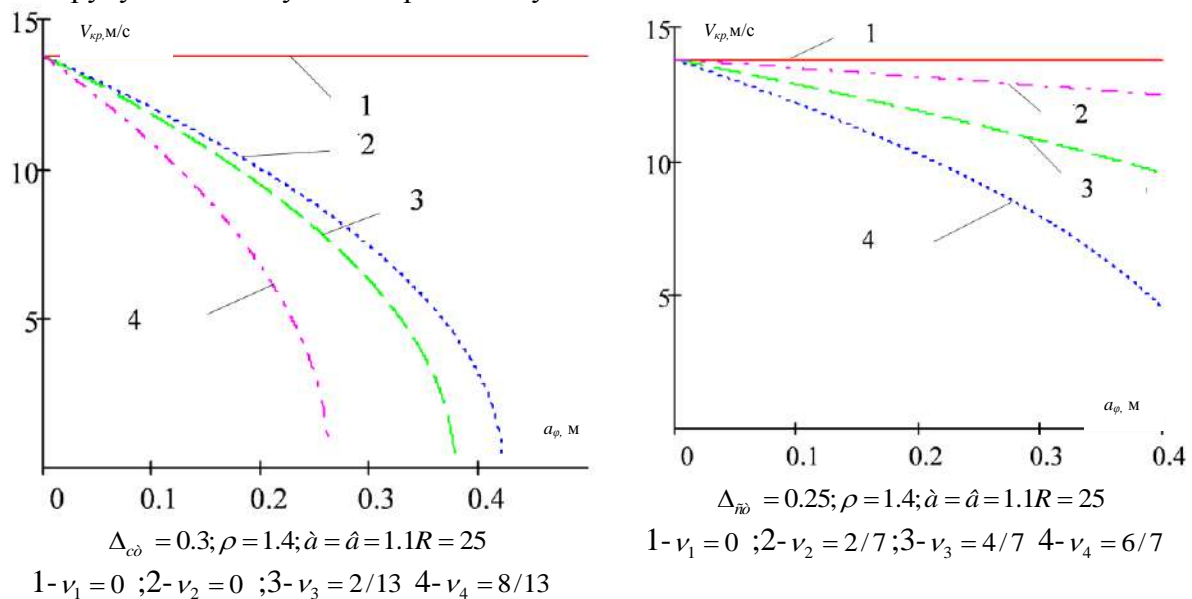


Рисунок 2 - Закони зміни критичної з огляду на перекидування швидкості стійкого руху за різних значень силових параметрів СП

### Список літератури

1. Адаптивная подвеска. Устройство, принцип действия [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.autoobserver.ru/sistemi-auto/76-adaptivnaya-podveskaustroystvo-i-princip-deystviya-aktivnoyupodveski.html>.
2. Павленко В.М. Сучасний стан розвитку активних підвісок легкових автомобілів / Павленко В.М., Криворучко О.О. // Вісник НТУ "ХПІ", Автомобілебудування, 2014.- №9(1052).- С.54-60.
3. Мандрика В.Р. Керованість і стійкість руху автомобіля В класу з системою ESP / В.Р. Мандрика, В.Г. Шликова // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків, 2013. – № 31 (1004). – С. 69-65.
4. Самонастраивающийся амортизатор с программированной демпфирующей характеристикой / А.Д. Дербаремдикер, Р.А. Мусарский, И.О. Степанов, М.А. Юдкевич // Автомобильная промышленность. 1985. – № 1. – С. 13 – 15.
5. Сокіл Б.І. Вплив характеристики підвіски на вертикальні та поперечно- кутові коливання корпусу армійських автомобілів багатоцільового призначення / Б.І. Сокіл, Р.А. Нанівський, М.Г. Грубель // Проблемні питання розвитку озброєння і військової техніки: тези доповідей ІV НТК . – Київ: ЦНДІ, 2013. – С. 205–206.
6. Грубель М.Г. Коливання ПЧ БКМ та їх вплив на стійкість руху вздовж криволінійної ділянки шляху / М.Г. Грубель, Р.А. Нанівський, М.Б. Сокіл // Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ, 2014. – Вип. 24.1. – С.155–162.
7. Нанівський Р.А. Вплив на занесення коливань підресореної частини БКМ під час його руху вздовж криволінійної ділянки шляху / Р.А. Нанівський // Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України, 2014. – Вип. 24.3. – С. 366–372.
8. Ляшук О.Л. Дослідження поздовжньо-кутових коливань колісних транспортних засобів/ Ляшук О.Л., Сокіл М.Б., Маруніч О.П.// Матеріали ХІХ наук. конф. ТНТУ ім. І. Пулюя.- Тернопіль.-2016.- С.62-63.
9. Павловский М.А. Теоретическая механика: для студ. вузов / М.А. Павловский, Т.В.Путята. – К.: Высшая школа, 1985. – 328с.

## **ІНТЕГРОВАНІЙ МЕТОД ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ НАПРАВЛЕНОСТІ НА ВИТРАТУ ПАЛИВА МІСЬКИМ АВТОБУСОМ З СИСТЕМОЮ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ**

**С.П. Чуйко, асп.,**

**О.П. Кравченко, д-р. техн. наук, проф.,**

*Державний університет "Житомирська політехніка", м. Житомир, Україна*

Досконалість конструкції автомобілів оцінюється комплексом експлуатаційних якостей серед яких одним з найважливіших є паливна економічність. В реальних умовах руху витрата палива визначається конструкцією автомобіля і впливом різних експлуатаційних факторів. Витрати палива призводять до викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газів. Важливий вплив на викид шкідливих речовин надають умови експлуатації автотранспортних засобів: кліматичні, дорожні, сезонні і багато інших. У міських умовах експлуатації переважаючими є несталі режими руху, які характеризуються постійною зміною швидкості.

У загальному випадку рух автомобіля в місті здійснюється з розгону, уповільненнями, роботою двигуна на холостому ході і рухом з відносно сталою швидкістю, причому поєднання цих фаз може бути різним.

Нормування витрати палива стимулює з точки зору екології зниження викидів шкідливих речовин, а з точки зору економіки - зниження витрат на перевезення пасажирів і вантажів.

Паливна економічність та шкідливі викиди різних транспортних засобів набули нового підходу при впровадженні екологічних стандартів Євро-4 і Євро-5. Ситуація в такому підході виробників транспортних засобів має свої конструктивні рішення. Одні виробники використовують технологію рециркуляції вихлопних газів (EGR), інші обрали технологію каталізатора сечовини (SCR).

**Система EGR** (Exhaust Gas Recirculation - технологія циркуляції вихлопних газів, яка завдяки конструктивному рішенню частково додає відпрацьовані гази з випускного у впускний колектор. Згідно зі стандартами Євро -5, EGR встановлюється на дизельні двигуни сучасних автомобілів, за винятком двигунів на основі турбін. Як відомо, концентрація оксидів азоту у відпрацьованих газах обумовлена високими температурами в камерах згоряння двигунів, де кисень виступає каталізатором горіння. Завдяки додаванню вихлопів у впускний колектор концентрація кисню стає меншою, за рахунок чого температура згоряння палива і рівень токсичності викидів в атмосферу зменшується [1].

Оксид азоту виділяється, коли кисень і азот вступають в реакцію в повітрі під високим тиском і при високій температурі. Дизельні двигуни працюють в умовах високого тиску і бідної паливної суміші. Через це в камері згоряння утворюється атмосфера багата киснем і азотом, що, в свою чергу, веде до утворення оксиду азоту.

Так як основою пристрою EGR є клапан, за допомогою якого регулюється обсяг відпрацьованих газів і тих, що подаються назад на впуск, потребує окремого технічного підходу, має обмежений експлуатаційний ресурс і загалом система дуже вибаглива до якості палива. На нашу думку, така система не знайшла свого впровадження у міських маршрутних автобусах, через особливості експлуатації автобусу з досить низькими швидкостями руху на маршруті та тривалий час роботи на невеликих обертах колінчастого валу двигуна.

Технологія SCR (Selective catalytic reduction) заснована на уприскуванні строго дозованої кількості реагенту AdBlue в потік відпрацьованих газів в присутності каталізатора (пентаоксиду ванадію), в результаті чого відбувається хімічна реакція перетворення оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) в нешкідливі речовини - азот і воду (рис.1) [2].



Рекомендовано застосувати в системі SCR лише рідину AdBlue, яка затверджена автовиробниками. AdBlue використовується для обмеження викидів від легкових та вантажних автомобілів, автобусів, мікроавтобусів, катерів, екскаваторів та тракторів.

Окремі експлуатаційні дослідження стверджують, що при використанні EGR зростає навантаження на двигун, через збільшення потужності охолодження двигуна, що призводить до підвищення витрат палива [3].

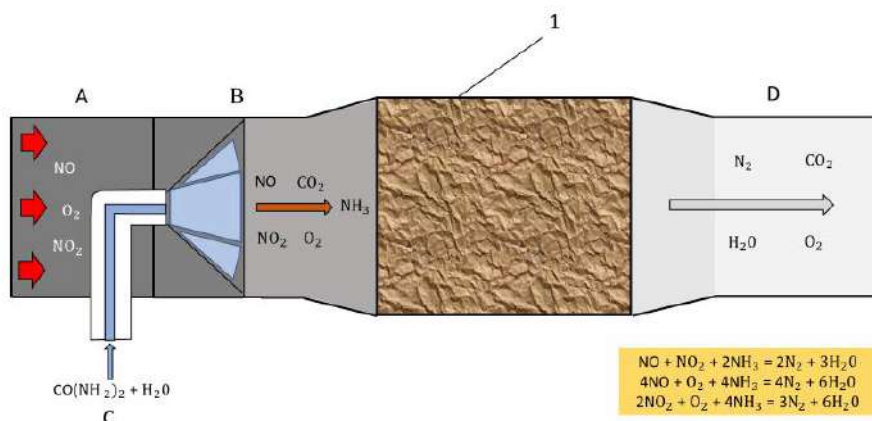


Рисунок 1 - Функціональне зображення роботи системи SCR: 1 - відновлювальний каталізатор, А - потік відпрацьованих газів від двигуна (продукт на вході); В - дільниця для гідролізу, С - реагент AdBlue; D – відпрацьовані гази (кінцевий продукт)

Ще кілька років тому технологію SCR застосовували в основному європейські виробники вантажівок, а EGR - американські.

Дослідження, які проведені Фінською асоціацією громадського транспорту і орієнтовані на витрату палива та викиди міських автобусів, не дають однозначної відповіді на те, чи є технологія EGR або SCR кращою з точки зору економії палива [4].

У практичному застосуванні витрата рідини AdBlue на вантажних автомобілях і міських автобусах має деякі відмінності. Разом з тим, відсоткова її витрата також залежить від екологічного стандарту.

На вантажних автомобілях витрата рідини AdBlue була орієнтовна у 4% від спожитого дизельного палива для Євро-4, 6% - для Євро-5V і приблизно 3% - для Євро-6. Витрата мочовини AdBlue вантажного автомобіля на 100 км - приблизно складає 1,5 - 2 літра.

Реагент AdBlue С впорскується в гарячий потік відпрацьованих газів двигуна (А). Спочатку на першій стадії процесу - дільниця гідролізу В – він перетворюється в аміак (NH<sub>3</sub>). Разом з утвореними в процесі згорання палива, молекули оксидів азоту (NO<sub>x</sub>); аміак, який утворився (NH<sub>3</sub>) проходить далі в напрямленні відновлювального каталізатора 1. В каталізаторі протікає друга стадія процесу відновлення: молекули оксиду азоту зустрічаються з молекулами аміаку (NH<sub>3</sub>) і відбувається вивільнення енергії у вигляді тепла. Продуктами даної хімічної реакції азот (N<sub>2</sub>) і пари (H<sub>2</sub>O) не забруднюють навколишнє середовище.

Для протікання даного процесу, який називається селективним каталітичним відновленням, необхідна відповідна робоча температура відновлювального каталізатора 1. Її значення становить близько 250°C. Датчик температури у впускній камері глушника з відновлювальним каталізатором через задані інтервали передає дані температури на блок управління модуля SCR, звідки вони надходять на блок управління двигуном.

Електронний блок управління двигуном проводить розрахунок оптимальної кількості впорскуваного розчину AdBlue в залежності від поточного навантаження і обертів двигуна. Уприскування сечовини в систему випуску припиняється за умов:

- при малому потоці відпрацьованих газів, наприклад, на холостому ходу;
- коли температура відпрацьованих газів знижується і температура нейтралізатора опускається нижче робочого значення.

На рис. 2 представлені результати експериментального визначення тиску реагенту DeBlue у системі SCR від обертів колінчастого валу двигуна міського автобуса МАЗ-206 при виконанні транспортного процесу. Рисунок показує, що при русі по маршруту, водій збільшує і зменшує оберти двигуна за необхідністю, при цьому є видимі показники коливальності тиску реагенту DeBlue в системі саме при роботі двигуна з підвищеними навантаженнями.

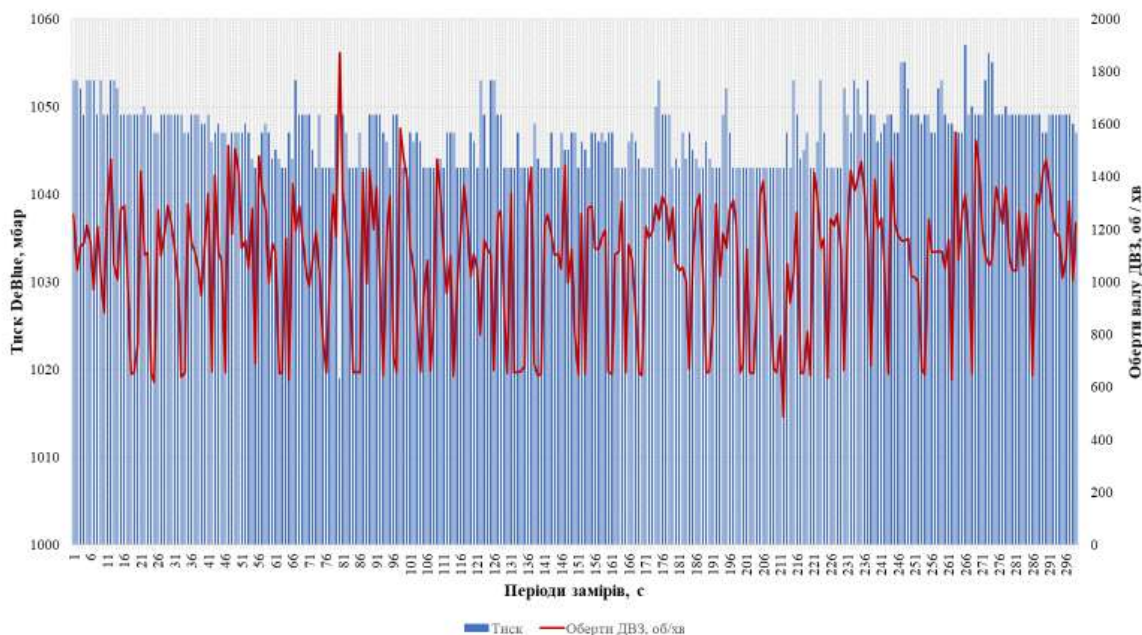


Рисунок 2 - Залежність тиску DeBlue від обертів колінчастого валу ДВЗ.

Згідно з Директивою 2005/55 / ЄС від Комісії ЄС пред'являються вимоги до систем контролю викидів двигунів механічних транспортних засобів.

Система контролю викидів NO<sub>x</sub> повинна функціонувати при:

- температурі навколишнього середовища між 266 К і 308 К (-7 ... + 35 °С);
- висоті над рівнем моря менш 1600 м;
- температурі охолоджуючої рідини вище 343 К (+70 °С).

Висновки. Обробка результатів дослідження, за характером роботи двигуна автобуса МАЗ-206, дозволили підтвердити попередній висновок авторів про взаємозв'язок витрати реагенту DeBlue з витратою палива при виконанні транспортного процесу. Встановлено, що нормативи витрати DeBlue не відповідають прийнятим значенням, так як визначені витратні значення зумовлені при швидкостях руху автомобіля, починаючи з 80 км/год і більше, що не властиве міському автобусу.

Вважаємо, що встановлення нормативів витрат реагенту DeBlue для міського автобуса при виконання транспортного процесу у вигляді інтервальних значень, на основі статистичних спостережень, можуть слугувати направленням подальших досліджень.

### Список літератури

1. <https://katalizator.in.ua/uk/vidklyuchennya-sistemi-egr-ta-sazhovogo-filtra>
2. Техническая документация Мерседес – Бенц MR2A/MR2B. Инструкция по эксплуатации электронного блока управления двигателем. 12.07.2007. - 107 с.
3. Cho, Y., Won, J., Kim, T., Kang, S., & Lee, D. (2008). The development of SCR system for heavy duty diesel engine in Korean market (SAE Technical Paper No. 2008-01-2490). Warrendale, PA: SAE International.
4. Nils-Olof Nylund, Kimmo Erkkilä & Tuukka Hartikka Fuel consumption and exhaust emissions of urban buses Performance of the new diesel technology. DEER 2007 Conference, August 12-16, Detroit, Michigan. - 54 p.



## **7. ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ТА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАЛЕЖНОГО РІВНЯ ЯКОСТІ ПАСАЖИРСЬКИХ ТА ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

УДК 656.13

### **РЕГРЕСІЙНИЙ ПІДХІД ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ДОСТАВКИ ВАНТАЖНИХ ВІДПРАВЛЕНЬ**

**В.В. Аулін**, *д-р. техн. наук, проф.*,

**А.В. Гриньків**, *канд. техн. наук,*

**А.О. Головатий**, *асп.*,

**В.О. Дьяченко**, *асп.*,

**Є.С. Галінський**, *студ.*,

**Н.К. Хорольський**, *студ.*,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна*

Щоб визначити вплив параметрів потоку на критерій ефективності проведемо регресійний аналіз й побудуємо регресійну модель.

Розв'язок цього завдання з математичної точки зору зводиться до знаходження аналітичного виразу, який якнайкраще відображує зв'язок факторних ознак з результативною, тобто слід визначити функцію:

$$Y_x = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n). \quad (1)$$

При цьому найскладнішою проблемою є вибір форми зв'язку й побудова його аналітичного виразу. На підставі чого за наявними факторами визначають результативну ознаку-функцію. Ця функція має краще за інші відображати реальні зв'язки між досліджуваними показниками і факторами. Зважаючи на те, що будь-яку функцію шляхом логарифмування або заміни змінних можна звести до лінійного вигляду, рівняння множинної регресії можна подати як:

- лінійна функція з ненульовим коефіцієнтом;
- степенева функція з ненульовим коефіцієнтом.

Лінійна функція у загальному вигляді визначається так:

$$Y_x = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + \dots + a_n \cdot X_n. \quad (2)$$

де  $Y_x$  – розрахункові значення результативної ознаки-функції;

$X_1, X_2, X_n$  – факторні ознаки;

$a_0, a_1, a_2, a_n$  – невідомі коефіцієнти рівняння при змінних, які обчислюють методом найменших квадратів. Для розрахунку параметрів використовуємо рівняння лінійної чотирьохфакторної регресії:

$$Y_x = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 + a_4 \cdot X_4, \quad (3)$$

де  $X_1, X_2, X_3$  і  $X_4$  – факторні ознаки;

$a_0, a_1, a_2, a_3$  і  $a_4$  – невідомі коефіцієнти параметри рівняння.

Визначення коефіцієнтів при змінних здійснюємо за формулою:

$$a_k = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r X_{ik} \cdot \bar{Y}_i \quad (4)$$

де  $r$  – кількість серій дослідів;

$X_{ik}$  – значення  $k$ -ого  $X$  в  $i$ -ій серії;

$\bar{Y}_i$  – середнє значення результуючої ознаки в  $i$ -й серії.

Значення кожного коефіцієнта рівняння регресії вказує на ступінь впливу відповідного фактора на результативний показник при фіксованому положенні решти факторів.

У випадку представлення рівняння множинної регресії через степеневу функцію, яка має загальний вигляд:

$$Y_k = e^{a_0} \cdot \prod_{i=1}^n X_i^{a_i} . \quad (5)$$

Для побудови моделі скористуємося програмою Microsoft Excel, в якій вбудованою є програма розрахунку регресії. Регресійний аналіз було проведено для кожного варіанту з використанням наведених вище функцій. Визначено, що найкращою буде степенева функція, оскільки значення коефіцієнта детермінації  $R^2$  є максимальним і дорівнює 0,99 (для даного і альтернативного варіантів).

Наведемо детальний аналіз отриманих результатів:

– міра визначеності  $R^2$  для першого та другого варіанту майже дорівнює одиниці – 0,997, що говорить про те що побудовані моделі пояснюють всі змінність відповідних параметрів;

– множинний коефіцієнт детермінації  $R$ , виражає ступінь залежності факторів  $X$  та результуючі змінної  $Y$ , показує тенденцію його значення до одиниці (0,999);

– "рівень значимості фактора Фішера  $F$ ", який повинен бути менше 0,05, дорівнює по схемам відповідно  $1,06 \cdot 10^{-13}$  та  $1,54 \cdot 10^{-13}$ , що відповідає умовам;

– оцінка коефіцієнтів регресії для даної схеми:  $a_0 = 6,71$ ;  $a_1=0,8$ ;  $a_2=0,08$ ;  $a_3=0,08$ ;  $a_4=0,29$ ; для альтернативної схеми:  $a_0=-6,94$ ;  $a_1=0,74$ ,  $a_2=0,08$ ,  $a_3=1,13$ ,  $a_4=0,29$ ; стандартна помилка повинна бути менше значень: для "альтернативної схеми" – помилка більша для  $a_3$ ; за значенням " $t$ -статистика" перевіряли попадання значення інтервал  $(-\infty; t_{кр}) \cup (t_{кр}; +\infty)$ ;  $P$ -значення повинна бути менше 0,05 – значення для  $a_4$  в "даній схемі", та для  $a_3$  та  $a_4$  по другій схемі перевищують це значення; значимими показниками являються ті, в яких інтервал між нижніми та верхніми 95 % не проходить через нуль: для  $a_4$  в "даній схемі", та для  $a_3$  та  $a_4$  по другій схемі результати проходять через нуль.

Визначено, що показник відстань перевезення вантажу територією іноземних держав не враховується в обох моделях, а інтенсивність надходження замовлень. не враховується в другій моделі. На підставі цих даних можемо записати степеневі регресійні моделі для кожної схеми.

Регресійна модель для визначення витрат на доставку вантажних відправлень:

– за даною схемою:

$$B_{\Sigma 1} = e^{6,71} \cdot q_i^{0,8} \cdot L_{пер.ТВ}^{0,08} \cdot I_3^{0,08} . \quad (6)$$

– за альтернативною схемою:

$$B_{\Sigma 2} = e^{6,94} \cdot q_i^{0,74} \cdot L_{пер.ТВ}^{0,08} . \quad (7)$$

По отриманим регресійним моделям необхідно провести розрахунки. Для цього потрібно взяти вхідні дані при максимальному та мінімальному значенні параметрів вхідного потоку замовлень (табл. 1).

Приклад розрахунку витрат на доставку для даної схеми

$$B_{\Sigma 1} = 2,71^{6,71} \cdot 0,1^{0,8} \cdot 10^{0,08} \cdot 1^{0,08} = 942,7 \text{ грн.}$$

Приклад розрахунку витрат на доставку для другої схеми

$$B_{\Sigma 2} = 2,71^{6,94} \cdot 0,1^{0,74} \cdot 10^{0,08} = 1142,43 \text{ грн.}$$

Аналогічно проводимо розрахунки для інших серій для двох схем і результати зводимо в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків критерію ефективності

Серія дослідів	Витрати на доставку, грн.	
	дана схема	альтернативна схема
1	942,70	1142,43
2	25960,43	30113,42
3	51030,43	54910,92
4	65750,43	60219,25
5	71730,43	66134,25
6	1253,20	1554,20
7	40680,43	35421,75
8	1149,70	1359,31
9	31940,43	36028,42
10	1089,90	1300,16
11	57010,43	60825,92
12	46660,43	41336,75
13	1002,50	1306,23
14	1193,40	1495,05
15	1340,60	1548,14
16	1400,40	1607,29

Побудуємо графіки залежності витрат на доставку вантажних відправлень від комбінацій значень вхідних параметрів по кожній серії дослідів (рис. 1).

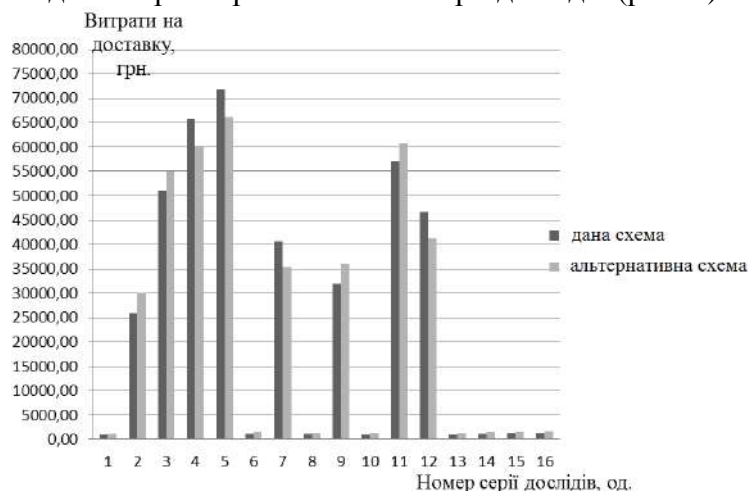


Рисунок 1 – Графік залежності витрат на доставку вантажних відправлень від комбінацій значень вхідних параметрів по кожній серії дослідів

З графіків видно, що "альтернативна схема" є найменш витратна тільки при четвертій, п'ятій, сьомій та дванадцятій серії дослідів, тобто значення обсягу замовлення та інтенсивність надходження замовлень максимальні при всіх чотирьох варіантах, а значення відстаней перевезення мають менший вплив на зменшення витрат за цією схемою. При цьому значення витрат мають найменшу різницю при сьомій серії дослідів.

Ефект – це результат від будь-якого заходу, який найчастіше виражається грошовою сумою у вигляді чистого доходу або прибутку. При позитивному значенні він відображає економію витрат, а при негативному – збитки підприємства.

Визначимо економічну ефективність отриманої моделі шляхом порівняння витрат на доставку між схемами.

Економічний ефект при порівнянні "даної схеми" та "альтернативної схеми"

$$E_i = B_{\Sigma 2} - B_{\Sigma 1}, \quad (8)$$

де  $B_{\Sigma 1}$  – витрати на доставку за варіантом "даної схеми", грн;

$B_{\Sigma 2}$  – витрати на доставку за варіантом "альтернативної схеми", грн.

Визначимо значення економічного ефекту для першої серії

$$E_1 = 1142,43 - 942,7 = 199,72 \text{ грн.}$$

Розрахунок економічного ефекту для інших серій наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Економічний ефект за серіями дослідів

Серія дослідів	Економічний ефект, грн.
1	199,72
2	4152,99
3	3880,49
4	-5531,18
5	-5596,18
6	301,00
7	-5258,68
8	209,61
1	2
9	4087,99
10	210,26
11	3815,49
12	-5323,68
13	303,72
14	301,65
15	207,53
16	206,88

Отже, з розрахунків бачимо, що варіант "дана схема", за участю терміналу регіону відправлення, доцільно використовувати в найбільшій кількості випадків комбінації вхідних параметрів. Найменший ефект 199,72 гривні отримаємо при мінімальних значеннях обсягу замовлення вантажу, відстаней перевезення вантажу, інтенсивності надходження замовлень. А найбільший ефект за розрахунками отримали 5596,18 гривень при використанні варіанту "альтернативної схеми" за максимальними значеннями обсягу замовлення вантажу, відстані перевезення вантажу територією України.

### Список літератури

1. Аулін В.В., Дігтяр Б.С., Цвігун Н.М. Використання математичного моделювання для оцінки ефективності функціонування фінансового механізму / Наукові записки. Випуск 65. – Серія: Математичні науки. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В.Винниченка, 2006. – С.8-17.
2. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Бобрицький В.М. Теоретичні основи діагностичного моніторингу і системи керування технічним станом мобільної сільськогосподарської техніки //Праці Таврійської держ. агротехн. академії – Вип.39. – Мелітополь, ТДАТА, 2006. – С.43-54.
3. Аулін В.В., Голуб Д.В. Аналіз системи перевезення пасажирів у містах, основні тенденції її розвитку і шляхи удосконалення Вісник НТУ.-В двох томах, частина 2.- Київ: НТУ, 2007. – С. 279-284.
4. Аулін В.В., Голуб Д.В. Алгоритм визначення основних показників процесу перевезень міського транспорту з переважанням приватного транспорту // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля.- Частина 2. – Луганськ: СЛУ, 2007. – №7(125) – С. 71-75.
5. Аулін В.В., Голуб Д.В. Типологічний підхід до раціонального розподілу рухомого складу на маршрутах міста в умовах переважання комерційного сектору пасажирських перевезень // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля.– Луганськ: СЛУ, 2010. – №7(149) – С. 47-52.
6. Аулін В.В., Голуб Д.В. Диференціальна та інтегральна оцінка рівня якості транспортного обслуговування пасажирів в ринкових умовах // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля.- Частина 1. – Луганськ: СЛУ, 2012. – №9(180) – С. 225-232.
7. Аулін В.В., Плохов І.О., Голуб Д.В. Підвищення ефективності транспортного обслуговування тролейбусами на основі рівнів спожитої ними потужності Наука та прогрес транспорту. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014, № 6 (54). – С.59-69.
8. Аулін В.В., Голуб Д.В., Губка А.Б. Логістичний підхід в дослідженні процесів вантажних перевезень у фермерських господарствах агропромислового комплексу України // Вісник інж. академії України. – 2016. – №4. – С. 61-66.
9. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. – 370 с.

## **ЩОДО ЗАДОВОЛЕНОСТІ ПАСАЖИРІВ ОРГАНІЗАЦІЄЮ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

**К.Є. Вакуленко**, канд. техн. наук, доц.,

**Н.А. Соколова**, асист.,

**А.М. Воронко**, студ.,

*Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, м. Харків, Україна*

Міський пасажирський транспорт (МПТ) відіграє значну роль у забезпеченні якості життя міського населення. Злагоджене зростання ефективності та якості роботи МПТ дозволяє підвищити рівень задоволеності потреб у перевезенні пасажирів, зменшити транспортне навантаження та аварійність на дорогах, підвищити безпеку руху та перевезень, покращити екологічну ситуацію, забезпечити беззбиткову роботу транспортних підприємств. Підвищення якості пасажирських перевезень у системі міського пасажирського транспорту – один з найважливіших напрямків розвитку транспортної галузі. Нині оцінку якості транспортних послуг ототожнюють з оцінкою рівня транспортного обслуговування пасажирів.

До основних факторів якості перевезення пасажирів відноситься: комфортність поїздки (заповнення салону транспортних засобів (ТЗ) та регулярність їх руху на маршрутах), час на пересування пасажирів, безпека перевезень. Умови, що визначають ці фактори: щільність маршрутної мережі, частота та точність руху міського транспорту, швидкість сполучення, стан інформації та реклами про роботу пасажирського транспорту, інформування пасажирів про маршрут та інтервал рух ТЗ, гігієнічний та естетичний стан ТЗ, облаштування та оформлення зупиночного пункту та кваліфікація персоналу [1-3]. При оцінці якості та задоволеності пасажирів у послугах міського пасажирського транспорту найбільш прийнятним методом у ринкових умовах є соціологічний, що припускає, що оцінка якості ґрунтується на зборі думок споживачів – пасажирів.

Опитування мешканців м. Харкова (за допомогою спеціальних анкет) проведено з метою виявлення факторів, що впливають на задоволеність пасажирськими автотранспортними послугами. До факторів, що підлягали дослідженню, віднесено: вартість проїзду; інтервали руху; заповнення салону; комфортність та безпека руху.

В рамках дослідження розглянуто різні види МПТ, а саме: тролейбусні та автобусні маршрути, при цьому дані види транспорту відносяться до різних форм власності – бюджетні (комунальні) та приватні. В м. Харкові дослідження проведено на тролейбусному маршруті №1 та автобусному маршруті 18е, що дублюють один одного, з метою визначення, який вид транспорту обирають пасажирів. Дані маршрути обслуговують спальні райони Слобідського району м. Харкова. Маршрут прокладений до метрополітену, також має зупинку біля лікарні та є зупинки поряд з супермаркетами та ринком.

Опитування проводилося за допомогою пошукової системи GOOGLE.

Запропоновані мешканцями чинники заносили у спеціально розроблену анкету (рис. 1). Для проведення опитування були виділені соціальні-вікові групи населення, які мають різну транспортну рухливість, що залежить від професійно-ділової діяльності, позавиробничого спілкування, розміру сім'ї, віку, статі та інших індивідуальних характеристик. Рухливість населення залежить також від сезону року, місяця, дня тижня, часу доби та ін.

1. Вкажіть Ваш вік \*

<20

21-30

31-40

41-50

>50

2. Як часто Ви використовуєте громадський транспорт? \*

Кожен день

Один-два рази на тиждень

Тільки в будні дні

Деякі кілька разів на місяць

3. За вашим соціальним положенням Ви є: \*

Людина працезданного віку, яка виконує трудову діяльність

Безробітний

Працюючий пенсіонер

Непрацюючий пенсіонер

Друге...

4. Який саме маршрут Ви обираєте частіше: \*

Тролейбусний маршрут № 1

Автобусний маршрут № 18

5. Які критерії, керують Вами при виборі того чи іншого виду транспорту: \*

Надійність

Комфортність поїздки

Витрати часу на пересування

Інтервал руху

Швидкість руху транспортного засобу

6. Що на Вашу думку, не дозволяє Вам повністю задовольнити Ваші потреби в пересуванні з використанням пасажирського автотранспорту: \*

Вартість проїзду

Великі інтервали руху

Заповнення салону

Безпека руху

Комфортність

Рисунок 1 – Анкета опитування пасажирів

В опитуванні приймало участь більше 100 респондентів, більшість з яких – працездатні особи, які виконують трудову діяльність (рис. 2). Критерії, якими керувалися опитувані при виборі маршруту (виду транспорту), представлені на рис 2; найважливішим з них є інтервал руху. За результатами анкетування більшість опитуваних пасажирів обрали автобусний маршрут 18е (рис. ).

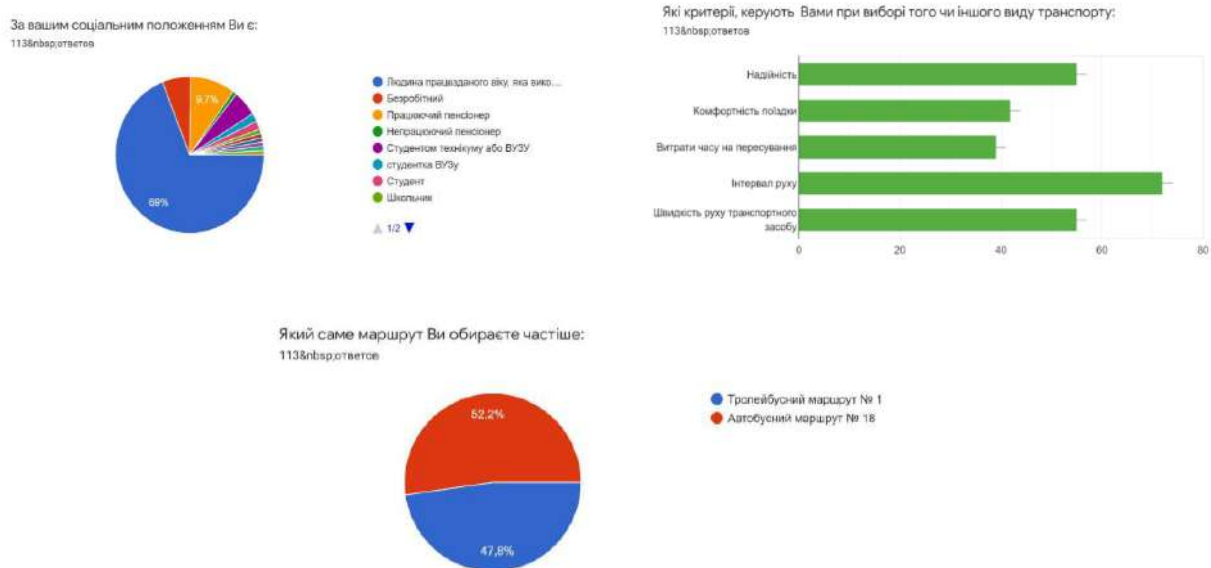
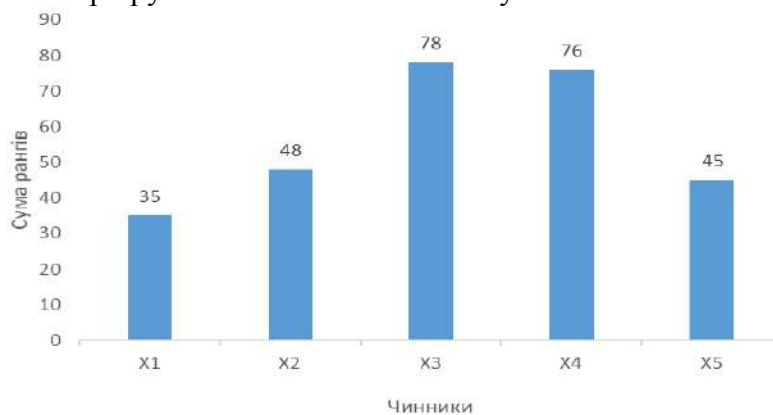


Рисунок 2 – Результати анкетування

З метою визначення значущості чинників, що впливають на задоволення пасажирів при здійсненні поїздки, при обробці даних ранжирування застосували метод рангової кореляції [3, 4]. В результаті розрахунків були побудовано діаграму значущості чинників для всієї сукупності пасажирів на досліджуваному маршруті (рис. 3). З даної діаграми видно, що для населення найбільш вагомим чинником, який не дозволяє задовольнити потреби в пересуванні автобусними маршрутами є заповнення салону.



X1- вартість проїзду; X2- великі інтервали руху; X3- заповнення салону  
X4- безпека руху; X5- комфортність

Рисунок 3 - Діаграма вагомості факторів, що впливають на задоволеність пасажирів у перевезеннях на автобусному маршруті 18е

На наступному етапі проведена оцінка ступеня погодження думок експертів з використанням коефіцієнта конкордації Кандела [3, 4]:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (1)$$

де  $m$  - число експертів;  
 $n$  - кількість факторів.

В рамках дослідження коефіцієнт конкордації становить  $W=1,43$ , що свідчить про погодженість думок експертів.

Проведене опитування свідчить про те, що для споживачів найважливішими факторами якості перевезень є: витрати на час пересування; безпека руху; надійність та вартість послуги. Подальше дослідження направлено на вдосконалення організації та управління пасажирськими перевезеннями з метою покращення якості перевезень на маршрутах міського пасажирського транспорту.

### Список літератури

1. Маргіта Н. О. Оцінка якості системи транспортного обслуговування пасажирів м. Львова / Н. О. Маргіта, Н. О. Ярема // Науковий вісник Ужгородського національного університету. – 2017. - № 16 (2). – С. 10 – 14
2. Єрмак О.М. Щодо визначення якості пасажирських перевезень / О.М. Єрмак, В.І. Пустовіт // Наукові нотатки. – 2014. – Вип. 46. – С. 170–176.
3. Вакуленко К. Є. Управління міським пасажирським транспортом : навч. посібник / К. Є. Вакуленко, К. В. Доля; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 257 с.
4. Винарський М. С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М. С. Винарський, М. В. Лурье. – К.: Техніка, 1975. – 168 с.

## **ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ДОСТАВКИ ВАНТАЖНИХ ВІДПРАВЛЕНЬ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**В.В. Аулін**, *д-р. техн. наук, проф.*,  
**А.В. Гриньків**, *канд. техн. наук*,  
**Д.В. Голуб**, *канд. техн. наук, доц.*,  
**С.В. Лисенко**, *канд. техн. наук, доц.*,  
**А.О. Головатий**, *асп.*

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Використано метод математичного планування експерименту, основна мета якого є досягнення максимальної точності вимірювань при мінімальній кількості проведених дослідів і збереженні статистичної достовірності результатів.

Метод планування експерименту дозволяє мінімізувати число необхідних випробувань, встановити раціональний порядок і умови проведення досліджень залежно від їх вигляду і необхідної точності результатів. Якщо ж по яких-небудь причинах число випробувань вже обмежене, то метод дає оцінку точності, з якою в цьому випадку будуть отримані результати. При цьому враховується випадковий характер розсіяння властивостей випробовуваних об'єктів. Вони базуються на методах теорії ймовірності і математичної статистики.

Для визначення раціональної схеми доставки вантажних відправлень обрано методику, яка складається з п'яти етапів:

- побудова альтернативних схем доставки вантажів;
- визначення значень вхідних параметрів моделі та часу виконання окремих операцій;
- побудова моделі схеми доставки збірних вантажів;
- визначення значень оціночного показника;
- вибір раціональної схеми доставки вантажів за визначеним критерієм.

Натурні дослідження проводилися на ТОВ "Автомаг-Україна". У якості вихідних даних використовувався потік замовлень. У якості змінних виступають наступні параметри потоку замовлень: обсяг замовлення вантажу, відстань перевезення вантажу територією України, інтенсивність надходження замовлень та відстань перевезення вантажу територією іноземних держав. Для одержання найбільш достовірних даних про зміну значень параметрів технологічного процесу перевезення визначали необхідну кількість спостережень за формулою:

$$n' = \frac{\sigma^2 \cdot t_{\beta}^2}{\varepsilon^2 + t_{\beta}^2 \cdot \frac{\sigma^2}{N}}, \quad (1)$$

де  $n'$  – обсяг вибірки;

$t_{\beta}$  – показник вірогідності для заданого рівня довірчої ймовірності; при рівні  $\beta_0 = 0,95$

$t_{\beta} = 1,96$ ; – середньоквадратичне відхилення результатів спостережень;

$N$  – загальна кількість спостережень,  $N = 100$  од.

$\varepsilon$  – похибка розрахунків:

$$\varepsilon = \mu \cdot (1 - P_d), \quad (2)$$

де  $\mu$  – математичне очікування;

$P_d$  – рівень довірчої ймовірності при  $P_d = 0,95$ ,  $t_{\beta} = 1,96$ .



Середньоквадратичне відхилення результатів спостережень:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}, \quad (3)$$

де  $x_i$  – середнє значення показника для  $i$ -го спостереження;  
 $\mu$  – математичне очікування:

$$\mu = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i. \quad (4)$$

Результати розрахунків наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків статистичних показників обсягу вибірки

Показники	Обсяг замовлення вантажу, т.	Відстань перевезення вантажу територією України, км.	Інтенсивність надходження замовлень, т/год.	Відстань перевезення вантажу територією іноземних держав, км.
Математичне очікування	5,05	555	8	415
Середньоквадратичне відхилення	1,65	181,67	2,33	21,67
Похибка розрахунків	0,2525	27,75	0,4	20,75
Обсяг вибірки	51	79	60	42

Для перевірки значущості зв'язку між двома змінними використовуємо критерій  $\chi^2$ -квадрат (критерій Пірсона), який дозволяє порівнювати розподіли частот незалежно від того, розподілені вони нормально або ні.

Під частотою розуміють кількість появ якої-небудь події. Використовуючи програму Statistica, здійснюємо розрахунки по виявленню законів розподілу визначених параметрів вхідного потоку замовлень.

Розраховані чисельні значення критерію Пірсона порівнювали із табличним значенням. При виконанні умови:

$$\chi_{розр}^2 \leq \chi_{табл}^2, \quad (5)$$

де  $\chi_{розр}^2$  – критерій Пірсона розрахунковий;

$\chi_{табл}^2$  – критерій Пірсона табличний.

Вважається, що в даних умовах прийнята гіпотеза щодо моделі розподілу випадкової величини, яка не заперечує спостереженням і її можна використовувати в подальших розрахунках. Приймаємо, що для вхідних параметрів має місце нормальний закон розподілення випадкових величин. Результати отриманих розподілів представлено на рисунках 1–4.

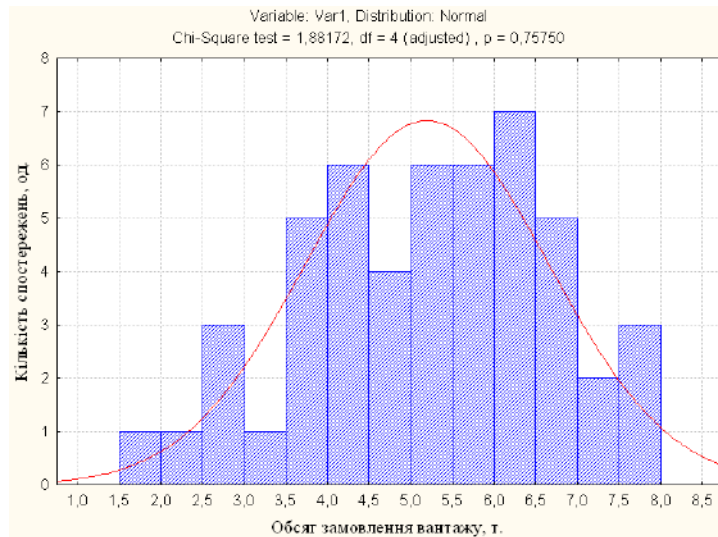


Рисунок 1 – Гістограма розподілу значень обсягу замовлення вантажу за нормальним законом розподілу

За допомогою програми MS Excel та функції ХІ2ОБР визначаємо табличне значення  $\chi^2$  для обсягу замовлення вантажу, яке склало 1,96. Оскільки розрахункове значення  $\chi^2$  становить 1,88, то умова  $\chi^2_{розр} \leq \chi^2_{табл}$  виконується, тобто  $1,88 < 1,96$ . При проведенні експериментальних досліджень на автомобільному транспорті, рівень довірчої ймовірності повинен складати не менше 5%. У нашому випадку вона склала 76%. Таким чином, гіпотеза про розподіл підтверджується.

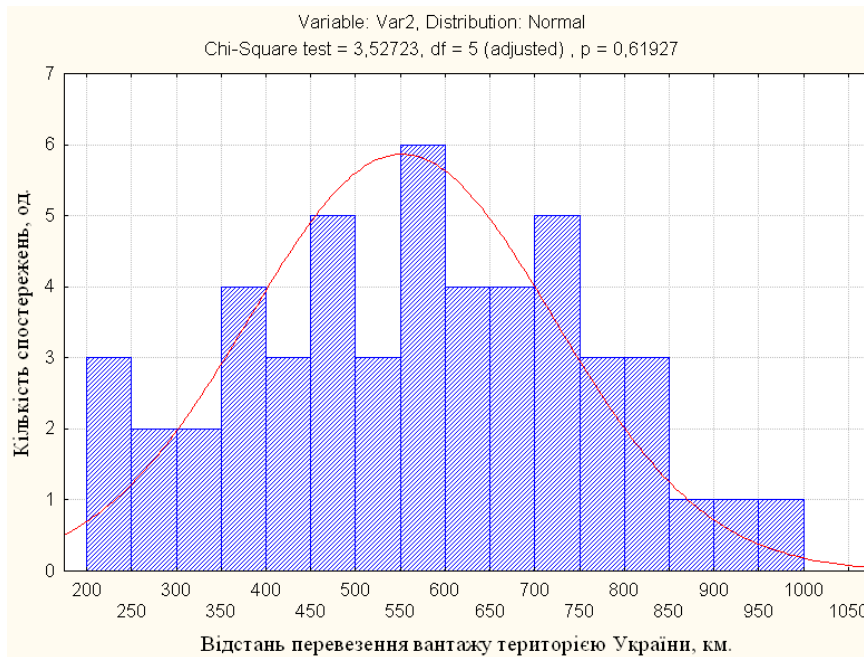


Рисунок 2 – Гістограма розподілу значень відстані перевезення вантажу територією України за нормальним законом розподілу

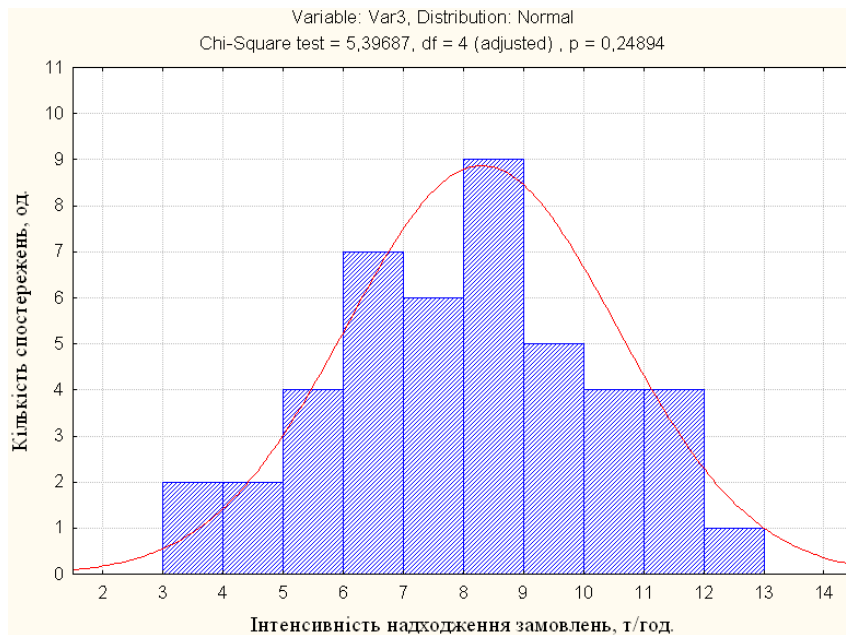


Рисунок 3 – Гістограма розподілу значень інтенсивності надходження замовлень за нормальним законом розподілу

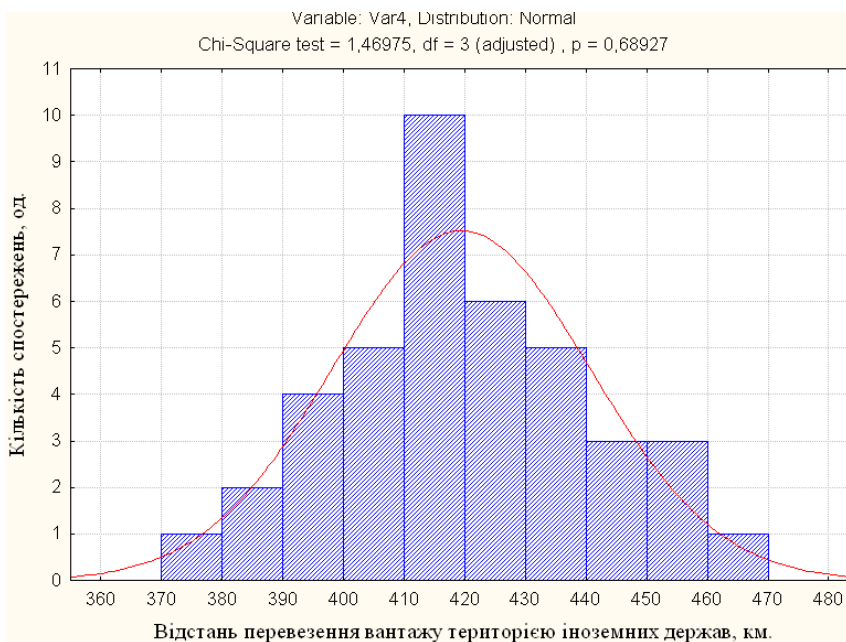


Рисунок 4 – Гістограма розподілу значень відстані перевезення територією іноземної держави за нормальним законом розподілу

При розрахунках табличне значення  $\chi^2$  для значень відстані перевезення вантажу територією України склало 3,74, тобто  $3,52 < 3,74$ , а, отже, умова виконується. Оскільки рівень довірчої ймовірності  $62\% > 5\%$ , то гіпотеза про розподіл підтверджується.

При розрахунках значення  $\chi^2$  для значень інтенсивності надходження замовлень склало 6,44, тобто  $6,44 < 5,39$ , а, отже, умова виконується. Оскільки рівень довірчої ймовірності  $25\% > 5\%$ , то гіпотеза про розподіл підтверджується.

При розрахунках значення  $\chi^2$  для значень відстані перевезення територією іноземної держави склало 1,54, тобто  $1,54 < 1,46$ , а, отже, умова виконується. Оскільки рівень довірчої ймовірності  $68,92\% > 5\%$ , то гіпотеза про розподіл підтверджується.

У таблиці 2 надано вихідні дані, які використовували при розрахунках витрат на доставку за двома схемами. Час навантаження та розвантаження однієї тони, значення якого

змінюються від 1 т/год. та 3 т/год., час відповідних робіт з однією тонною вантажу на терміналі – від 0,5 до 3 т/год., час знаходження однієї тонни вантажу в митниці – 1 т/год. та 4 т/год. – приймаємо середні значення (було здійснені генерація 40 значень за нормальним законом розподілу в MS Excel та визначені середні значення). В розрахунках не враховується режим роботи водія.

Таблиця 2 – Вихідні дані для розрахунків

Назва показника	Значення
Вартість подачі транспортного засобу (ТЗ) до ВВ, грн/км	50
Відстань перевезення з ТП до ВВ, км	15
Вартість перевезення вантажу по території України від ВВ до терміналу регіону відправлення, грн/ткм	2
Вартість перевезення вантажу по території України (від терміналу до митниці), грн/т.км	2,5
Відстань перевезення по території України (від ВВ до терміналу), км	35
Вартість однієї години роботи навантажувача для навантаження вантажу у ВВ, грн/год.	100
Вартість обробки однієї тонни вантажу на терміналі регіону відправлення, грн/т.	200
Вартість митних процедур на українській митниці, грн/год.	100
Вартість митних процедур на іноземній митниці, грн/год.	150
Вартість перевезення вантажу по території іноземної держави, грн/ткм	5
Вартість однієї години роботи навантажувача для розвантаження вантажу у ВВ, грн/год.	600
Вартість подачі транспортного засобу (ТЗ) ТП міжнародного призначення до першого ВВ, грн/км	70
Відстань подачі ТЗ від ТП міжнародного призначення до першого ВВ, км	15
Вартість обробки однієї тонни вантажу на терміналі призначення, грн/т.	350
Вартість перевезення вантажу по території іноземної держави від терміналу призначення до ВО, грн/ткм	10
Відстань перевезення по території іноземної держави від терміналу призначення до ВО	15

Дослідження є експериментом, якщо вхідні змінні змінюються дослідником в умовах, які точно враховуються, дозволяючи управляти ходом дослідів і відтворювати їх результати кожного разу при повторенні з точністю до випадкових помилок.

Початком планування експерименту являється збір, вивчення і аналіз наявних даних про об'єкт. В результаті цього визначають вихідний параметр  $y$  і вхідні –  $x_i$ . Вихідний параметр (змінна стану об'єкту) повинен мати кількісну характеристику, тобто вимірюватися з достатнім ступенем точності і однозначно характеризувати об'єкт дослідження, що забезпечує коректну постановку задачі.

Однофакторний експеримент використовується у випадку, коли функція мети залежить лише від одного фактора. Спочатку встановлюється нижнє або верхнє значення фактора, тобто один з його граничних рівнів, і потім послідовно знизу нагору, або навпаки, змінюються значення фактора стрибками, відповідно до прийнятого інтервалу варіювання.

Якщо є два, три і більше керуючі фактори, то експеримент називається багатофакторним. Планування багатофакторного експерименту полягає в тому, що всі незалежні змінні (фактори), що беруть участь у експерименті, крім одного, мають постійне і стабілізоване значення на якомусь визначеному рівні, а одна змінна змінюється у всьому діапазоні своїх значень із прийнятими інтервалами. У результаті експерименту отримують цільову функцію однієї незалежної змінної при постійних рівнях інших змінних. Потім

варіюють інший фактор, інші стабілізують, у результаті цільову отримують функцію мети в залежності від іншого фактора, при постійних рівнях решти факторів.

Таким чином, класичний план багатфакторного експерименту, є сумою послідовних однофакторних експериментів. Цей план може бути частковим і повним. Експеримент, у якому реалізуються всі можливі сполучення рівнів факторів, називається повним факторним експериментом (ПФЕ).

Загальна кількість дослідів для повного факторного експерименту з  $n$  змінюваними факторами кожний з яких встановлюється на  $q$  рівнях буде

$$N = q^n. \quad (5)$$

Найбільше розповсюдження отримали плани експериментів типу  $2^n$ . Зі збільшенням  $n$  різко збільшується кількість дослідів, тому якщо  $q > 2$ , плани ПФЕ рідко використовуються.

В результаті отриманих даних теоретичних досліджень, складено план експерименту для чотирьох параметрів, який складається з 16 серій.

Найбільш прийнятно варіювання факторів тільки на двох рівнях – верхньому – "плюс" і нижньому – "мінус", які є межею діапазонів варіювання відповідних змінних. Побудуємо такий план з кодованими факторами, позначаючи знаками "плюс" і "мінус" одне із двох натуральних значень кожного з факторів.

На основі розробленого плану експерименту представлено таблицю 3, згідно зі зазначенням максимального та мінімального значень аргументів.

Таблиця 3 – План експерименту

Серія дослідів	Рівні варіювання			
	Обсяг замовлення вантажу, т	Відстань перевезення вантажу територією України, км	Інтенсивність надходження замовлень, т/год.	Відстань перевезення вантажу територією іноземних держав, км
1	–	–	–	–
2	–	–	–	+
3	–	–	+	+
4	–	+	+	+
5	+	+	+	+
6	+	–	–	–
7	+	–	–	+
8	+	–	+	+
9	+	+	–	+
10	+	–	+	–
11	–	+	–	–
12	+	+	–	–
13	–	–	+	–
14	+	+	+	–
15	–	+	–	+
16	–	+	+	–

Користуючись даними моделі встановлені 4 фактори, які впливають на ефективність перевезення: обсяг замовлення вантажу ( $q_i$ ); відстань перевезення вантажу територією України ( $L_{пер.ТУ}$ ); інтенсивність надходження замовлень ( $I_3$ ); відстань перевезення вантажу територією іноземних держав ( $L_{пер.ІД}$ ).

Для розробки плану експерименту визначаємо мінімальні та максимальні значення, для отриманих параметрів розподілення. Для обсягу замовлення вантажу, що розподіляється за нормальним законом, мінімальне значення дорівнює 0,1 т та максимальне значення дорівнює 10 т. Для відстані перевезення вантажу територією України, розподіленою за нормальним законом, мінімальне значення дорівнює 10 км, а максимальне – 1100 км. Для відстань перевезення вантажу територією іноземних держав, розподіленою за нормальним законом, мінімальне значення дорівнює 350 км, а максимальне – 480 км. Для інтенсивності

надходження замовлень, розподіленою за нормальним законом розподілу, мінімальне значення дорівнює 1 т/год, а максимальне – 15 т/год. (таблиця 4).

Таблиця 4 – План експерименту з результатами отриманих даних

Серія дослідів	Рівні варіювання			
	Обсяг замовлення вантажу , т	Відстань перевезення вантажу територією України , км	Інтенсивність надходження замовлень, т/год.	Відстань перевезення вантажу територією іноземних держав, км
1	0,1	10	1	350
2	10	10	1	350
3	10	1100	1	350
4	10	1100	15	350
5	10	1100	15	480
6	0,1	1100	1	480
7	10	10	15	350
8	0,1	10	15	480
9	10	10	1	480
10	0,1	10	15	350
11	10	1100	1	480
12	10	10	15	480
13	0,1	10	1	480
14	0,1	1100	1	350
15	0,1	1100	15	350
16	0,1	1100	15	480

На прикладі взаємодії учасників доставки збірних вантажних відправлень за участю терміналу регіону відправлення, для першої серії проведемо розрахунки витрат на доставку вантажів у міжнародному сполученні. Спочатку визначали витрати на рух автомобіля з транспортного підприємства (ТП) до ВВ, перевезення вантажу від ВВ до терміналу та по території України, витрати на навантаження у ВВ, обробку вантажу на терміналі відправлення, здійснення митних операцій на митницях, перевезення вантажу по території іноземної держави і на розвантаження у вантажоодержувачів.

Твким чином у підсумку витрати на доставку збірних відправлень у міжнародному сполученні при використанні складу укрупнення складуть: 10924, 68 грн.

Результати розрахунків по іншим серіям для цієї схеми наведено у таблицях 5 і 6.

Таблиця 5 – Результати проведення розрахунків для даної схеми

Серія дослідів	Витрати на доставку, грн.
1	1024,68
2	28217,86
3	55467,86
4	71467,86
5	77967,86
6	1362,18
7	44217,86
8	1249,68
9	34717,86
10	1184,68
11	61967,86
12	50717,86
13	1089,68
14	1297,18
15	1457,18
16	1522,18

Таблиця 6 – Результати проведення розрахунків для альтернативної схеми

Серія дослідів	Витрати на доставку, грн.
1	1255,42
2	33091,67
3	60341,67
4	66175,00
5	72675,00
6	1707,92
7	38925,00
8	1493,75
9	39591,67
10	1428,75
11	66841,67
12	45425,00
13	1435,42
14	1642,92
15	1701,25
16	1766,25

Для альтернативної схеми доставки визначали тільки ті складові, які характерні для цієї схеми, а інші брали раніше розраховані, тобто розраховували витрати на рух автомобіля з транспортного підприємства (ТП) до ВВ, перевезення по території України, на навантаження у ВВ, обробку вантажу на терміналі призначення, перевезення вантажу по території іноземної держави від терміналу до ВО.

У підсумку витрати на доставку збірних вантажних відправлень у міжнародному сполученні за альтернативною схемою складуть: 1255,42 грн.

### Список літератури

1. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Лівіцький О.М. Транспортні засоби в агропромисловому комплексі та система діагностичного моніторингу їх технічного стану / Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин // Загальнодерж. міжвідомчий наук.-техн. зб. - Кіровоград: КНТУ. - 2007р. Вип.37. С. 146-154.
2. Аулін В.В., Голуб Д.В. Нормативно-правове забезпечення надійності функціонування транспортних систем в Україні // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки. – 2016. – №2 (77). – С.28-35.
3. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Ступінь забезпечення надійності та якості пасажирських і вантажних автомобільних перевезень в Україні національними та міжнародними стандартами // Вісник інж. академії України. – 2016. – №3. – С.156-162.
4. Аулін В.В., Голуб Д.В., Губка А.Б. Логістичний підхід в дослідженні процесів вантажних перевезень у фермерських господарствах агропромислового комплексу України // Вісник інж. академії України. – 2016. – №4. – С. 61-66.
5. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. – 370 с.
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. - P.165-169.
7. Aulin V., Pavlenko O., Velikodnyy D., Kalinichenko O. et al. Methodological approach to estimation of efficiency of the facing of the stock complex of transport and logistic centers in Ukraine ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine. – С.120-134.
8. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Розв'язання проблеми надійності технологічних процесів вантажних перевезень підприємствами агропромислового виробництва // Центрально-український науковий вісник. Технічні науки. Вип. 1(32). Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С.36-45.
9. Aulin V., Hrynkiv A., Rogovskii I., Lysenko S. et al. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters for a cylinder-piston group in the diesel engine during operation // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2020. Vol. 3 (5 - 105). - P. 19-29.
10. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень // Вісник машинобудування та транспорту №1(11), 2020. С.5-10.

## **МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ІНТЕРВАЛУ РУХУ АВТОБУСІВ НА МАРШРУТІ**

**Є.І. Тхорук**, канд. техн. наук, доц.,

**І.С. Канарейкіна**, студ.,

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

У кожному великому місті існує розгалужена мережа маршрутів, за якими здійснює перевезення міський пасажирський транспорт. Тому виникає необхідність в оптимізації інтервалів руху маршрутних транспортних засобів на кожному маршруті. Для транспорту це максимізація доходів від перевезення пасажирів за вирахуванням витрат на експлуатацію транспорту.

При вирішенні даної задачі необхідно враховувати, що велика кількість пасажирів може бути перевезена за допомогою транспортних засобів конкуруючих маршрутів. Тому при збільшенні інтервалу руху транспортних засобів по даному маршруту знижується загальний потік пасажирів, що перевозяться на маршруті, але при цьому скорочуються витрати на транспорт. І навпаки, при зменшенні інтервалу руху збільшується загальний потік пасажирів, що перевозяться на даному маршруті, але збільшуються і витрати на експлуатацію транспорту.

Рішенням задачі буде компроміс доходів і витрат, що забезпечує максимальний прибуток маршруту.

Основна інформація, необхідна для складання моделі - пасажиропотоки. Тобто інтенсивність надходження пасажирів, яких здатний перевезти даний маршрут, а також сумарна інтенсивність руху транспортних засобів інших маршрутів, що конкурують за ці пасажиропотоки.

Необхідно також мати інформацію про вартість проїзду в транспортних засобах даного маршруту і собівартість одного рейсу. Виходячи з даної інформації, ставиться завдання знайти оптимальний інтервал руху транспортних засобів даного маршруту, що забезпечує максимальну прибутковість маршруту в одиницю часу.

Для зручності розрахунків перегрупуємо пасажиропотоки по конкуруючим маршрутами, тобто визначимо сумарні пасажиропотоки, що перевозяться транспортними засобами конкуруючих маршрутів.

Виходячи з того, що потоки транспортних засобів і пасажирів є пуассонівськими [2], не залежать один від одного, то частка пасажиропотоку, що перевозиться кожним маршрутом, пропорційна його інтенсивності руху.

Частка  $i$ -го потоку пасажирів, що перевозиться транспортними засобами даного маршруту:

$$\frac{\mu}{\mu + \mu_i} \quad (1)$$

де  $\mu$  –інтенсивність пуассонівського потоку руху транспортних засобів по даному маршруту;  
 $\mu_i$  – сумарна інтенсивність пуассонівських потоків, конкуруючих транспортних засобів за  $i$ -й потік пасажирів.

Середня кількість пасажирів, перевезених за одиницю часу транспортними засобами даного маршруту:

$$\lambda_0 + \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i \mu}{\mu + \mu_i} \quad (2)$$



де  $\lambda_0$  – інтенсивність потоку пасажирів, що перевозяться транспортними засобами тільки даного маршруту;

$N$  – кількість пасажирів, що перевозяться транспортними засобами даного маршруту, спільно з транспортом інших маршрутів;

$\lambda_i$  – інтенсивність  $i$ -го потоку пасажирів, що перевозяться в тому числі і транспортними засобами даного маршруту  $i = 1 \dots N$ .

Доходи від перевезення пасажирів на даному маршруті за одиницю часу складуть:

$$c \cdot \left( \lambda_0 + \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i \mu}{\mu + \mu_i} \right) \quad (3)$$

де  $c$  – вартість проїзду в транспортних засобах даного маршруту.

Витрати на експлуатацію транспорту будуть рівні:

$$s \cdot \mu \quad (4)$$

де  $s$  – собівартість одного рейсу на даному маршруті.

Потрібно знайти оптимальний інтервал руху транспортних засобів по даному маршруту, що забезпечить максимальний прибуток:

$$f(\mu) = c \cdot \left( \lambda_0 + \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i \mu}{\mu + \mu_i} \right) - \alpha \mu \rightarrow \max \quad (5)$$

Відзначимо, що при відсутності руху по маршруту доходи дорівнюватимуть нулю.

Оскільки функція нелінійна, пошук рішення здійснюємо чисельно.

Для вирішення завдань одновимірної оптимізації можна використовувати велику кількість алгоритмів і їх комбінації, а також скористатися існуючими програмними засобами – (наприклад, Math-CAD, Excel).

Запишемо ітераційний алгоритм методу Ньютона для вирішення даної задачі [1]:

$$\mu^{k+1} = \mu^k + \frac{\left( c \cdot \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i \mu_i}{(\mu^k + \mu_i)^2} - s \right)}{2c \cdot \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i \mu_i}{(\mu^k + \mu_i)^3}} \quad (6)$$

Відзначимо, що дана задача дозволяє скласти оптимальний графік руху міського пасажирського транспорту на одному маршруті за допомогою простих розрахунків. Однак зміна інтервалу руху транспортних засобів на одному маршруті може вплинути на оптимізацію інтервалів руху транспорту на інших маршрутах. Тому при вирішенні задачі оптимізації необхідно враховувати графіки руху пасажирського транспорту на інших маршрутах, що дозволить зробити роботу міського пасажирського транспорту міста більш стійкою.

### Список літератури

1. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. — 6-е изд. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. — 636 с.: ил.
2. Корягин, М. Е. Интервал движения по маршруту, минимизирующий суммарные затраты транспорта и пассажиров / М. Е. Корягин // Вестник Куз-ГТУ. - 2005. № 1. - С. 92-93.
3. Лигум, Ю. С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами пассажирского автомобильного транспорта / Ю. С. Лигум. К.: Техника, 1989. - 239 с.
4. Аптошвили, М. Е. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ / М. Е. Антошвили, Г. А. Варелопуло, М. В. Хрушев. М. : Транспорт, 1974. - 103 с.

## **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ЯК РЕЗУЛЬТАТ ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**В.В. Аулін**, *д-р. техн. наук, проф.*,

**А.В. Гриньків**, *канд. техн. наук,*

**А.О. Головатий**, *асп.*,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) – це системні зміни, спрямовані на надання різних інноваційних послуг для різних видів транспорту та досягнення стійкої мобільності через підвищення ефективності, безпеки і екологічності транспорту. ІТС розглядається зацікавленими сторонами в якості містка, що дозволяє усунути існуючий розрив стійкості між транспортними системами. Насьогодні ІТС поки ще впроваджується фрагментовано і у відриві однієї від іншої, що обумовлює відсутності узгодженої на міжнародному рівні політики в цій області, а в деяких аспектах – повною відсутністю будь-яких нормативних положень. Зазначимо, якщо в рішенні конкретних технічних транспортних проблем досягнуто істотний прогрес, то питання транспортної політики і інституційних мір в наш час можливо обґрунтувати. Це характерно для транспортних систем небагатьох країн.

Для забезпечення стійкого транспорту і стійкої його мобільності необхідний системний підхід, спрямований на отримання результатів у плані підвищення безпеки дорожнього руху і енергоефективності, скорочення викидів парникових газів і забруднювачів, а також розширення частки відновлювальних джерел енергії. В якості каталізатора цього процесу можуть бути використані інформаційно-комунікаційні технології. Для успішного сприяння переходу до стійкої мобільності вимагається вибрати новий підхід та нові технології до розвитку існуючих транспортних систем. Слід зазначити, що глобальні тенденції широкомасштабного характеру, пов'язані з демографічною динамікою, ростом торгівлі і стрімкою урбанізацією, їх вплив на довкілля, а також вразливість транспортної інфраструктури перед наслідками зміни клімату. Все це обумовлює необхідність переформатувати і адаптувати транспортні системи з метою забезпечення їх стійкого і ефективного функціонування.

Для розв'язання накопичених системних і взаємозв'язаних проблем слід розробити заходи впровадження інноваційних та ефективних технологій щоб не тільки зм'якшити негативні аспекти транспортних систем, але і одночасно гарантувати їх глобальну трансформацію в системи, що забезпечують загальний доступ й прийнятну за вартістю мобільність для кожної людини окремо і суспільства в цілому. ІТС майбутнього повинні забезпечити більш високий рівень безпеки і надійності, і при цьому здійснювати мінімальний вплив на довкілля і соціальну обстановку. Поява ІТС, їх прикладне використання свідчить, що розвиток транспортних систем підійшов до важливого рубежу. ІТС надають можливість також змінити парадигму і ліквідувати секторіальний розрив у стійкому розвитку транспорту та підстави для розвитку ефективних транспортних технологій.

### **Список літератури**

1. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень // Вісник машинобудування та транспорту №1(11), 2020. С.5-10.
2. 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. Вип. 1(32). Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С.36-45.
3. Aulin V., Pavlenko O., Velikodnyy D., Hrinkiv A. et al. Methodological approach to estimation of efficiency of the facing of the stock complex of transport and logistic centers in Ukraine ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine. – С.120-134.

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ У МІЖМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ ШЛЯХОМ ОЦІНКИ РИЗИКУ НЕЗБЕРЕЖЕННЯ**

**К.В. Сергієнко**, студ.,

**Т.В. Волкова**, канд. техн. наук, доц.,

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

Вантажний автомобільний транспорт відіграє важливу роль у перевезенні небезпечних вантажів по всьому світу в цілому і зокрема Україною. На частку даного виду транспорту приходить 65% від загального обсягу небезпечних вантажів. Затребуваність вантажного автомобільного транспорту обумовлена його маневреністю і мобільністю [1].

Правильні умови перевезення даного виду вантажу є основним завданням перевізника. Показники збереження вантажу в Україні, на автомобільному транспорті встановлені такими державними стандартами як: ДСТУ 4500-1, ДСТУ 4500-3, ДСТУ 4500-4, ДСТУ 4500-5, ДСТУ 3180-95, а незбереження вантажу входить до складу транспортних ризиків техногенної групи. Перевезення небезпечних вантажів повинно мати максимум чіткої організаційної роботи, наявність професійних фахівців, працівників охорони і досвідчених, кваліфікованих водіїв.

Вивчаючи це питання, можна чітко стверджувати, що воно має вузьку спрямованість. Не дивлячись на це, істотний внесок в розробку теоретичних положень на дану тему внесли такі вчені як: Д.Г. Мороз, К.К. Стоян, А.П. Трясцін, С.В. Кондратов, М.О. Афонін та інші. Всі вони, детально розглядаючи процес перевезення, приходять до висновку, що абсолютно на кожному етапі існує ризик незбереження вантажу.

Ризик - це небезпека, можливість зазнати збитку чи шкоди. Під ризиком перевезення небезпечних вантажів слід розуміти очікувану частоту виникнення небезпеки певного характеру або розмір можливого збитку, пов'язаний з пораненням або загибеллю людей, втрати техніко-економічного характеру, екологічний збиток від аварій з небезпечним вантажем або комбінацію цих величин [2].

В класичній теорії вантажних автомобільних перевезень питання, що пов'язані із забезпеченням збереження вантажу вирішувалися в рамках задач по вибору рухомого складу, маршрутизації, вибору навантажувально-розвантажувальних механізмів та диспетчеризації перевізного процесу.

Розвиток системного та ситуаційного аналізу, необхідність врахування факторів зовнішнього середовища сприяв обґрунтуванню та розробки нових наукових технологічних рішень щодо організації перевезень вантажів.

Ряд наукових досліджень, що описують вплив факторів на збереження вантажів мають дуже стислу характеристику. При дослідженні проблеми щодо збереженості вантажів необхідно враховувати фактори, що мають якісні властивості, з урахуванням сучасних способів формалізації [3].

Враховуючи природу незбереження небезпечних вантажів розроблена схема взаємодії факторів, що впливають на збереженість вантажів (рис. 1).

На рисунку 1 фактори, що знаходяться всередині схеми можна розподілити на фактори зовнішнього середовища (некеровані) та фактори внутрішнього середовища (керовані, які підпорядковані впливу на технологічному рівні організації перевезень).

Фактори, що впливають на збереженість небезпечних вантажів мають детермінований та імовірнісний характер впливу.

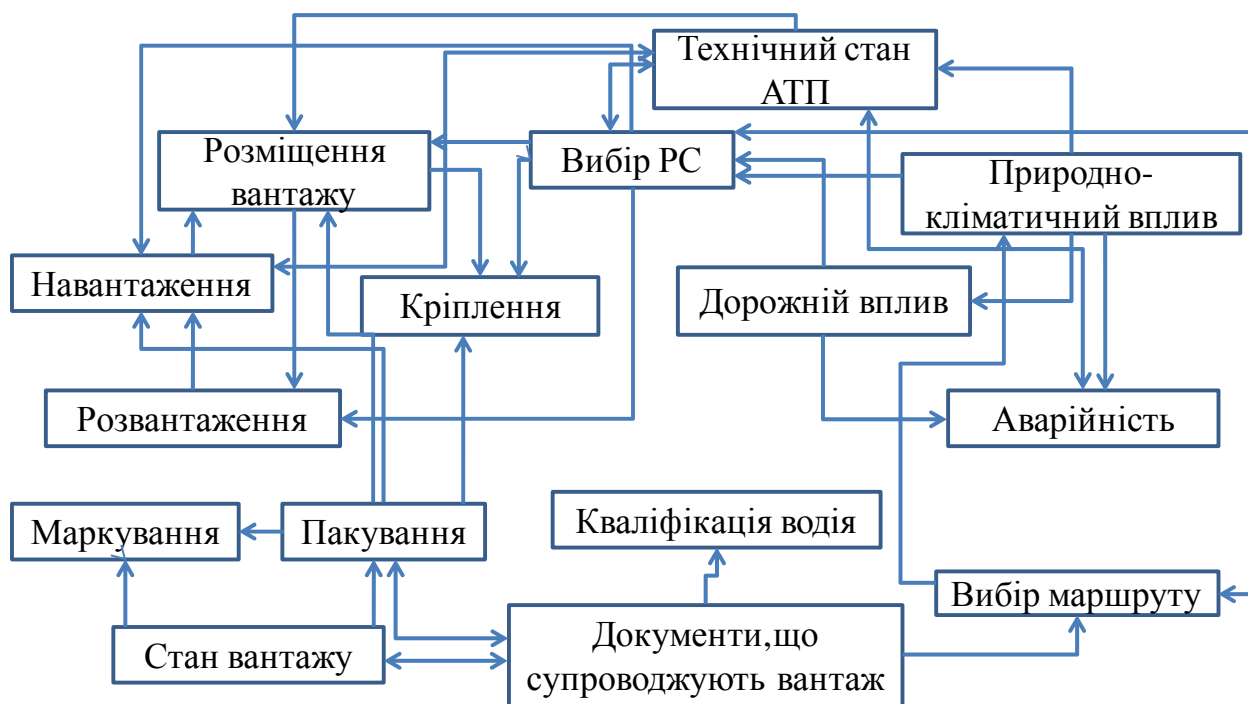


Рисунок 1 - Схема взаємодії факторів, які впливають на збереженість небезпечного вантажу

На основі виявленого переліку факторів, які впливають на збереження небезпечного вантажу, та їх взаємодії була розроблена структурно - логічна схема (рис 2).

Застосування системного підходу дало змогу всі фактори розподілити на керовані (транспортбельність, організаційно-технологічні) та некеровані (дорожньо-кліматичні та соціально-політичні).

Об'єктивне врахування впливу некерованих факторів з боку перевізника дозволить здійснювати нівелювання цього впливу.

Фактори внутрішнього середовища необхідно оцінювати на етапі планування перевізного процесу небезпечних вантажів.

У випадку критичного значення функції ризику незбереження небезпечного вантажу, суб'єкт управління повинен вносити корегувальні рішення щодо зміни технологічних параметрів перевізного процесу.

Цільова функція досліджень являє собою мінімум ризику незбереження небезпечного вантажу, має неявні залежності і може бути представлена у вигляді аналітичного виразу:

$$R = f(X, Y) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $R$  - ризик незбереження небезпечного вантажу;

$X$  - показник альтернативності показника перевезення;

$Y$  - невизначеності перевізного процесу.

Ризик незбереження вантажів характеризується параметрами альтернативності (варіантності) та невизначеності. Альтернативність передбачає наявність множини варіантів перевізного процесу та можливість здійснити вибір. Під невизначеністю можна прийняти неповноту, неточність реалізації перевізного процесу в умовах інваріантності. Існування ризику безпосередньо пов'язано з наявністю невизначеності. Поява факторів, щодо імовірності незбереження небезпечних вантажів, спонтанна. Тому подія передбаченого ризику носить випадковий характер. Це обґрунтовує різний результат перевізного процесу з ідентичними параметрами організації.

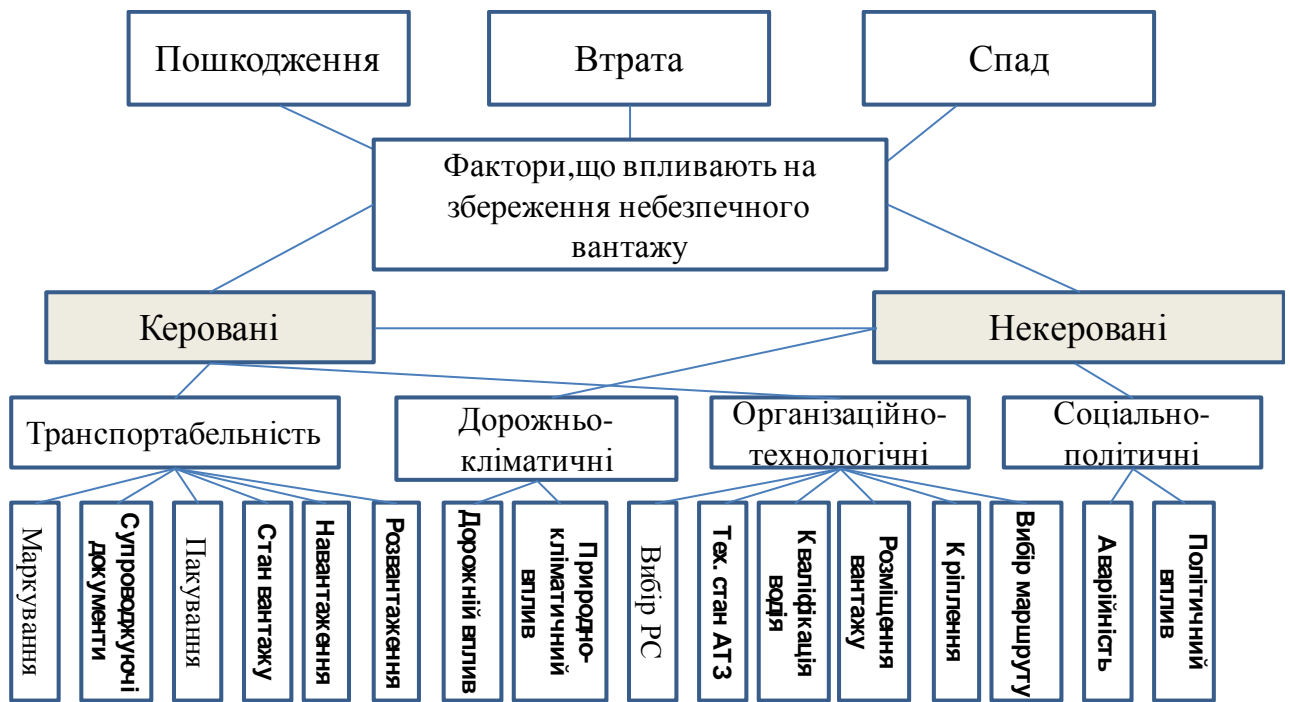


Рисунок 2-Структурно-логістична схема факторів, що впливають на збереження небезпечного вантажу

Згідно структурно-логічною схемою була сформульована номенклатура, яка складається з 16 факторів незбереження небезпечного вантажу. Процедуру ідентифікації факторів необхідно проводити із застосуванням методу експертних оцінок із подальшою статистичною обробкою.

Отже, було розглянуто задачу підвищення збереження небезпечного вантажу автомобільним транспортом, де за основу було взято встановлення і практичне використання залежності впливу головних факторів на комплексну оцінку ризику незбереження небезпечного вантажу на стадії планування і організації перевезень. Крім цього була розроблена структурно-логістична схема факторів, які спрямовані на збереження небезпечного вантажу, із встановленням взаємної дії факторів в системі "автомобіль-водій-вантаж". У подальших дослідженнях буде проведена ідентифікація факторів з використанням методу експертних оцінок та розроблена логіко-лінгвістична модель оцінки ризику незбереження небезпечного вантажу при міжміських автомобільних перевезеннях.

### Список літератури

1. Нефьодов, В.М. Методика формування ресурсозберігаючої технології доставки вантажів транспортно-логістичним центром [Текст] / В.М. Нефьодов, О.В. Павленко, О.П. Калініченко // Комунальне господарство міст. - 2018. - 142. – С. 96-102.
2. Економічний ризик: методи оцінки та управління: навч. посіб. / Т. А. Васильєва та ін. Суми, 2015. 208 с.
3. Стоян К.К. Оперделение доминантных факторов сохранности груза на автомобильном транспорте. Вестник СибАДИ. 2016. №4. С. 81-88.

## **ВСТАНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ ЗУПИНОЧНИХ ПУНКТІВ ГРОМАДСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ**

**М.Є. Кристопчук**, канд. техн. наук., доц.,

**Н.О. Бучак**, студ.,

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

**О.Д. Почужевський**, канд. техн. наук., доц.,

*Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна*

У транспортному обслуговуванні населення міст домінуюче положення займає (і буде займати на віддалену перспективу) міський пасажирський транспорт (МПТ). Функціонування сучасного міста неможливо уявити без розвиненої системи міського пасажирського транспорту, рівень ефективності якої багато в чому визначає умови життя людей і впливає на результати їхньої праці на основному виробництві. За цих умов актуальне значення має проблема визначення соціальної і економічної ефективності пасажирських перевезень. Важливе місце при цьому займає розташування системи зупиночних пунктів на вулично-дорожній мережі міста, яка впливає на доступність транспортних послуг, безпеку руху й на пропускну здатність дороги. Разом з тим, від місця розташування зупиночних пунктів на маршруті та геометричних характеристик посадочних площадок, залежить їхнє облаштування для зручності пасажирів, а також проектування параметрів технологічного процесу перевезення.

Міський пасажирський транспорт є одним з основних елементів міського господарства і забезпечує транспортний взаємозв'язок усіх частин міста. У зв'язку з цим, система міського пасажирського транспорту має важливе соціальне значення для населення і виступає як найважливіша частина міської інфраструктури. Це визначає її особливість як об'єкта управління.

Необхідно зазначити, що з моменту свого виникнення система міського пасажирського транспорту виступала в ролі системи забезпечення соціальних гарантій для населення міст, що визначило пріоритети і напрям її розвитку.

Як показує аналіз вітчизняної фахової літератури і наукових досліджень у цій галузі [1-6], ефективність системи міського громадського пасажирського транспорту закладаються при проектуванні міст, функціональному зонуванні території, що пов'язано з особливостями географічного положення міста, екологічною обстановкою, кліматичними особливостями території, історичними і культурними особливостями міст. У свою чергу, містобудівні вимоги визначають вибір системи транспортного обслуговування міста, визначають вибір видів транспорту, використовуваних у містах, і зрештою чинять вплив на маршрутну мережу міського пасажирського транспорту [7].

Нині рівненський міський пасажирський транспорт – це 33 маршрути маршрутного таксу та 11 тролейбусних. Експлуатація приватних мікроавтобусів дещо пом'якшила проблему транспортного обслуговування населення. Але їх масове використання має і негативні сторони:

- мікроавтобуси, що обслуговують населення, на фоні значного росту кількості індивідуальних автомобілів, різко збільшують навантаження дорожньої сітки міста та погіршують екологічну ситуацію;

- експлуатація приватних мікроавтобусів ускладнює, а іноді виключає можливість обслуговування пільговиків та безкоштовний проїзд;

- малоорганізована форма експлуатації приватних мікроавтобусів, відсутність гаражів чи спеціальних стоянок часто утруднює проведення передрейсового технічного огляду

транспортних засобів, медичного огляду водіїв, контролю за дотриманням режиму праці;

- більшість мікроавтобусів мають великий термін експлуатації, що потребує значних експлуатаційних витрат, знижує безпеку дорожнього руху і погіршує екологічний стан.

Для забезпечення перевезення пасажирів в м. Рівне залучено 113 приватних підприємців (фізичні особи), яким належить 242 автобусів малої та середньої місткості, 3 автобуси великої пасажиромісткості та 11 підприємств різних форм власності, яким належить 117 автобусів малої та середньої місткості.

Історична сформованість планувальної структури м. Рівне має вигляд радіально-кільцевої схеми, при цьому дослідження щільності вулично-дорожньої мережі показало, що середньозважена величина коефіцієнту непрямої лінійності в м. Рівне нині становить 1,45. В результаті аналізу міри завантаження транзитними кореспонденціями центрального вузла виявлено, що 76,9 зі 100% всіх кореспонденцій є транзитними і пролягають через центральні райони міста Рівне.

Витрати часу на пересування від місць проживання до місць прикладення праці для 90% соціального населення (в один кінець), як правило, не повинні перевищувати: у містах з населенням понад 1 млн. чол. – 45 хв., від 500 тис. до 1 млн. чол. – 40 хв., від 250 до 500 тис. чол. – 35 хв., до 250 тис. чол. – 30 хв.

Дальність пішохідних підходів до найближчого зупиночного пункту громадського пасажирського транспорту слід приймати не більше 500 м.

У загальноміському центрі дальність пішохідних підходів до найближчого зупиночного пункту громадського пасажирського транспорту від об'єктів масового відвідування повинна бути не більшою 250 м; у виробничих і комунально-складських зонах – не більше 400 м від прохідних підприємств; у зонах масового відпочинку й спорту – не більше 800 м від головного входу [7].

Функціонування міського зупиночного пункту передбачає виконання операцій прибуття на неї пасажирського транспорту, її пасажирообмін та звільнення. Для вирішення задач визначення можливих черг, планування перевезень, організації зупиночних пунктів, одночасного обслуговування двох транспортних засобів, тощо, потребує детального вивчення функціонування зупиночних пунктів.

При визначенні інтенсивності надходження транспортних засобів на зупиночний пункт необхідно керуватись дискретними випадковими величинами, які підпорядковуються закону розподілу Пуассона [8-10].

Зупиночний пункт, на який прибувають МТЗ вміщає не більше трьох одиниць одночасно, і якщо він зайнятий, то чергова одиниця, яка прибула на зупиночний пункт, очікує свою чергу, при цьому створюючи незручності для нормального функціонування зупиночного пункту. Транспортні засоби прибувають на зупиночний пункт з інтенсивністю МТЗ/хв. для зупиночного пункту "Автовокзал" і МТЗ/хв. для зупиночного пункту "Майдан Незалежності". Інтенсивність процесу обслуговування МТЗ/хв. для зупиночного пункту "Автовокзал" і МТЗ/хв. для зупиночного пункту "Майдан Незалежності".

Математичною моделлю даного зупиночного пункту є багатоканальна СМО ( $n = 3$ ) з очікуванням і обмеженням на довжину черги ( $m = 2-7$ ). Передбачається, що потік МТЗ, що під'їжджають до зупиночного пункту для посадки і висадки пасажирів, і потік обслуговувань – найпростіші.

Показник навантаження для СМО за зупиночними пунктами "Автовокзал" і "Майдан Незалежності" відповідно складає 10 та 10,6 та в перерахунку на один канал відповідно складає: 3,3 та 3,5.

Таким чином, можна зробити висновок, що збільшення числа каналів обслуговування призводить до значного зменшення витрат, пов'язаних з відмовою в посадці пасажирів. Збільшення числа каналів призвело також до скорочення часу очікування МТЗ в черзі.

Геометричні параметри зупиночного пункту, з урахуванням інтенсивності обслуговування та зміною кількості каналів обслуговування до 6-8, становлять 56-72 м.

Довжина перегону суттєво впливає на всі характеристики транспортної системи перевезення пасажирів маршрутного міського пасажирського транспорту. Оптимальна довжина перегону зменшується із збільшенням вартості пішого руху, тому при врахуванні цього фактору, для пасажиропотоку слідування 10000 пас./добу, вона становить 800 м. При врахуванні витрат пов'язаних з маршрутною поїздкою пасажира у транспортному засобі, при пасажиропотоці слідування 10000 пас./добу, оптимальна довжина становитиме так само 800 метрів. Якщо враховувати витрати пов'язані з утриманням зупиночного пункту 100 грн./добу та викидом шкідливих речовин відпрацьованими газами МТЗ, оптимальна довжина перегону становитиме 800 м.

Враховуючи радіус повороту автобуса "Богдан А092" в 7700 мм, можна визначити відстань між МТЗ на зупиночному пункті. Враховуючи довжину автобуса (7430 мм) та його радіус повороту, відстань між МТЗ буде становити 2700 мм. Звідси, довжина зупиночного пункту, яка необхідна для безпечного розміщення МТЗ повинна становити 35-40 м.

Моделювання роботи зупиночного пункту, як системи масового обслуговування, для зупинки яка вміщає не більше 3 МТЗ одночасно. Необхідно було визначити залежність ймовірності відмови в обслуговуванні МТЗ від часла каналів СМО та довжини черги. Відповідно до цього, було визначено геометричні параметри зупиночного пункту з урахуванням інтенсивності обслуговування, які становлять 56-72 м.

При цьому формуються геометричні характеристики зупиночного пункту, на якому безпечно розміщуються маршрутні транспортні засоби, забезпечується оптимальна відстань між автобусами, для безпечного виїзду на дорожню смугу без чекання виїзду попереднього.

### Список літератури

1. Єрмак О. М. Розташування зупиночних пунктів міського пасажирського транспорту: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / О. М. Єрмак; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : 2010. – 22 с. – Режим доступу : [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis64r\\_81/cgiirbis\\_64.exe?](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis64r_81/cgiirbis_64.exe?)
2. Кристопчук М., Пашкевич С. Формування міськ розташування транспортно-пересадочних вузлів //Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання: тези доповідей III Всеукраїнської науково-теоретичної конференції. – Посвіт, 2019. – С. 75-76..
3. Кристопчук М. Є., Лобашов О. О. *Приміські пасажирські перевезення*: навч. пос. – Харків : НТМТ, 2012. – 224 с. – Режим доступу : <http://ep3.nuwm.edu.ua/11277/1/>.
4. Кристопчук М. Є. Ефективність пасажирської транспортної системи приміського сполучення : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / М. Є. Кристопчук; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва./– Харків : ХНАМГ, 2009. – 214 с.
5. Колій О. С. Рациональне розташування зупиночних пунктів автобусних та тролейбусних маршрутів відносно регульованих перехресть : дис. ... канд. техн. наук / О. С. Колій. – Харків: ХНАДУ, 2017. – 247 с. – Режим доступу : <http://old-www.khadi.kharkov.ua/uploads/>.
6. Ройко Ю. Я. Визначення раціональної вулично-дорожньої мережі, сформованої житловими кварталами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Ю. Я. Ройко; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : 2013. – 25 с.
7. *ГБН В.2.3-218-550 „Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Зупинки маршрутного транспорту”* – Київ : Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор). 2010.
8. Кристопчук М. Є. Дослідження факторів впливу на розподіл пасажирських кореспонденцій по маршрутній мережі //Наукові нотатки. – 2014. – №. 45. – С. 317-322..
9. Modeling of assessment of reliability transport systems / Yevhen Tkhoruk, Olena Kucher, Mykola Holotiuk, Mykhailo Krystopchuk, Oleg Tson // *Proceedings of ICCPT 2019*, May 28-29, 2019. – Tern. : TNTU, Scientific Publishing House "SciView", 2019. — P. 204–210.
10. Хітров І. О., Кристопчук М. Є., Пашкевич С. М. Моделювання параметрів функціонування зупиночних пунктів громадського пасажирського транспорту //Вісник машинобудування та транспорту. – 2019. – №. 2. – С. 134-140.



## **ПРОБЛЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ**

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

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

*Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна*

Сучасний стан розвитку світового господарства характеризується подальшим розвитком інтеграційних процесів та глобалізацією, які сприяють розвитку економічних відносин між державами. Важливу роль в цьому процесі виконує транспорт, зокрема, автомобільний, який є найбільш мобільним, доповнює інші види транспорту і є незамінним засобом розвитку економіки на місцевому і міжнародному рівні.

Автомобільний транспорт здатний найефективніше забезпечити задоволення потреби зовнішньоторговельних організацій в перевезеннях товарів і вантажів, на сьогоднішній день займає одне з провідних позицій по організації діяльності, пов'язаної з перевезеннями, а також є одним з найнадійніших і оперативних способів доставки вантажів різного значення. В контексті глобалізації економіки автотранспорт є єдиним засобом надання високоякісних транспортних послуг "від дверей до дверей" [1].

Україна у сфері надання транспортних послуг має значний потенціал, зумовлений розгалуженою системою автомобільних шляхів, великою територією і вигідним географічним розташуванням на перетині багатьох торговельних потоків. Саме тому автомобільний транспорт України здійснює значну частину перевезень на внутрішньому ринку та у міжнародному сполученні.

Значення міжнародних автомобільних перевезень вантажів на сучасному етапі очевидне. Якщо розглядати перевезення, здійснювані автомобільним транспортом, то в першу чергу варто відзначити суттєву перевагу перед іншими видами транспорту — можливість адаптувати рейс під конкретні потреби замовника, що робить послугу зручною і доступною. Міжнародне транспортування є важливим для міжнародної торгівлі, тому що визначає, коли і в якому стані товар надійде до споживача.

Міжнародні автомобільні перевезення вантажів і пасажирів мають цілий ряд переваг (маневреність, швидкість доставки, менш жорсткі вимоги до упаковки), завдяки чому спостерігається стійка тенденція їх зростання. Вони здійснюються автотранспортними засобами на основі міжнародного договору. Це особливий вид договору, при якому автоперевезення здійснюються автотранспортними підприємствами, які вибирають і визначають сторони. Важливою особливістю автоперевезень в міжнародному сполученні є те, що на них поширюється міжнародно-правове регулювання в частині організації дорожнього руху [2-3].

Однак, організація міжнародних автомобільних транспортних перевезень - одне з найскладніших питань як для окремого підприємства, так і для України в цілому. Перевізники завжди прагнуть максимально обмежити свою відповідальність, а вантажовідправники мають договірні зобов'язання перед своїми покупцями і теж прагнуть зменшити ризик втрати та псування перевезених товарів. Крім того, організація автомобільних перевезень міжнародного значення вимагає більш серйозної та відповідальної підготовки, ніж організація внутрішніх перевезень [4].

Основними причинами, що стримують розвиток міжнародних автомобільних перевезень у сфері зовнішньоекономічної діяльності України, є:

невпорядкованість системи державного регулювання, особливо правового, щодо контролю на кордоні та справляння зборів;

висока вартість послуг, що надаються митними брокерами, контрольними службами й

транспортними терміналами;

численні бюрократичні перепони при оформленні міжнародних перевезень;

низька швидкість доставки пасажирів і вантажів;

несприятлива криміногенна обстановка;

брак комплексного, зокрема інформаційного обслуговування на шляху здійснення міжнародних перевезень;

недостатність, а на окремих напрямках і відсутність комплексу нормативно-правових актів, що регулюють міжнародні перевезення та їх обслуговування [5].

Також існує гостра необхідність у розробленні нормативних документів, що дозволили би спростити процедури планування та організації автомобільних перевезень на території України.

До головних проблем організації міжнародних автомобільних перевезень можна віднести [6]:

недосконале митне законодавство України;

аварійність;

високі витрати;

незадовільний стан дорожнього комплексу;

технічний стан автомобілів;

низька кваліфікація та відповідальність водіїв;

некомпетентність експедиторських груп;

несвоєчасні розрахунки з перевізниками;

не пунктуальність працівників при завантаженні продукції;

надання повного пакету документів згідно стандартів;

великі черги на кордоні.

Окремо слід виділити вплив на перевезення вантажів автотранспортом значне подорожчання паливно-мастильних матеріалів, значне зростання вартості інших матеріальних ресурсів, які впливають на формування собівартості перевезень.

Проблеми міжнародного транспорту вирішуються в різних міжнародних транспортних організаціях. Найбільше значення для розвитку міжнародних автоперевезень має робота Комітету з внутрішнього транспорту Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй, Європейської Конференції міністрів транспорту, Міжнародного Союзу автомобільного транспорту, Міжнародної Федерації експедиторських асоціацій, Координаційної транспортної Наради Міністрів транспорту країн-учасниць СНД.

Існує також і низка технічних бар'єрів на шляху реалізації транспортних послуг українськими підприємствами на європейських ринках.

Найвагомішим бар'єром на сьогодні є дефіцит дозвільних документів (універсальних та транзитних), що найбільш актуальним є у взаємовідносинах з Польщею, Австрією, Румунією, Угорщиною. Зважаючи на ситуацію гострої нестачі дозвільних документів, перевізники визначають шляхи мінімізації збитків, пов'язаних з простим транспортних засобів та неможливістю доставки товарів та сировини.

На шляху до євроінтеграції галузі вантажоперевезень України також стоїть недостатній рівень її інноваційності та цифровізації. Суттєвою проблемою для вітчизняних автоперевізників є вимога з боку країн ЄС до обов'язкового встановлення на вперше зареєстровані транспортні засоби цифрових тахографів покоління Smart, що мають перелік нових функцій, таких як визначення місцезнаходження водія, передача даних дистанційно тощо. В умовах українських реалій, тахографи нового покоління є додатковими фінансовими витратами для підприємців, а також при купівлі нової техніки перевізникам необхідно потурбуватися про збереження на ній тахографів старіших моделей.

Шляхами вирішення проблем та покращення системи організації міжнародних автомобільних перевезень є [7]:

- 1) вдосконалення системи управління та контролю міжнародними перевезеннями;
- 2) застосування жорсткої системи ліцензування;

- 3) забезпечення якісних умов виходу на ринок;
- 4) створення єдиної комплексної системи управління дорожньо-транспортною безпекою;
- 5) державне фінансування;
- 6) залучення коштів страхових організацій;
- 7) наявність кваліфікованих кадрів;
- 8) застосування раціональних методів перевезення.

Міжурядові організації, а також окремі держави спільно повинні уніфікувати норми, що регулюють відносини в сфері міжнародних перевезень автомобільним транспортом. І тому для більш глибокої концентрації міжнародних норм, що регулюють відносини в сфері міжнародних перевезень автомобільним транспортом, необхідно прискорювати процес створення універсальних міжнародних норм.

Україна, плануючи увійти в загальноєвропейську транспортну мережу, повинна прийняти принципи Європейської загальної транспортної політики, адаптувавши їх до українських умов. Головна мета цієї політики - утворення єдиного ринку транспортних послуг, підвищення ефективності функціонування транспортних підприємств і об'єктів транспортної інфраструктури, збільшення безпеки перевезень, надійності і комфортності подорожей пасажирів і перевезень вантажів.

### Список літератури

1. Арсенов В.И. Транспорт в международных экономических отношениях / В.И. Арсенов. – К., 2009. – 312 с.
2. Карабанович И.И. Международные автомобильные перевозки / И.И. Карабанович. – Минск: Амалфея, 2011. – 369 с.
3. Діковська І. Види міжнародних перевезень: нормативний і доктринальний підходи / І. Діковська // Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Сер. Юридичні науки. – 2011. – Вип. 88. – С. 54-57.
4. Ильченко С.В. Украина в мировой транспортной системе: перспективы функционирования и развития: монография / С.В. Ильченко; Нац. акад. наук Украины, Ин-т проблем рынка и экон.-экол. исслед. – К.: ИПРЭИ НАН Украины, 2012. – 455 с.
5. Сніжко Л.Л. Визначення та оцінка чинників, що впливають на рівень конкурентоспроможності українських підприємств в сфері міжнародних автомобільних перевезень [Текст] / Л.Л. Сніжко, П.В. Главацький // Управління проектами, системний аналіз і логістика: наук. журн. НТУ. – 2011. – № 8. – С.354–359.
6. Ткаченко А.М. Міжнародні автоперевезення: економічні та управлінські аспекти. – Л.: Львівський банківський коледж НБУ., 2015. – 203 с.
7. Мельник О.Г. Перспективи покращення логістичного обслуговування у міжнародних пунктах пропуску для автомобільного сполучення [Текст] / О.Г. Мельник, А.В. Тодошук, О.В. Муқан // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія "Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку". – 2012. – № 748. – С. 182–189.

## **ФОРМУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ТА ПАСАЖИРСЬКИХ ПОТОКІВ ЗОВНІШНЬОГО ТРАНСПОРТУ У МІСТАХ**

**С.М. Пашкевич**, асп.,

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

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

**А.А. Левкович**, бакалавр,

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

*Україна*

**Piotr Róžański**, керівник Відділу Співпраці з промисловістю

*Вища державна професійна школа в Хелмі, Польща*

У цілому транспорт – це специфічна комунікаційна інфраструктурна галузь матеріального виробництва й сфери обслуговування, яка забезпечує потреби населення й господарства з усіх видів перевезень. Це матеріальна основа розвитку зовнішніх і виробничо-технологічних внутрішніх зв'язків країни.

Транспортна система – мережа, що складається з рейкового, дорожнього, повітряного, водного та інших видів транспорту, та забезпечує перевезення пасажирів і вантажів.

Окрім поняття "транспортна система", існує поняття "транспортно-дорожній комплекс", "дорожньо-транспортна система", але по суті автори, які пропонують використовувати такі терміни, розуміють під ними ті самі складові транспортної системи [1]. Таким чином, проаналізувавши наявні підходи до визначення поняття "транспортна система", можна сформулювати трактування поняття "транспортна система регіону" в контексті його інфраструктурного забезпечення це сукупність транспортних засобів та відповідної інфраструктури, поєднаних системою управління, що функціонує на певній території на основі логістичного підходу, метою якої є задоволення потреб населення та суб'єктів економічної діяльності у перевезеннях пасажирів і вантажів.

Спираючись на запропоноване визначення транспортної інфраструктури, можна визначити її основні складові, представлені на рис. 1.1.

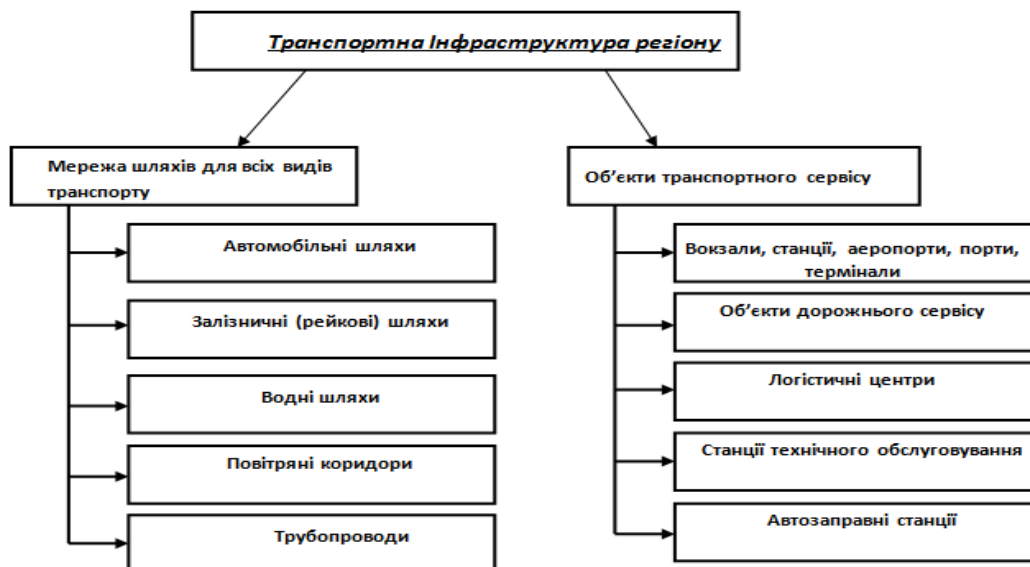


Рисунок 1.1 – Основні складові транспортної інфраструктури

У структурі транспортної системи міста важливою складовою є транспортно-пересадочні вузли (ТПВ) міського пасажирського транспорту (МПТ), що разом із

магістральними транспортними лініями виконують роль основоположних інфраструктурних елементів. Ефективна взаємодія у ТПВ позитивно впливає на якість транспортного обслуговування населення та поряд із завданням підвищення швидкісних режимів руху на маршрутах є дієвим методом скорочення часу переміщення.

Ефективна взаємодія у ТПВ позитивно впливає на якість транспортного обслуговування населення та поряд із завданням підвищення швидкісних режимів руху на маршрутах є дієвим методом скорочення часу переміщення. Аналіз роботи маршрутів МПТ показав, що час простою транспортних засобів (ТЗ) у зупинних пунктах (ЗП) ТПВ доходить до 30 % від загальної тривалості рейсу, а питома вага непродуктивного простою складає майже 60 %. Передусім, наявна ситуація значно погіршується конфліктністю взаємодії суб'єктів МПТ, що є наслідком відсутності її чіткої організації. Результатом цього є виникнення тривалих непродуктивних простоїв ТЗ, необхідність компенсації провізних можливостей маршрутів випуском додаткових одиниць рухомого складу, збільшення часу переміщення пасажирів, зниження якості транспортного обслуговування населення, погіршення безпеки дорожнього руху та зростання екологічного забруднення довкілля.

Також слід відмітити, що стратегія впровадження екстенсивних методів протидії заторам за допомогою розбудови ВДМ не дозволяє забезпечити вирішення всіх проблемних аспектів, а навпаки дуже часто призводить до їх погіршення. Таке планування стало каталізатором зростання кількості автомобілів, утворюючи "порочне коло": підвищення пропускної спроможності ВДМ провокує ще більшу залежність населення від використання автомобілів та збільшує їх негативні наслідки.

Основна концепція такого уявлення про МПТС полягає у формуванні її структури спрямованої на якісне задоволення потреб у переміщенні населення, а не їх автомобілів. Складовою ефективного функціонування МПТС є забезпечення необхідних ресурсних умов реалізації технологічних процесів та їх організованості. Важливим джерелом організованості транспорту є його інтерактивний моніторинг, який може бути забезпечений використанням засобів телематики та спрямований на підвищення інформаційного розвитку транспортної інфраструктури міст[2,3].

Створення ефективних МПТС потребує будівництва та розширення відповідної інфраструктури: шляхів сполучення, зупинних пунктів, транспортно-пересадочних комплексів, споруд для технічного обслуговування транспорту, об'єктів енергетичного забезпечення транспорту та ін. Всі види наземного МПТ поряд з індивідуальними автомобілями в процесі реалізації своїх функцій використовують єдиний територіальний простір, що обумовлює їх взаємний вплив та надає можливість згрупувати їх проблеми у єдину систематизовану структуру, яка за своїми концептуальними видами може бути розподілена на інституціональні, соціальні, екологічні, технічні, технологічні та економічні напрями (рис.1.2).

Аналіз робіт різних вчених присвячених формуванню загальної методології удосконалення міських пасажирських потоків [3], дозволив виділити наступні види системного представлення МПТ внутрішній (окрема технічна система); системний (соціально-економічна система); метасистемний (складова частина міського середовища).

Розгляд МПТ, як соціально-економічної системи, дозволяє формалізувати поняття "пасажирська послуга". Пасажирська послуга – це надана громадянину для забезпечення його соціальних потреб у територіальному переміщенні транспортної пропозиції, що спрямована на поліпшення умов його життєдіяльності та (або) розширення можливостей забезпечення своїх основних життєвих потреб. Базою для встановлення такого поняття є об'єктивні чинники представлення МПТ, як суб'єкту системи соціальних послуг, а саме: – потреба населення у захисті від нестабільного соціально-економічного становища; – зростання потреб населення у соціальних послугах; – необхідність забезпечення всіх видів безпеки шляхом контролю за девіантною поведінкою окремих суб'єктів транспортного процесу; – потреба у формуванні та реалізації моделі соціального партнерства державних

організацій та транспортних підприємств; – розвиток соціальної згуртованості суспільства та зміцнення його соціальної стабільності.

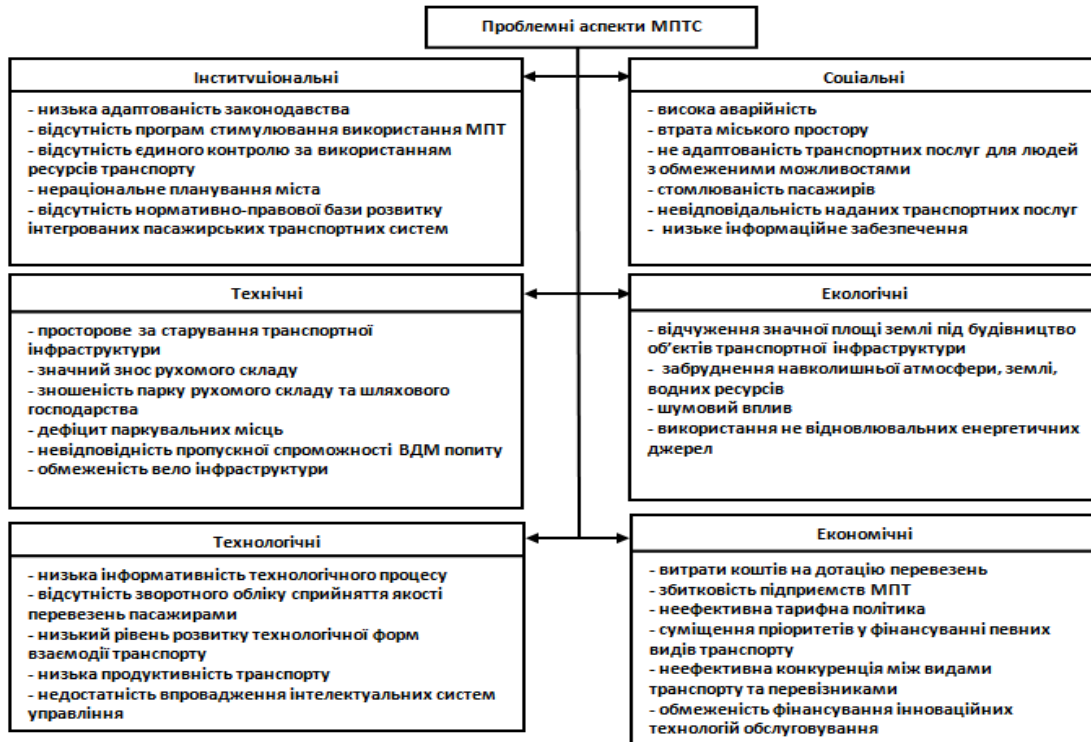
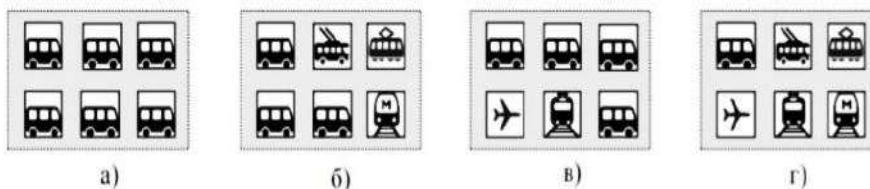


Рисунок 1.2 – Проблемні аспекти МПТС

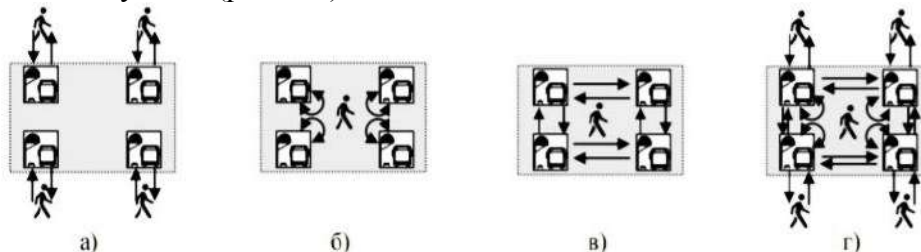
ТПВ МПТ розрізняються за складністю, розмірністю та типом компоновки. У залежності від кількості видів транспорту та форми їх взаємодії, ТПВ можуть бути розподілені за відповідними типами організаційно-структурної компоновки (рис. 1.3.).



а – монотранспортні міського сполучення; б – інтермодальні міського сполучення; в – міські монотранспортні з зовнішнім сполученням; г – міські інтермодальні з зовнішнім сполученням

Рисунок 1.3 – Типи організаційно-структурної компоновки ТПВ

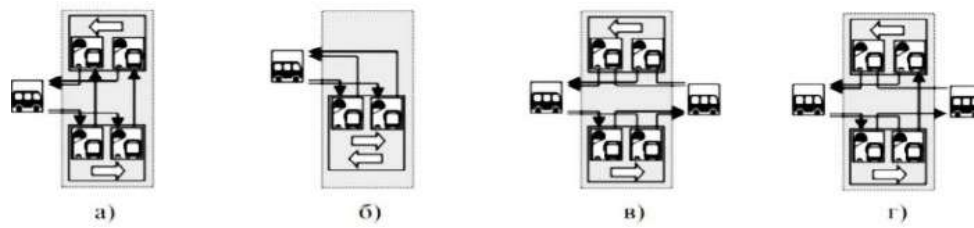
Кількість однотипних ліній обслуговування пасажиропотоків визначає споживчо-технологічну компоновку ТПВ (рис. 1.4).



а – початково-кінцеві поїздки; б – транзитні поїздки в межах окремих ЗП; в – транзитні поїздки між ЗП; г – комбіновані поїздки

Рисунок 1.4 – Типи споживчо-технологічної компоновки ТПВ

Кількість однотипних технологічних процесів з обслуговування маршрутів визначає техніко-технологічну компоновку ТПВ (рис. 1.5).



а – початково-кінцеві розподілені; б – початково-кінцеві об'єднані; в – транзитні; г – комбіновані

Рисунок 1.5 – Типи техніко-технологічної компоновки ТПВ

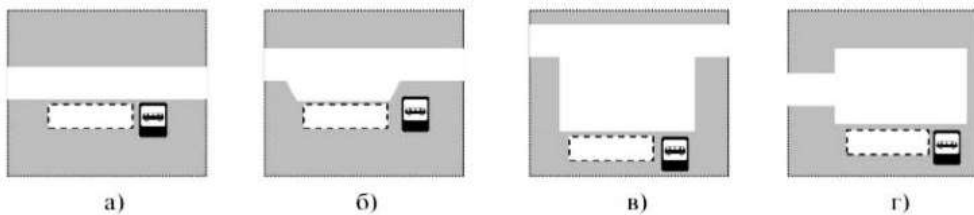
Розміщення ЗП в ТПВ оказує вплив на параметри взаємодії суб'єктів та визначає тип планувальної конфігурації (рис. 1.6).



а – сконцентровані; б – сконцентровані з відокремленими ЗП; в – розподілені на частини; г – рівномірно розосередженні

Рисунок 1.6 – Типи планувальної компоновки ТПВ

Розташування ЗП у плані ТПВ визначає передумови виникнення конфліктних ситуацій при прибутті ТЗ. Основні типові структури розташування ЗП відносно проїжджої частини ВДМ наведені на рис. 1.7.



а – неізовані; б – кишенькового типу; в – відокремлені поточні; г – відокремлені тупикові

Рисунок 1.7 – Типи розташування ЗП

Ефективна взаємодія у ТПВ оказує позитивний вплив на якість транспортного обслуговування населення та відіграє важливу роль у формуванні сталості МПТ.

### Список літератури:

1. Нечаев Г.И., Никишкин Ю.А., Смирный М.Ф., Гуцало Б.П., Кислицын А.Г., Савельева М.А. Региональная логистика: методологические основы формирования Еврорегиона (на приме-ре Луганской области) / Монография / Луганское изд. ВНУ им. В. Даля. – 2010. – 200 с.
2. Алексієв В. О., Алексієв О. П., Видмиш А. А., Хабаров В. О. Інтерактивний моніторинг автомобільних доріг: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2012. 144 с.
4. Львова, А. Б., Польгун, М. Б., Ефименко, Д. Б., Жанказиев, С. В., Ожерельев, М. Ю. Особенности мониторинга интервалов движения пассажирского транспорта. В мире научных открытий. 2012. №2. С. 115-123.

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РАЦІОНАЛЬНОЇ РОБОТИ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ**

**Д.О. Великодний**, канд.техн.наук, доц.,

**С.В.Філатов**, канд.техн.наук, доц.,

**І.О.Архипов**, асист,

**В.М.Дудко**, студ.,

**Д.Ю.Бровір**, студ.,

*Криворізький державний педагогічний університет, м. Кривий Ріг, Україна*

Сучасна ситуація, що виникла в галузі міських пасажирських перевезень характеризується наявністю великого ряду проблемних питань. Організація перевезень пасажирів міським пасажирським транспортом (МПТ) має велике значення в розвитку та функціонуванні будь-якого міста [1]. Проблемою МПТ є підвищення праці автомобільного транспорту загального користування. Міські пасажирські перевезення (МПП) становлять складну соціально-технічну систему, що має значний соціально-економічний ефект на населення міста та для підприємства, які надають послуги у сфері МПП [2]. Ефективна організація роботи МПТ вимагає комплексного підходу до вирішення питань транспортного обслуговування населення, що включає питання взаємовідносин суб'єктів ринку МПП, їх управління та координацію.

Для введення узгоджених перевезень на всіх видах МПТ потрібно регулярне вивчення розподілення пасажиропотоків [3,4], науково обґрунтоване планування транспортної мережі та маршрутної системи, введення єдиної системи централізованого та автоматизованого управління рухом, введення єдиної тарифної системи та розробка методичних основ узгодження розкладів руху. Однак, сьогодні практично немає чіткого погодження графіків руху всіх видів МПТ, включаючи графіки руху маршрутних транспортних засобів (ТЗ) приватних перевізників [5,6]. Все це не дозволяє повною мірою задовольняти транспортні потреби населення міста щодо якості обслуговування. Тому, з метою поліпшення транспортного обслуговування населення потрібно звернути особливу увагу на підвищення ефективності раціональної роботи різних видів МПТ на прикладі міста Кривого Рогу.

На теперішній час у місті Кривому Розі існує неефективна організація роботи швидкісного трамваю (ШТ) з МПТ. Це сприяє великій концентрації пасажирів на зупинках громадського транспорту та викликано тим, що інтервали руху ТЗ МПТ значно більші ніж інтервали руху ШТ. Також, ще одною складовою цієї проблеми є те, що на зупиночні пункти прибувають ТЗ, які не відповідають попиту населення на перевезення. Тому, підвищення ефективності роботи МПТ та ШТ можливо досягнути шляхом корегування розкладів руху наземного МПТ на підставі існуючого розкладу руху ШТ та раціонального вибору ТЗ для роботи на маршруті.

Оцінка ефективності роботи системи МПТ визначається за допомогою технічних та соціально-економічних показників. До числа соціальних результатів, які досягаються за рахунок розширення та вдосконалення матеріальної бази транспортного комплексу, а також на підставі заходів, які не потребують капітальних вкладень, відносяться: підвищення транспортної мобільності та безпеки руху, покращення фізичного розвитку населення, покращення діяльності людини, збільшення вільного часу та підвищення якості його використання. Тому, щоб покращити якість обслуговування пасажирів потрібно зменшити час пересадки, інтервал руху на маршрутах та скорегувати їх розклад руху. Але, щоб дослідити, як зміна інтервалу буде впливати на зменшення часу пересадки та яким саме



повинен бути оптимальний інтервал руху ТЗ, потрібно побудувати модель об'єкту дослідження, оскільки безпосереднє оперування з об'єктом є важким або навіть неможливим. Процес моделювання включає наступні етапи: створення моделі; програмування; проведення імітаційних експериментів; обробка результатів моделювання; інтерпретація результатів моделювання.

Під час дослідження процесу пересадки пасажирів з ШТ на маршрут наземного МПТ на ст. Бульвар Вечірній на зупинці було виявлено, що такі вхідні параметри об'єкту, як номінальна пасажиромісткість автобусу та інтервали руху ШТ є постійними величинами, тобто вони не носять випадковий характер. Отже, пасажиропотоки на маршруті наземного МПТ змінюється протягом часу нерівномірно та інтервали руху ТЗ не завжди однакові протягом години, значить найбільш придатною для прогнозування є імітаційна модель об'єкту. Тому, потрібно визначити поведінку об'єкту при різних значеннях вхідних параметрів, а саме пасажиропотоку на маршруті та інтервалах руху ТЗ.

Для порівняння результатів було запропоновано обрати для роботи на маршруті рухомий склад марки БАЗ Еталон А081.11. За допомогою імітаційної моделі було визначено, що зі зменшенням інтервалу руху витрати часу пасажирів на пересадку зменшуються, а годинні експлуатаційні витрати збільшуються. Встановлено оптимальний інтервал руху транспортних засобів на маршруті, який буде забезпечувати мінімальні витрати часу на пересадку, а також мінімальні експлуатаційні витрати.

Таким чином, раціонально використовувати для роботи на маршруті МПТ автобуси марки БАЗ Еталон А081.11 класу А. Для підвищення ефективності взаємодії швидкісного трамваю та наземного автобусного маршруту №217 потрібно скорегувати розклад руху на маршруті, тобто зменшити інтервали руху з корегуванням графіків руху. Це призведе до зменшення часу очікування пасажирами автобусів на зупиночному пункті, що позитивно відобразиться на якості обслуговування пасажирів, які пересаджуються з швидкісного трамваю на маршрут.

### Список літератури

1. Аулін В.В., Голуб Д.В. Аналіз системи перевезення пасажирів у містах, основні тенденції її розвитку і шляхи удосконалення / В.В. Аулін, Д.В. Голуб // Вісник національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч. 2.- К.: НТУ, 2007.- Випуск 15. – С. 279-284.
2. Vdovychenko V., Samchuk G., Velikodnyi D. Formation of system efficiency of urban public passenger transport under conditions of open competition. Innovative Economy: Processes, Strategies, Technologies: International scientific conference, Part I. Kielce, Poland: Baltija Publishing, 27 January 2017. P. 150-152.
3. Вдовиченко В.О., Великодний Д.О. Дослідження перерозподілу пасажиропотоків на міських маршрутах пасажирського транспорту міста Кривого Рогу. Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали III міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, Вінниця: ВНТУ, 14-16 квітня 2015. С. 50-53.
4. Аулін В.В. Оцінка ефективності функціонування міського пасажирського транспорту з урахуванням вибору маршруту пасажиром / В. В. Аулін, Д. О. Великодний, Я. В. Тирса [та ін.] // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту : матеріали VIII-ої міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 14-15 кв. 2020 р. / Вінниця : ВНТУ, 2020. - С. 15-16.
5. Великодний Д.О., Вдовиченко В.О. Підвищення ефективності взаємодії міського пасажирського транспорту в пересадочному транспортному вузлі. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали IV міжнародної науково-практичної інтернетконференції, Вінниця: ВНТУ. 15-16 квітня 2016. С. 25-27.
6. Вдовиченко В.О. Ефективність функціонування міської пасажирської транспортної системи: Автореф. Дис... канд.техн.наук: 05.22.01 / В.О. Вдовиченко; Нац. трансп. ун-т. – К., 2004. – 20 с.

## **ПАРАМЕТРИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ**

**І.О. Хітров**, канд. техн. наук, доц.,  
**М.Є. Кристопчук**, канд. техн. наук, доц.,  
**С.С. Чехович**, студ.,  
*Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне,  
Україна*

В сучасних умовах "транспортна система" визначається як комплекс усіх засобів транспорту, що організовані для виконання перевезень. Тому залежно від масштабу виконуваних завдань можна розрізняють наступні види транспортної системи [с. 122, 1]:

- єдина транспортна система країни;
- транспортна система регіону, міста;
- транспортна система галузі господарства або промислового підприємства.

Для транспортної системи регіону чи міста характерна сильна територіальна специфіка (через особливості просторового характеру розташування його об'єктів, тісного взаємозв'язку з територією, розміщенням виробництва і системою розселення регіону). Також, щільність мережі і потужність транспортних потоків характеризує рівень концентрації виробництва, ступінь освоєння регіону, а також його рівень економічного і соціального розвитку.

Обов'язковим елементом транспортної мережі є початкові, кінцеві та проміжні пункти, де формуються, розформовується і переформує вантажні і пасажирські потоки, їх називають транспортні вузли.

Наступний важливий для транспортної системи елемент - транспортна мережа - сукупність шляхів сполучення, що зв'язують населені пункти регіону. Даний елемент характеризує рівень потенційного транспортного обслуговування певної території і потужність транспорту.

Структура транспортної системи будь-якого міста визначається видами транспорту, що використовуються та можуть бути охарактеризовані транспортними мережами, що її складають. Розрізняють в основному три види міського транспорту: пасажирський, вантажний та спеціальний (санітарні та пожежні машини, транспорт для прибирання вулиць тощо).

Аналізуючи сучасні підходи оцінки впливу параметрів маршрутної пасажирської системи на показники функціонування міських пасажирських транспортних систем, було визначено структуру цих показників.

Характеризуючи загальну кількість маршрутів у мережі, доцільно користуватися такими показниками, як щільність маршрутної мережі та маршрутний коефіцієнт  $k_M$  (формули 1, 2).

Що стосується щільності маршрутної мережі, то вона визначається відношенням загальної довжини маршрутів до сельбищної площі міста: [с. 99, 2; с. 54, 3]:

$$\delta_{MM} = \frac{L_{MM}}{F_c}, \quad (1)$$

де  $L_{MM}$  – довжина маршрутної мережі, км;

$F_c$  – сельбищна площа міста, км<sup>2</sup>.

Для оцінки насиченості міста маршрутами пасажирського транспорту використовують маршрутний коефіцієнт [с. 103, 2; с. 55, 3]:

$$k_m = \frac{L_{MM}}{L_{BMD}}, \quad (2)$$

де  $L_{BMD}$  – довжина вулично-дорожньої мережі, якою здійснюються перевезення, км.

Кількість переміщень є сумарним вираженням обсягів по відправленню та прибуттю:

$$N_{nep} = \sum_{i=1}^n H_{Bi} = \sum_{i=1}^n H_{Pi}, \quad (3)$$

Для визначення обсягу перевезень існує аналітична залежність наступного вигляду:

$$Q = \sum_{i=1}^n H_{ij} \cdot l_{ij}, \quad (4)$$

Наступним параметром, що визначає ефективність побудови маршрутної мережі, є коефіцієнт пересадності, який визначається за залежністю [с. 42, 3]:

$$k_{nep} = \frac{N_{Пмарш}}{N_{Пм}}, \quad (5)$$

де  $N_{Пмарш}$  – кількість маршрутних поїздок, од.;

$N_{Пм}$  – кількість поїздок у місті за визначений період часу, од.

Для визначення транспортної роботи використовують залежності [с. 27, 3]:

$$W = Q \cdot l_{сер}, \quad (6)$$

$$W = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot l_i, \quad (7)$$

де  $l_{сер}$  – середня відстань перевезення пасажирів, км;

Розрахувавши обсяг перевезень та транспортну роботу, можливо визначити середню дальність маршрутної поїздки:

$$l_{сер}^{марш} = \frac{W}{\sum_{i=1}^n Q_{z(\epsilon)i}}, \quad (8)$$

де  $\sum_{i=1}^n Q_{z(\epsilon)i}$  – кількість перевезених на маршруті пасажирів, пас.

Останньою характеристикою ефективної побудови міської пасажирської транспортної системи є необхідна кількість транспортних засобів (залежно від місткості), що працюватиме у місті.

Наступним етапом є розрахунок необхідної кількості транспортних засобів на маршрутах [с. 113, 3]:

$$A = \frac{F_{max} \cdot t_{об}}{q_a \cdot \gamma_c}, \quad (9)$$

де  $F_{max}$  – максимальний пасажиропотік, пас.;  $t_{об}$  – час обороту на маршруті, год.

Однією з основних систем забезпечення життєдіяльності міст є транспортна система. У свою чергу важливою складовою останньої є система міського пасажирського транспорту, яка забезпечує доставку людей до місць їх праці і задоволення культурно-побутових потреб.

### Список літератури

1. Рогозян Ю. С. Структурні та елементи транспортної системи регіону/Ю.С. Рогозян // Електронне наукове фахове видання "Ефективна економіка". – Київ: ДДАЕУ. – 2015. – Вип. №2. – С. 122-126. Режим доступу до ресурсу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5744>.
2. Ефремов И. С. Теория городских пассажирских перевозок / Ефремов И. С., Кобозев В. М., Юдин В. А. – М. : Высш. школа, 1980. – 535 с.
3. Доля В. К. Пасажирські перевезення : підручник / В.К. Доля. – Харків: Видавництво "Форт", 2011. – 504 с.

## **ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ЯК ОСНОВА ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ**

**О.О. Кривущенко, студ.,**

**Н.Ю. Шраменко, д-р. техн. наук, проф.,**

*Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка,  
м. Харків, Україна*

Інтелектуалізація підприємства - це процес зростаючої ролі в роботі підприємства, застосуванні знань, інноваційної інформації. Як результат, вона має та використовує у своїй діяльності провідні технології, високоякісні, автоматизовані та виробничі ресурси. Інтелектуалізація дозволяє аналізувати процес створення, передачі та використання знань, збільшення інтелектуального капіталу, застосування нових технологій та фірмових технологій у виробництві. На сучасному рівні розвитку перевезень застосовуються новітні технології в поєднанні з інтелектуалізацією управління дорожнім рухом та автоматизацією всіх деталей, компонентів і вузлів транспортних засобів та систем. Інтелектуалізація супроводжується накопиченням різної інформації, яку необхідно додатково обробити. Ця обробка повинна виконуватися в режимі реального часу. Мехатроніка, телематична технологія, заснована на основі синергетики, є унікальною у використанні. Забезпечуючи розуміння транспортних засобів та доріг як проблеми в розробці інформації про транспортну інфраструктуру в містах та регіонах, розглянути можливість вдосконалення теоретичної основи та практики транспортних машин та систем. Завдяки безперервному інформаційному розвитку суспільства та його виробничих компонентів нові транспортні системи та машини досягли дуже високого рівня інформаційної досконалості [1, 2].

Науковці зображують сучасну транспортну інфраструктуру міст та регіонів як сукупність інтелектуальних систем для планування та моделювання транспортних мереж, систем управління дорожнім рухом, які можуть надавати актуальну інформацію про стан дорожнього середовища та дозволяти використовувати її усіма учасниками дороги [3]. Дослідники виділяють чотири об'єднання транспортних машин, систем та їх програмно-апаратних засобів керування транспортним процесами [3]:

- 1) мехатронні - виконують контроль транспортних процесів або надають інформацію про автомобіль;
- 2) телематичні - можуть всебічно вирішувати проблеми орієнтації автомобілів в просторі та часі;
- 3) інтелектуальні транспортні технології - забезпечують управління трафіком та підтримують відповідні рівні сучасної транспортної інфраструктури міст чи регіонів;
- 4) логістичні транспортні комплекси, в яких керованими елементами є інтелектуальні транспортні засоби.

Тому виникає нове протиріччя між швидким розвитком інформаційних засобів та методів складних об'єктів і систем та неоднорідним характером існуючих підсистем і компонентів транспортної підсистеми. Вирішення цього протиріччя полягає у відображенні ресурсів транспортної організації в єдиному інформаційному просторі. Завдяки можливості використання існуючих комп'ютерних систем та інтернету для автоматизованого управління транспортуванням, обсягом інформації, технологічністю, скороченим терміном впровадження, зменшуються витрати на комп'ютеризацію підсистем та компонентів інтегрованої транспортної системи [1, 2, 4, 5].

Теоретичною основою інтелектуалізації будь-якої промислової системи (за аналогією з транспортним комплексом) є розуміння цього процесу подібно до створення цифрової

нервової системи відповідного об'єкта інтелектуалізації. Твердження було зроблено Б. Гейтсом для підприємств та організацій промислових технологій [6].

Розвиток та експлуатація транспортної інфраструктури вимагає потужних комп'ютерних ресурсів. Цю проблему можна вирішити за допомогою новітньої технології GRID та отримання додаткових комп'ютерних ресурсів на основі існуючих великих комп'ютерних систем та мереж компаній [7].

На транспорті існує протиріччя між стрімким розвитком засобів та методів інформатизації складних об'єктів і систем та гетерогенним характером існуючих підсистем та ланок транспортного комплексу [1, 8]. Отже, вирішення зазначеного протиріччя полягає у втіленні розрізаних комп'ютерних ресурсів транспортних організацій до єдиного інформаційного простору, тобто створення послідовності "інтелектуальний транспортний засіб → вузол комп'ютерної системи транспортних організацій → єдиний інформаційний простір". Завдяки можливості використання існуючих комп'ютерних систем та інтернет для автоматизації керування транспортом значно підвищується інформативність, технологічність, скорочується термін впровадження та, як наслідок, зменшуються витрати на комп'ютеризацію.

### Список літератури

1. <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualizatsiya-transportnyh-mashin-sistem-i-organizatsiy>
2. Власов В.М. Информационные технологии на автомобильном транспорте / В.М. Власов, В.Б. Николаев, А.В. Постолиг, В.М. Приходько. – М. : МАДИ (ГТУ), 2006. – 283 с
3. <http://dl.khadi.kharkov.ua/mod/resource/view.php?id=41229>
4. Соснин В.А. Новейшие автомобильные электронные системы / В.А. Соснин, В.Ф. Яковлев. – М. : САЛОН ПРЕСС, 2005. – 240 с.
5. Алексієв В.О. Управління розвитком транспортних систем : монографія / В.О. Алексієв. – Харків : ХНАДУ, 2008. – 268 с.
6. Гейтс Б. Бизнес со скоростью мысли. – 2-е изд., исправл. / Б. Гейтс. – М. : ЭКСМОПресс, 2001. – 480 с.
7. Алексієв В.О. Концепція застосування GRIDтехнологій на транспорті / В.О. Алексієв // Бионика интеллекта. – 2008 –№2(69). – С. 125–128.
8. [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/Vsntum\\_2013\\_142\\_19.pdf](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Vsntum_2013_142_19.pdf)

**ДО ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ РУХОМОГО СКЛАДУ В СИСТЕМІ BRT**

**В.П. Сахно**, *д-р. техн. наук, проф.*,  
**В.М. Поляков**, *канд. техн. наук, доц.*,  
**С.М. Шарай**, *канд. техн. наук, доц.*,

*Національний транспортний університет, м. Київ, Україна*

Сучасні системи громадського транспорту все більше розглядаються як важливий засіб безпечного підвищення мобільності населення, особливо в міських районах, які страждають від зростаючих транспортних заторів. Нова система автобусного руху "Швидкісний автобусний транспорт" (Bus Rapid Transport, BRT) або метробус є результатом розвитку мережі автобусного суспільного транспорту. В порівнянні з метро цей проект має суттєві переваги: менша вартість створення мережі, менша вартість рухомого складу, мобільність та ін. Ці переваги проявляються, перш за все, при максимальному використанні пасажиромісткості метробусів, тобто при застосуванні триланкових метробусів і при їх русі з максимально можливими швидкостями.

Триланкові метробуси можуть виконуватися за двома основними компоновальними схемами - напівпричіпною, за якою виконані майже всі метробуси, і причіпною, яка тільки починає впроваджуватися.

Система BRT передбачає рух автобусів по спеціально виділеним і часто обгородженим смугам, тобто його повна ізолюваність на дорозі від інших видів транспорту. У сучасній системі в якості рухомого складу вибираються зчленовані автобуси (тролейбуси) останнього покоління, оснащені двигунами до 250 кВт. При цьому, як в метро, в салонах метробуса віддається перевага місцям для стояння. Завдяки цьому, тільки один зчленований дволанковий автобус може перевозити до 150 пасажирів [1]. Для підвищення пасажиромісткості в системі BRT можуть використовуватися триланкові автобуси і троллейбуси. Так, на найбільшому міжнародному салоні автобусів і комплектуючих Busworld Europe-2019, який проходив у Брюсселі, дебютував незвичайний троллейбус – Trollino 24. Це трисекційна машина довжиною 24 м, що виготовлена польським виробником Solaris Bus & Coach. У рух машину приводять два тягових електродвигуна (на 2-й і 3-й осях) потужністю по 160 кВт кожний. Максимальна швидкість руху троллейбуса повною масою 38 т, пасажиромісткістю від 180 до 200 чоловік складає 70 км/год [1]. Трисекційні автобуси випускають ряд автомобілебудівних фірм тієї ж пасажиромісткості і з тяговим двигуном потужністю 300 кВт.

Поряд з незаперечними перевагами трисекційних зчленованих автобусів і троллейбусів їм притаманні і недоліки – гірші маневреність і стійкість руху у порівнянні з двосекційними. Крім того, ефективність експлуатації таких машин тісно пов'язана з пасажиропотоком, який протягом дня може змінюватися в рази. Тому перспективним може стати автопоїзд у складі двох (або трьох) автобусів або троллейбусів, що працюють у зчіпці, пасажиромісткість яких аналогічна зчленованим автобусам і троллейбусам. У години пік працює автобусний поїзд, а у міжпіковий період – кожний автобус окремо (можлива стоянка одного автобуса на виділеному майданчику).

Показово, що над ідеєю причіпного автопоїзда, який рухається по дорогам загального користування, працювали і в Києві. Відомий київський фахівець Володимир Пилипович Векліч – автор зчленованих троллейбусів, які вперше були застосовані у колишньому СРСР, а саме у Києві.

Поряд з троллейбусним автопоїздом інститутом "ДержавтотрансНДІпроект" разом з Київським автомобільно-дорожнім інститутом у 1973 р. була розроблена конструкція автопоїзда, що складався з двох автобусів ЛАЗ-695, які працювали в зчіпці (рис. 1). Дослідна

експлуатація такого автопоїзда на одному з маршрутів міста Києва показала його життєздатність. Проте, одночасна поява у Києві шарнірно-зчленованих автобусів Ikarus-180 зумовила припинення експлуатації зазначеного автопоїзда. Разом з тим, такі причіпні автопоїзди можуть знайти своє застосування в системі BRT [2].



Рисунок 1 – Автопоїзд у складі двох автобусів ЛАЗ-695 у зчіпці

Проведеними дослідженнями показано, що метробус (автобусний поїзд) може конкурувати з метро у випадку його пасажиромісткості 210...250 чоловік і інтервалу руху 45...60 с. Така пасажиромісткість може бути забезпечена тільки автобусним поїздом у трисекційному варіанті.

Зважаючи на обмеження максимальної довжини автобусного поїзда на рівні 24...25 м, у якості автобусів, як складових автопоїзда, приймемо восьмиметрові автобуси МАЗ-206. Пасажиромісткість такого автобуса складає 72 пасажирів, потужність тягового двигуна – 160 кВт.

Визначено необхідну потужність двигунів автобусів трисекційного автобусного поїзда. Розрахунок показав, що для руху автобусного поїзда зі швидкістю 25 м/с необхідна сумарна потужність двигунів повинна складати 300 кВт, у той час як для одного автобуса вона повинна бути на рівні 135 кВт. Це свідчить про економічну доцільність використання автобусного поїзда із трьох автобусів, що працюють в зчіпці. Для їх руху у всьому діапазоні швидкостей достатньо потужності двох двигунів, тобто один з автобусів може використовуватись як пасивний причіп, що призведе до поліпшення паливної економічності автобусного поїзда.

Для вирішення питання щодо доцільності використання такого автопоїзда необхідно перевірити його здатність рухатися в міських умовах, де існують обмеження щодо ширини проїздів і перехресть. Ці обмеження визначаються Правилами №36 ЄЕК ООН, які регламентують зовнішній і внутрішній габаритні радіуси на рівні 12,5 і 5,3 м, а також габаритну смугу руху (ГСР) на рівні 7.2 м.

Перші детальні дослідження експлуатаційних властивостей вантажних триланкових автопоїздів почалися у 80-х роках минулого століття. Найбільш відомі роботи у цьому напрямку Фаробіна Я.Є. [3], Висоцького М.С. [4], Горелова В.А. [5], Аюпова В.В. [6], Сахно В.П. і Полякова В.М. [7] та ін. Питання маневреності автопоїздів визначалися як на жорстких, так і еластичних у бічному напрямку колесах. Загальним у цих роботах можна вважати те, що в системі керування причіпними ланками у якості задаючого параметра використовувалися кути складання ланок автопоїзда. У автопоїзді, що розглядається, кожен автобус має свою індивідуальну систему управління, не пов'язану напряму з кутом складання, який тим не менше впливає на кінематику повороту автопоїзда.

Метою роботи є визначення показників маневреності автобусного поїзда у складі трьох автобусів МАЗ-206, що працюють в зчіпці.

Проведеними на-сьогодні дослідженнями встановлено, що на попередньому етапі габаритні радіуси повороту і габаритну смугу руху (ГСР) можна визначати на жорстких у бічному напрямку колесах.

Для визначення траєкторій руху точок триланковий поїзд розділено на дві пари кінематичних ланок – перший і другий автобуси та другий і третій автобуси.

Згідно теореми про складання обертання фігури навколо паралельних осей, складний криволінійний рух твердого тіла складається з абсолютного руху в нерухомій (абсолютній) системі координат, відносного руху по відношенню до спряженого з ним ведучого твердого тіла і переносного руху останнього.

Розглянуто закономірності криволінійного руху зазначених кінематичних ланок триланкового автобусного поїзда.

При аналізі маневрових властивостей автопоїзда практичне значення мають лише траєкторії його габаритних точок. Так для побудови габаритної смуги руху автопоїзда необхідно лише побудувати траєкторії руху таких двох точок, які рухаються по дугам кіл найбільшого і найменшого радіусів.

Із застосуванням розробленої методики з використанням програмного забезпечення були визначені кути складання та зміщення траєкторій головних точок другого і третього автобусів. За отриманими результатами були побудовані габаритні смуги руху триланкового автопоїзда, що складається з трьох однотипних автобусів МАЗ-206 при виконанні ним різних маневрів. Дослідженнями доведена доцільність використання триланкового причіпного автопоїзда, що складається з трьох однотипних автобусів загальною довжиною до 26 м і пасажиромісткістю до 220 пасажирів в системі BRT.

Висновок. Встановлено, що за показниками маневреності триланковий причіпний автопоїзд значно перевищує триланковий шарнірно-зчленований автобус. Так, габаритна смуга руху причіпного автобусного поїзда при виконанні ним найбільш типових маневрів при роботі на міському маршруті не перевищує 3,9 і 4,1 м при поворотах відповідно на 900 і 1800, що значно менше, чим для триланкового шарнірно-зчленованого автобуса довжиною 24 м (відповідно 6,8 і 8,2 м).

Подальша робота буде присвячена дослідженню стійкості руху триланкового причіпного автопоїзда, що складається з трьох однотипних автобусів.

### Список літератури

1. Метробус: скоростной автобус в Стамбуле. Сайт журналу "Октобус. Журнал" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://journal.octobus.io/istanbul\\_metrobus/](https://journal.octobus.io/istanbul_metrobus/).
2. Сахно В.П. До порівняльної оцінки транспортних засобів для міських перевезень пасажирів в системі BRT / В.П. Сахно, В.М. Поляков, Є.М. Місько, О.Є. Омельницький // Автошляховик України. – 2019, №6, С.7-11.
3. Фаробин Я.Е. Трехзвенные автопоезда / Я.Е. Фаробин, А.М. Якобашвили, А.М. Иванов и др. Под общ. ред. Я.Е. Фаробина. – М.: Машиностроение, 1993. – 224 с.
4. Высоцкий М.С. Основы проектирования модульных магистральных автопоездов / М.С. Высоцкий, С.И. Кочетков, С.В. Харитончик. – Минск: Беларус. Навука, 2011. – 392 с.
5. Горелов В.А. Математическое моделирование движения многозвенных колесных транспортных комплексов с учетом особенностей конструкции сцепных устройств / 77-30569/34394, No2, февраль 2012 г. – Режим доступа: <http://tecnomag.edu.ru>.
6. Исследование маневренных свойств автопоезда на основе системного подхода: монография. / В.В. Аюпов. – Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2012. – 96 с.
7. Поляков В.М. Триланкові автопоїзди. Маневреність / В.М. Поляков, В.П. Сахно. – Київ: Національний транспортний університет, 2013. – 200 с.



## **ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

**В.В. Аулін, д-р. техн. наук, проф.,**  
**Д.В. Голуб, канд. тех. наук, доц.,**  
**В.С. Дібрівний, студ.,**  
**О.М. Талалась, студ.,**  
**В.В. Шерстюков, студ.,**  
**Б.М. Ніколенко, студ.,**

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Для організації роботи автомобільного транспорту на рівні матеріальних потоків пасажирських перевезень найбільш важливими є інформаційні потоки, що виникають від подання заявки на перевезення до звіту по завершенню виконаного даного транспортного процесу. Дослідження пропонувані на ринку корпоративних інформаційних систем показує, що у більшості випадків їх окупність забезпечується при парку транспортних засобів 100 і більше одиниць [1]. Хоча на сьогоднішній день перевезення здійснюють багато різних дрібних фірм з парком автомобілів менше 10 одиниць [2]. Служби доставки підприємств, нерегулярні перевезення також мають в розпорядженні зазвичай невеликий парк власного транспорту і, окрім цього, залучають сторонніх перевізників, у тому числі і підприємців, що володіють всього одним автомобілем на праві особистої власності. У таких умовах корпоративні інформаційні системи не забезпечують контролю і аналізу пасажирські витрат на перевезення на усіх етапах транспортного процесу і зазвичай зводяться до різних варіантів систем його диспетчерського контролю.

Інформаційна технологія управління пасажирськими перевезеннями має на увазі наявність інформаційної моделі, що забезпечує отримання повних і достовірних відомостей про можливі результати функціонування транспортної системи [3]. Інформаційна технологія управління не може бути реалізована без комп'ютерної техніки, яка є основним елементом її матеріальної бази.

Інформаційна модель транспортних потреб жителів міста є основою для забезпечення надійності та ефективності роботи маршрутної мережі та визначення режимів роботи транспортних засобів. Вона має бути динамічною і достатньо гнучкою для налаштування до різноманітних конкретних завдань, а модуль управління - будуватися з використанням різних математичних моделей і пакетів програм. Звичайно, що реальні транспортні процеси схильні до випадкових коливань і їх слід передбачати в узагальненому виді інформаційною моделлю. В такому випадку система управління транспортними процесами пасажирських перевезень дійсно орієнтуватиметься на потреби пасажирів. Характеристики роботи транспорту на реально існуючій маршрутній мережі змінюються залежно від дії різних чинників. Інформаційна модель повинна містити можливість оцінювати надійність та ефективність транспортних процесів як в режимі реального часу, так і при прогнозуванні наслідків різних управлінських рішень, за допомогою вибраної системи показників використання транспорту.

Оцінити зміну пасажиропотоків і показників використання транспортних засобів можливо на основі схеми транспортної мережі міста [4]. Використання такої схеми може виявитися необхідним не лише для побудови елементів інформаційної моделі, але і для пошуку найкоротшого маршруту проїзду або визначення маршруту, найбільш прийняттого по співвідношенню часу та вартості проїзду. Диспетчерське регулювання базується на оперативній інформації про наповнення транспортних засобів, зосередження пасажирів в

основних пасажироутворюючих пунктах, інформації про роботу рухомого складу на лінії, а також результати обстеження пасажиропотоків. Для вирішення часткових завдань використовуються розрізнені потоки інформації організації пасажирських перевезень, які об'єднуються в цілісну інформаційну систему.

Інформаційна модель є необхідним атрибутом системи управління міськими пасажирськими перевезень, яка повинна включати наступні елементи: транспортні потреби жителів міста; характеристика перевезень пасажирів, показники роботи транспорту на діючій маршрутній мережі; математичну модель аналізу варіантів транспортного обслуговування жителів міста; результати прогнозування розвитку системи транспортного обслуговування жителів міста по різних варіантах та інші. Зменшення невизначеності в транспортних процесах пасажирських перевезень дає можливість приймати оптимальні рішення по кількості рухомого складу і його місткості, графіку руху, коригуванню маршрутної мережі і координації різних видів міського транспорту.

Поєднання функцій управління транспортними процесами міських пасажирських перевезень та відповідних інформаційних потоків дають можливість вирішити питання забезпечення їх надійності та ефективності (рис.1).

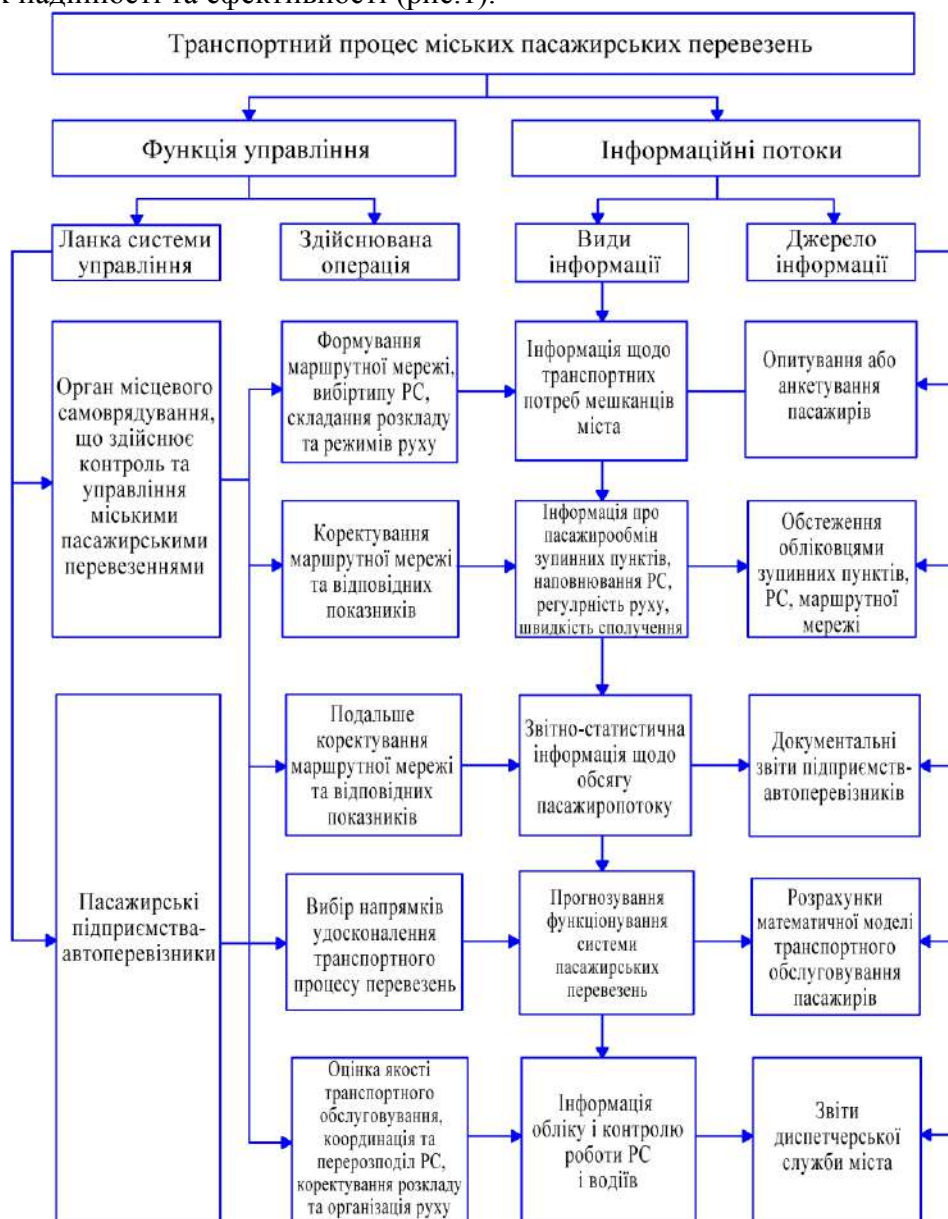


Рисунок 1 – Структурна схема інформаційної моделі забезпечення надійності та ефективності транспортних процесів пасажирських перевезень

Можна бачити, що інформаційна система управління пасажирськими перевезеннями є сукупністю постійно поповнюваних і оновлюваних баз даних з модулем управління. За рахунок цього формується єдиний інформаційний простір і стає можливим використання розвиненого апарату систем управління базами даних. Компонентами інформаційної бази даних є дані про транспортні потреби населення і дані про пасажиропотоки на діючій маршрутній мережі міста. Система управління базою даних передбачає два основні види розрахунку: оцінку транспортних потреб та розрахунок пасажиропотоків.

Комплекс програмних засобів, включає в себе, окрім розрахункових, також наступні блоки: нормативи - інформацію постійного характеру для розрахунків; базу даних - результати обстеження; засіб коригування інформації.

Блок управління інформаційною базою даних забезпечує вирішення наступних завдань: оцінку транспортних потреб жителів міста, існуючих незалежно від конфігурації маршрутної мережі і організації роботи пасажирського транспорту; оцінку пасажирообміну зупинок і пасажиропотоків на діючій маршрутній мережі.

Результат оцінки транспортних потреб подається у вигляді матриці, рядки якої є початковими пунктами кореспонденцій пасажирів, а стовпці - кінцевими пунктами.

Матриця розраховується з різною мірою деталізації: між вузлами - великими територіальними блоками; між лініями, що утворюють вузли; між зонами, що входять в лінії і площа яких не перевищує одного квадратного кілометра; між окремими зупинними пунктами. Найбільш прийнятними варіантами розрахунку є розрахунок матриці кореспонденцій між вузлами, що дозволяє наочно оцінити пересування пасажирів в цілому по території міста, і розрахунок пересувань між зонами, який забезпечує необхідну міру деталізації при збереженні можливості оцінити картину в цілому по місту. В окремих випадках може бути потрібний розрахунок кореспонденцій між окремими зупинними пунктами, але матриця є надмірно громіздкою і не зовсім зручною для аналізу.

Кореспонденції жителів міста визначається за будь-який інтервал часу, що дозволяє фіксувати нерівномірність пасажиропотоків не лише по годинам доби, але і всередині кожної години. Матриця пасажиропотоків розраховується як на момент відправлення пасажирів від початкового пункту своєї поїздки, так і на момент прибуття в місце призначення. Базу даних про транспортні потреби важко представити в режимі реального часу, а тому вона найчастіше має ретроспективний характер і зберігає свою адекватність до тих пір, поки не відбулися істотні зміни чинників, що впливають на рухомість населення.

## Список літератури

1. Перебийніс В.І. Транспортно-логістичні системи підприємств: формування та функціонування / В.І. Перебийніс, О.В. Перебийніс // Монографія. – Полтава: РВВ ПУСКУ. – 2005. – С. 207.
2. Рассоха В.И. Повышение эффективности эксплуатации автомобильного транспорта на основе разработанных научно-технических, технологических и управленческих решений: дисс. ... д-ра техн. наук – Оренбург, 2010. – 289 с.
3. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія. – Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. – 370 с.
4. Горбачов П. Ф. Сучасні наукові підходи до організації роботи маршрутного пасажирського транспорту в містах: монографія. - Х: ХНАДУ, 2009. - 196 с.
5. Аулін В.В., Голуб Д.В. Стан структури та основні напрямки розвитку пасажирського транспорту загального користування в м. Кіровограді // Зб. наук. праць КНТУ "Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація". Кіровоград: КНТУ.- 2007р. Вип. 18. С.288-291.
6. Аулін В.В., Голуб Д.В. Аналіз системи перевезення пасажирів у містах, основні тенденції її розвитку і шляхи удосконалення // Вісник НТУ.-В двох томах, частина 2.- Київ: НТУ, 2007. – С. 279-284.
7. Аулін В.В., Голуб Д.В. Типологічний підхід до раціонального розподілу рухомого складу на маршрутах міста в умовах переважання комерційного сектору пасажирських перевезень // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля.– Луганськ: СНУ, 2010. – №7(149) – С. 47-52.
8. Аулін В.В., Голуб Д.В. Визначення фактичної рухливості населення міста на основі соціологічно-маркетингового дослідження ринку транспортних послуг // Вісник КДУ ім. Михайло Остроградського., 2010. – Вип. №2 (61). Ч1. – 142-146.

## **8. ЛОГІСТИКА ПІДПРИЄМСТВ У СФЕРІ ВИРОБНИЦТВА ТА ОБІГУ**

УДК 656.07

### **СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ПО ФОРМУВАННЮ РАЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАМОВЛЕНЬ НА ДОСТАВКУ ВАНТАЖІВ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКИМ ПІДПРИЄМСТВОМ**

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

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

В умовах глобалізації сучасної економіки підвищення ефективності доставки вантажу входить до перспективних напрямків скорочення витрат промислових організацій, торгівлі та сфер послуг. У зв'язку з цим, в останній час з'явилася тенденція становлення транспортно-експедиторської діяльності (ТЕД) як самостійної галузі транспортного комплексу [1].

Розвиток ТЕД пов'язаний з розвитком транспорту. Згідно даним Державної служби статистики транспортні підприємства України, в 2019 році перевезли 674,5 млн. т вантажів, що становить 108 % від обсягів 2018 року [2]. При цьому автомобільний транспорт найбільше з усіх видів транспорту збільшив обсяги перевезеного вантажу на 129,7 % у порівнянні з відповідним періодом минулого року.

Процес транспортно-експедиторської обслуговування (ТЕО) є складним технологічним процесом, а керування ним характеризується наявністю великої кількості альтернатив на різних стадіях прийняття рішень. Ціна помилки при ухваленні рішення буває досить висока, що пояснюється досить високою вартістю простоїв транспортних засобів, можливістю псування вантажу і втратою додаткових доходів експедиторів. Проте сучасні підходи до обґрунтування прийняття рішень при управлінні ТЕО дозволяють вирішувати досить вузьке коло завдань. Тому потрібно вибрати методичний підхід щодо формування раціональної схеми обслуговування замовлень для подальшого зниження вартості доставки вантажів та відповідного збільшення прибутку транспортно-експедиторського підприємства (ТЕП). Сфера діяльності сучасних ТЕП – організація переважно міжнародних вантажних автоперевезень; фактично – експедиторські підприємства виконують функції організаційного модуля в системі міжнародних перевезень. Зосередження діяльності ТЕП лише на сегменті ринку міжнародних перевезень не може позитивно відбитись на стані внутрішнього ринку транспортного обслуговування населення та організацій. Сучасні автотранспортні організації не виконують в повній мірі функції з координації й керування транспортним обслуговуванням у відповідних регіонах. Перевезення здійснюються безліччю дрібних підприємств, і їх діяльність не координується з позицій мінімізації сумарних витрат на доставку й загального часу простоїв виробничих підприємств через збої в поставках (тобто не забезпечується виконання повною мірою основних принципів логістики) [1].

Практика транспортного експедирування при міжнародних вантажних перевезеннях, що склалася, має ряд недоліків. ТЕП, що здійснюють оформлення документації та розробку маршрутів руху транспортних засобів у міжнародному сполученні, працюють в умовах гострої конкуренції. Через відсутність науково обґрунтованих методик вибору оптимальних стратегій поведінки на ринку їх діяльність хаотична і недостатньо ефективна [3].

Авторами в [4] на підставі визначених переваг та недоліків існуючих варіантів інтермодальної доставки вантажів у контейнерах сформовано альтернативні варіанти транспортно-експедиторського обслуговування вантажовласників. Запропоновані принципові схеми процесу інтермодальної доставки вантажів у контейнерах враховують взаємодію всіх суб'єктів інтермодальної доставки та відображають можливість створення різних комбінацій видів транспорту. Перспективними напрямками наукових досліджень є: математична формалізація запропонованого критерію для сформованих принципових схем

альтернативних технологій транспортно-експедиторського обслуговування та розробка моделі вибору оптимального варіанта ТЕО при інтермодальній доставці вантажів у контейнерах.

Авторами в [5] запропоновано метод вивчення потоку запитів на транспортно-експедиторські послуги з використанням інструментів порталу інформаційної логістики. На підставі результатів експериментальних досліджень для ринку автомобільних перевезень України обґрунтовані розподілу параметрів потоку запитів і визначені кількісні показники попиту на послуги українських експедиторських компаній.

Аналіз публікацій вчених, які досліджували формування раціональної схеми обслуговування замовлень на доставку вантажів транспортно-експедиторським підприємством, дозволяє визначити основні результати та напрямки розвитку:

- формування стійких інтермодальних систем вантажних перевезень з урахуванням існуючих ресурсів: морський порт, водні шляхи, залізниця та дорожня інфраструктура на основі сучасних методів моделювання [6-8];
- розробка ефективних технологій доставки з урахуванням стохастичності попиту на логістичні та експедиторські послуги [9-12];
- впровадження термінальних систем та логістичних центрів при організації доставки та обслуговування замовлень [13-17];
- раціоналізація оперативного планування та консолідації різних видів вантажів в системі логістики постачань [18-22];
- розробка та удосконалення логістичних ланцюгів постачання товарів з урахуванням рівня замовлень та виду відправлень [23-27].

Таким чином, теоретичні розробки багатьох вчених показали, що поживлення товарного ринку спричиняє за собою збільшення та затребуваність в транспортно-експедиторському обслуговуванні. Цей процес є складним технологічним процесом, а керування ним характеризується наявністю великої кількості альтернатив на різних стадіях прийняття рішень. Сучасні підходи до обґрунтування прийняття рішень при управлінні ТЕО дозволяють вирішувати досить вузьке коло завдань. Тому потрібно вибрати методичний підхід щодо формування раціональної схеми обслуговування замовлень для подальшого зниження вартості доставки вантажів та відповідного збільшення прибутку ТЕП.

### Список літератури

1. Нагорний, Є.В. Транспортно-експедиторська діяльність [Текст] / Є.В. Нагорний, Д.В. Ломотько, Н.Ю. Шраменко, В.С. Наумов, О.В. Павленко.: підручник. - Х.: ХНАДУ. - 2013. – 352 с.
2. Вантажообіг підприємств транспорту. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
3. Velykodnyi, D., Pavlenko, O. (2017). The choice of rational technology of delivery of grain cargoes in the containers in the international traffic. *International journal for traffic and transport engineering*, 7(2), 164-175.
4. Шраменко, Н.Ю. Формування альтернативних варіантів транспортно-експедиторського обслуговування вантажовласників під час інтермодальних перевезень [Текст] / Н.Ю. Шраменко, О.О. Орда // *Автомобильный транспорт*. - 2015. - № 37, - С. 70–77.
5. Naumov, V., Kholeva, O. (2017). Studying Demand for Freight Forwarding Services in Ukraine on the Base of Logistics Portals. *Data Procedia Engineering*, 187, 317-323.
6. Okyere, S., Yang, J.Q., Aning, K.S., Zhan, B. (2019). Review of Sustainable Multimodal Freight Transportation System in African Developing Countries: Evidence from Ghana. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 41, 155-174.
7. Aulin, V., Lyashuk, O., Pavlenko, O., Velykodnyi, D., Hrynkiv, A., Lysenko, S., Holub, D., Vovk, Y., Dzyura, V., Sokol, M. (2019). Realization of the logistic approach in the international cargo delivery system. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 21(2), 3-12.
8. Rossolov, A., Kopytkov, D., Kush, Y., Zadorozhna V. (2017). Research of effectiveness of unimodal and multimodal transportation involving land modes of transport. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(89), 60-69.
9. Naumov, V. (2018). Modeling Demand for Freight Forwarding Services on the Grounds of Logistics Portals Data. *Transportation Research Procedia*, 30, 324-331.
10. Wang, X., Kopfer, H., Gendreau, M. (2014). Operational transportation planning of freight forwarding companies in horizontal coalitions. *European Journal of Operational Research*, 237(3), 1133-1141.

11. Krajewska, M.A., Kopfer, H. (2019). Transportation planning in freight forwarding companies: Tabu search algorithm for the integrated operational transportation planning problem. European Journal of Operational Research, 197 (2), 741-751.
12. Naumov, V., Omelchenko, T. (2017). Model of the Delivery Routes Forming Process as a Service Provided by Forwarding Companies. Procedia Engineering, 187, 167-172.
13. Rosanoa, M., Demartinia, C.G., Lambertia, F., Perboliab, G. (2018) A mobile platform for collaborative urban freight transportation. Transportation Research Procedia, 30, 14-22.
14. Нефьодов, В.М. Методика формування ресурсозберігаючої технології доставки вантажів транспортно-логістичним центром [Текст] / В.М. Нефьодов, О.В. Павленко, О.П. Калініченко // Комунальне господарство міст. - 2018. - 142. – С. 96-102.
15. Bian, G.R., Li, H.S., Dai, G.L. (2012). Research on the Optimization of Transportation Routing Problem of Warehouse Material Based on Self-Adaptive Ant Colony Algorithm. Applied Mechanics and Materials, 236-237, 1122-1127.
16. Kopytkov, D. An approach to determine the rational scheme of delivery for the international consolidated shipments. [Текст] / D. Kopytkov O. Pavlenko // Комунальне господарство міст. - 2019. - 147 (1). - 35-41.
17. Naumov, V., Shulika, O., Velikodnyi, D. (2015). Results of experimental studies on choice of automobile intercity transport delivery schemes for packaged cargo. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics, 17(7), 87-91.
18. Павленко О.В. Формування раціональної схеми обслуговування замовлень на доставку вантажів транспортно-експедиторським підприємством [Текст] / О.В. Павленко, Д.О. Великодний// Комунальне господарство міст. - 2020. – 154 (1). – С. 223-230.
19. Saeed, N. (2013). Cooperation among freight forwarders: Mode choice and intermodal freight transport. Research in Transportation Economics, 42(1), 77-86.
20. Chen, G., Cheung, W., Chu, S.C., Xu, L. (2017). Transshipment hub selection from a shipper's and freight forwarder's perspective. Expert Systems with Applications, 83, 396-404.
21. Sosik, K., Turzeniecka, M., Iwan, S. (2019). Difficulties affecting distribution process in a city - a forwarder perspective. Transportation Research Procedia, 39, 480-487.
22. Harry K. H., Chow K. L., Choy W. B. A strategic knowledge-based planning system for freight forwarding industry. Expert Systems with Applications. 2007. Vol. 33, Is. 4. P. 936-954.
23. Shramenko, N., Pavlenko, O., Muzylyov, D. (2019). Information and Communication Technology: Case of Using Petri Nets for Grain Delivery Simulation at Logistics System, CEUR Workshop Proceedings, 2353, 935-949.
24. Kopytkov, D., Pavlenko, O., Kalinichenko, O. (2018). A technique to determine the optimum package of logistic services provided by the transport and logistics centre. Modern Management: Logistics and Education. Monograph. 150-157.
25. Konovalenko, I., Ludwig, A. (2019). Event processing in supply chain management – The status quo and research outlook. Computers in Industry, 105, 229-249.
26. Shramenko N., Pavlenko O. & Muzylyov D. (2020) 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, 596-604.
27. Aulin, V., Pavlenko, O., Velikodnyy, D., Kalinichenko, O., Zielinska, A., Hrinkiv, A., Diychenko, V., Dzyura, V. (2019). 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), 120-132.

## **НЕОБХІДНІСТЬ РОЗРОБЛЕННЯ НОВОЇ СИСТЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ ПОТОКАМИ**

**В.В. Аулін**, *д-р. техн. наук, проф.*,

**А.В. Гриньків**, *канд. техн. наук,*

**А.О. Головатий**, *асп.*,

**Р.О. Кернус**, *студ.*,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Ефективна транспортна логістика є ключовою для розвитку конкурентоспроможності країн у всьому світі в транспортній галузі. Логістика особливо важлива для України, де міжнародна торгівля складає значну частину ВВП. Розташування України на перетині магістральних транспортних шляхів з Європи до Азії та від скандинавських країн до регіону Середземномор'я створює унікальні можливості для розвитку послуг у сфері транзиту. Розвиток транспортного сектора України є також невід'ємною частиною Угоди про асоціацію (УА) між Україною та Європейським Союзом. Сучасний стан транспортної галузі не в повній мірі задовольняє вимоги ефективного впровадження євроінтеграційного курсу України та інтеграції національної транспортної мережі в транс'європейську.

Необхідним є збільшення ефективності та конкурентоспроможності транспортного сектору, вдосконалення правових механізмів як державного, так і приватного партнерства, з урахуванням транспортної специфіки, посилення взаємодії державного та приватного секторів, органів державної влади та органів місцевого самоврядування, проведення необхідних реформ, у тому числі запровадження децентралізації, особливо шляхом скоординованих ініціатив державної політики.

Все це може забезпечити міцну основу сталого розвитку транспортної галузі України та створення вільного та конкурентного ринку транспортних послуг. Однією з причин критичного рівня розвитку галузі транспорту також стало системне недофінансування, недостатнє технічне обслуговування інфраструктури та транспорту, а також технічна відсталість, що загрожує вже не тільки виконанню його соціально-економічних функцій, але й національній безпеці.

Розвиток сучасної ринкової економіки висуває нові вимоги щодо способів підвищення ефективності організації та управління матеріальними, фінансовими, інформаційними та сервісними потоками. Необхідні нові форми і методи організації логістичних потоків. Проведені дослідження свідчать, що у вартості продукту більше 50 % складають витрати на логістику, тобто транспортування, зберігання, упаковку та ін.

Аналіз інфраструктури систем виробництва і споживання, а також тенденції їх удосконалення свідчать про пріоритетність напрямку розвитку магістральних автомобільних перевезень. Частка автомобільного транспорту складає близько 70 % у внутрішніх перевезеннях та біля 50 % в міжнародних за обсягом перевезень у тоннах. Заслужує на увагу удосконалення міжнародних перевезень. При загальному спаді обсягів внутрішніх перевезень у 2 рази за останні 5 років, обсяги міжнародних перевезень зросли приблизно в 1,5 рази.

Необхідність розробки нової системи управління логістичними потоками базується на використанні світового наукового досвіду з втілення інтеграційних процесів виробництва, транспортування, складування і реалізації експортно-імпортних вантажопотоків. Науково-технічний прогрес в галузі транспортних і інформаційних технологій зробив можливим інтегрувати в єдине ціле комплекс супутніх операцій разом з процесом транспортування, а організацію і управління доставкою вантажу зосередити в єдиному управлінському центрі, яким почали виступати експедиторські компанії.

Сьогодні, як відзначають логістичні оператори, зростає попит у підприємств на збірні поставки. Слід відмітити, що у багатьох розвинутих країнах Європи, криза в попередні роки

позитивно вплинула на економію витрат у виробничому процесі і стимулювала виробників впроваджувати логістичну модель "точно в строк". Актуальним для ринку автомобільних перевезень є постачання сировини і компонентів для виробництва, доставка готової продукції покупцеві не тільки в більш короткі терміни, але і на конкретну годину, при чому малими партіями, що, очевидно, не може відбуватися без консолідації поставок різними клієнтами від різних постачальників. Зазначене обумовлює необхідність розроблення нових, науково-обґрунтованих підходів для визначення раціональних схем доставки збірних відправлень як в Україні, так і за її межами.

### Список літератури

1. Аулін В.В., Голуб Д.В. Нормативно-правове забезпечення надійності функціонування транспортних систем в Україні // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки. – 2016. – №2 (77). – С.28-35.
2. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Ступінь забезпечення надійності та якості пасажирських і вантажних автомобільних перевезень в Україні національними та міжнародними стандартами // Вісник інж. академії України. – 2016. – №3. – С.156-162.
3. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гупка А.Б. Логістичний підхід в дослідженні процесів вантажних перевезень у фермерських господарствах агропромислового комплексу України Вісник інж. академії України. – 2016. – №4. – С. 61-66.
4. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. – 370 с.
5. Аулін В.В., Біліченко В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Методологія підходів до дослідження шляхів і сукупності факторів забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем // Вісник машинобудування та транспорту. №2, 2017. С. 4-14.
6. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологія визначення основних експлуатаційних властивостей та якості функціонування транспортних і технічних систем // Вісник інж. академії України. – 2017. – №2. – С.110-115.
7. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічне обґрунтування дослідження та розв'язання проблеми надійності функціонування транспортних систем // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2017. – №10. – С. 29-36.
8. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортно-логістичній системі АПК // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – №62. – С.8-11.
9. Аулін В.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Агапоненко М.І. Розробка критерію вдосконалення системи технічної експлуатації засобів транспорту з врахуванням необхідної діагностичної інформації // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – №62. – С.17-20.
10. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Удосконалення системи транспортного обслуговування підприємств агропромислового виробництва // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 47, ч.ІІ. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – С. 3-10.
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. - P.165-169.
12. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Чернай А.Є., Замота Т.М. Обґрунтування критеріїв інформативності і відносної чутливості діагностичних параметрів технічного стану трибосистем агрегатів транспортних машин // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2018. – №3 – С.23-32.
13. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методичні аспекти кількісної, якісної та часової оцінки параметрів надійності функціонування транспортних систем // Вісник Житомирського державного технологічного університету Серія: Технічні науки № 2 (82). 2018. С.3-10.
14. Аулін В.В., Голуб Д.В. Реалізація фізико-інформаційного підходу дослідження проблеми підвищення надійності та ефективності функціонування транспортних систем // Вестник ХНАДУ, вып. 81, 2018. С.21-28.
15. Aulin V., Lyashuk O., Pavlenko O., Velykodnyi D. et al. Realization of the logistic approach in the international cargo delivery system / Communication – Scientific Letters of the University of Zilina.–2019. Vol.21(2), P.5-14.
16. Aulin V., Hrynkiv A., Rogovskii I., Lysenko S. et al. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters for a cylinder-piston group in the diesel engine during operation // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2020. Vol. 3 (5 - 105).



## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАМОВНИКІВ ДРІБНИХ ПАРТІЙ ВАНТАЖУ В МІСЬКИХ УМОВАХ

В.В. Севідова, студ.,

О.П. Калініченко, канд. техн. наук, доц.

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

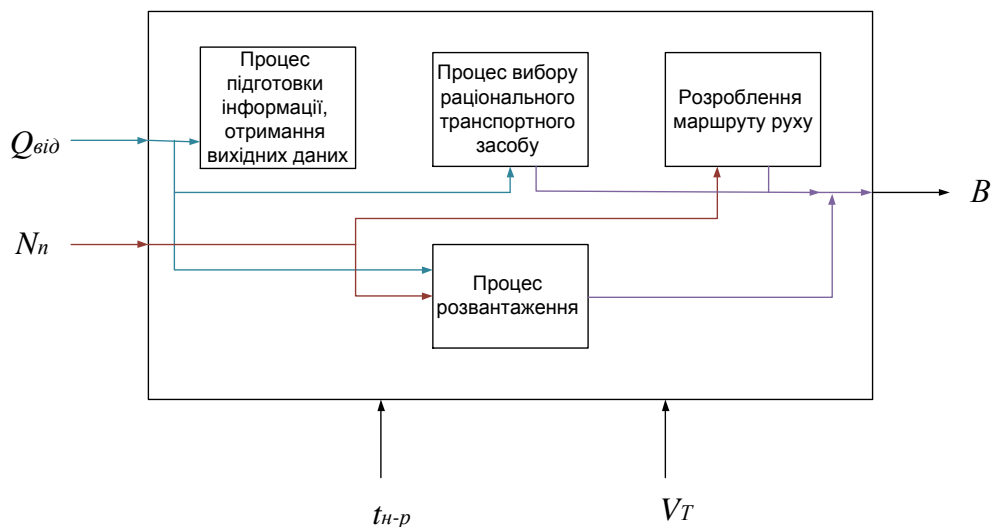
Для якісного обслуговування споживачів необхідно не тільки перевозити зазначений обсяг вантажів, але й доставити вантажі за мінімальний час та з мінімальними транспортними витратами, що ускладнює формування розвізних маршрутів та вибір раціональної вантажності автомобілів, які виконують перевезення.

Метою дослідження є підвищення якості обслуговування замовників дрібних партій вантажу, за рахунок зниження витрат на доставку вантажів в результаті оптимізації маршрутизації (визначення раціональної кількості пунктів завою на розвізних маршрутах).

У сучасній спеціальній літературі проблемам вдосконалення перевезень вантажів в міських умовах приділяється значна увага [1-5]. Створення маршрутів дозволить точно визначити обсяг перевезень вантажів з постачальницько-збутових підприємств, кількість автомобілів, що здійснюють ці перевезення, сприяє скороченню простою автомобілів під завантаженням і розвантаженням, ефективному використанню рухомого складу. Разом з тим маршрутизація дозволяє підвищити продуктивність автомобілів при одночасному зниженні кількості рухомого складу, що надходить на підприємство при тому ж обсязі перевезень [2].

На цей час досить актуальною залишається розробка методів маршрутизації, що сполучають у собі високу точність і можливість їх застосування для транспортних мереж великої розмірності. Питаннями вдосконалення організації дрібнопартійних перевезень займалися і займаються українські, російські та зарубіжні вчені: Воркут А.І., Горев А.Е., Сарафанова Е.В., Евсеєва А.А., Копцев Б.П., Шептура О.М. та інші.

В ході проведення дослідження розроблена структурна схема об'єкту дослідження (рис.1).



Умовні позначення:

$Q_{від}$  - об'єм партії відправок, т;  $N_n$  - кількість пунктів заїзду;

$V_T$  - технічна швидкість автомобіля, км/год.;

$t_{n-p}$  - час навантаження – розвантаження автомобіля, год.

$B$  - витрати на доставку вантажу, грн.

Рисунок 1 – Модель "сіра скриня"

В результаті проведених досліджень було визначено цільову функцію, в якості якої прийнято загальні витрати на доставку вантажів, що найбільш повно характеризує вплив розроблених розвізних маршрутів на результати виробничого завдання.

Тому цільова функція має вигляд

$$B_{заг} = (S_T \cdot Q_{від} + S_{1z} \cdot t_{н-р} + S_{np}^{авт} \cdot t_{np}^{авт} + S_{np}^M \cdot t_{np}^M + S_3^{авт} \cdot t_3^{авт} + C_{ноcm} \cdot t_\partial + C_{зм} \cdot L + B_\partial + t_3 \cdot B_n) \rightarrow \min \quad (1)$$

де  $S_T$  - собівартість перевезення 1 т вантажу, грн./т;

$S_{1z}$  - витрати на 1 годину роботи вантажно-розвантажувальних механізмів при навантаженні (розвантаженні) вантажу, грн./год.;

$t_{н-р}$  - тривалість вантажно-розвантажувальних операцій за одну їздку, год.;

$S_{np}^{авт}$  - витрати, пов'язані із простоем автомобіля протягом вантажно-розвантажувальних робіт за одну їздку, грн./год.;

$t_{np}^{авт}$  - тривалість вантажно-розвантажувальних операцій за одну їздку, год.;

$S_{np}^M$  - витрати, пов'язані із простоем вантажно-розвантажувальних механізмів в очікуванні автомобілів за одну їздку, грн./год.;

$S_3^{авт}$  - витрати, пов'язані із запізненням автомобіля до одержувача вантажу, грн./год.;

$t_3^{авт}$  - час запізнення автомобіля до одержувача вантажу, год.;

$t_3$  - ймовірний час затримки автомобіля в пунктах розвантаження, год.;

$B_n$  - вартість непродуктивного простою автомобіля, грн.

Система обмежень має наступний вигляд

$$\begin{cases} 1 < q_n < 8 \\ 3 < N_n < 19 \\ 1 < Q_{від} < 8 \\ 30 < S_{np}^{авт} < 80 \end{cases} \quad (2)$$

При формуванні маршрутів руху транспортних засобів, які виконують дрібнопартійні перевезення є можливість знизити транспортні витрати та доставити вантажі за мінімальний час. Щоб виконати це завдання використовують різні методики маршрутизації перевезення вантажів. Розробка раціональних маршрутів дозволяє своєчасно і безперебійно виконувати постачання товарів. Але існує інша проблема при використанні розвізних маршрутів, це велика кількість пунктів розвантаження, яка призводить до збільшення простоїв, а також впливає на час доставки що збільшує витрати на доставку вантажу. Одним з рішень цієї проблеми є побудова маршруту з необхідною кількістю пунктів розвантаження що дозволить знизити витрати на доставку.

Можливо розрахувати імовірність затримки автомобіля на кожному з пунктів розвантаження. Затримка автомобіля залежить від таких факторів як затори на дорогах, інтенсивності транспортного потоку, черги в пунктах розвантаження, кількості пунктів заїзду і багато інших. Імовірність затримки буде зростати з кожним із попередніх пунктів заїзду.

Зі збільшенням вантажності автомобіля збільшується кількість пунктів завезення, що входять до розвізного маршруту, а це, в свою чергу, призводить до можливості збільшення часу відхилення від запланованого часу прибуття автомобіля в пункт розвантаження. Тому, втрати від непродуктивних простоїв рухомого складу можуть негативно впливати на загальні витрати на доставку вантажу. При зміні вартості часу невиробничого простою вантажних автомобілів раціональна вантажність автомобіля зміщується в напрямку її зменшення, що

пов'язано з включенням до розвізних маршрутів меншої кількості пунктів завою. Вплив вартості часу простою на загальні витрати на доставку вантажу визначено при 300 грн/год., що відображено на рисунку 2. Тому для визначеної системи обмежень необхідно визначати раціональну кількість пунктів завою для мінімізації загальних витрат на доставку вантажу.

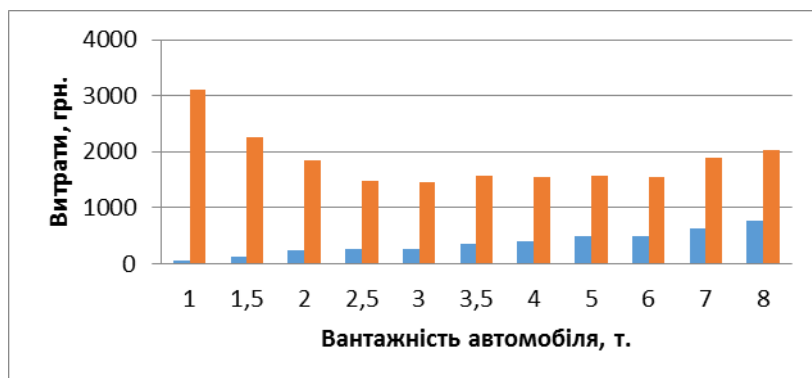


Рисунок 2 - Залежність загальних витрат від вантажності автомобіля (вартість години невикористаного простою 300 грн)

В результаті проведених досліджень було визначено, що на сучасному етапі ринкові відносини, які формуються в умовах невизначеності і нестійкості середовища, вимагають високоефективних методів організації перевезень в плані підвищення якості обслуговування замовників. В зв'язку зі збільшенням частки перевезень дрібних партій вантажу, виникли жорсткі умови щодо доставки "точно в термін". Ця умова створює проблеми при організації доставки. Для підвищення ефективності обслуговування замовників дрібних партій вантажу необхідно розробляти раціональні розвізні маршрути, які дозволяють знизити загальні витрати на доставку вантажів. Запропоновано математичну модель вибору раціональної кількості пунктів заїзду та вибору відповідної марки транспортних засобів та їх вантажності при роботі на розвізних маршрутах.

### Список літератури

1. Куш Є. І. Розробка алгоритму формування розвізних маршрутів в логістичній системі //Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2017. – №. 4. – С. 128-133.
2. Шраменко Н. Ю., Мороз М. М. Формування раціональної технології транспортно-експедиційного обслуговування вантажовласників у міському сполученні //Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2015. – №. 2. – С. 77-81.
3. Лучко М.І., Фатєєв М.І. Удосконалення транспортного обслуговування збірних та розвізних маршрутів у логістичному ланцюгу постачань // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2010. – №4 (146) – Частина 2. – С. 36-43.
4. Калініченко О.П. Рішення задач оперативного планування на автомобільному транспорті: Навчальний посібник. / О.П. Калініченко. Харків: Видавництво ХНАДУ, 2015. –143 с.
5. Шаповал, Д.В. Совершенствование оперативного планирования перевозок мелкопартионных грузов автомобилями на радиальных маршрутах в городах: дис. канд. техн. наук: 05.22.10 / Д.В. Шаповал; науч. рук. проф. – Омск., 2012. – 138 с.

## **МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДУ ГРУПИ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СВИНОКОМПЛЕКСУ**

**М. М. Мороз**, *д-р. техн. наук, проф.*,  
**В. Г. Загорянський**, *канд. техн. наук, доц.*,  
**С. О. Король**, *канд. техн. наук, доц.*,  
**В. Л. Хорольський**, *канд. техн. наук*,  
**І. О. Кузєв**, *асист.*,

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

Полтавська область є одним із лідерів в Україні з виробництва продукції свинарства.

Промислові комплекси і крупні свинарські ферми з усіх точок зору можуть бути найбільш ефективними і в майбутньому у вигляді акціонерних товариств, агрофірм та спільних підприємств у поєднанні з іншими господарствами, а також комбікормовими заводами, переробними та торговельними підприємствами [1]. Свинокомплекси поділяють на великі, де виробляють 12-14 тисяч тонн свинини на рік (зокрема, Глобинський свинокомплекс Полтавської області, розрахований на виробництво до 10 тисяч тонн свинини в живій вазі на рік) і такі, які виробляють 3-4 тисячі тонн. Є також свинокомплекси, де відгодовують по 12 і 6 тисяч голів свиней на рік. Одним з напрямків удосконалення промислових технологій свинарства є забезпечення кормами при зниженні енергоємності [1].

На великих свинарських комплексах річні обсяги перевезень становлять тисячі тонн. Особливо значні обсяги перевезень комбікормів і свиней, причому більшість вантажів має по кілька пунктів відправлення і призначення, відстані між якими, як правило, різні, але навіть при невеликій кількості пунктів відправлення і призначення кількість варіантів поєднання їх зв'язків може бути значним. Задача при цьому полягає в тому, щоб знайти таку кількість автомобілів різного типу і вантажопідйомності, яка б забезпечувала виконання всього обсягу перевезень в оптимальні терміни, за видами перевезень та при найменших витратах.

Визначення оптимальної структури транспортних засобів за допомогою простих арифметичних розрахунків вимагає багато часу, в той же час обраний варіант може виявитися не кращим. Більш швидке і більш точне рішення структури транспортних засобів досягається шляхом застосування математичних методів і використання комп'ютерних технологій.

При визначенні оптимального складу транспортних засобів для перевезення комбікормів за добу, місяць і рік при вирощуванні і відгодівлі декількох тисяч свиней (як, наприклад, на Глобинському свинокомплексі Полтавської області) раціональне застосування алгоритмів теорії розкладів [2]. Вибір даного методу визначає сформована технологія перевезень, при якій комбікорм вивозиться з одного місця в кілька точок споживання [3,4]. Рішення завдання при цьому зводиться до складання розкладу використання автомобілів [5].

При техніко-економічному обґрунтуванні структури транспортних засобів основним вихідними даними є графік виконання транспортних робіт, передбачений технологією виробництва на комплексах, продуктивність транспортних засобів і експлуатаційні витрати.

Розрахунки експлуатаційних витрат можуть бути виконані за двома варіантами. В основу першого варіанту покладені мінімальні розміри годинних тарифних ставок, що встановлюються Галузевою угодою між Міністерством аграрної політики України, галузевими об'єднаннями підприємств та Профспілкою працівників агропромислового комплексу України. Решта показників експлуатаційних витрат визначається за нормативами і плановими матеріалами. За другим варіантом використовуються ті ж нормативи, за винятком показників оплати праці шоферів за час простою під навантаженням і розвантаженням і за

одиницю транспортної роботи (1 т·км), що діють в даний час при розрахунку перевезення комбікормів на комплексі.

Рішення завдання з використанням алгоритму теорії розкладів полягає в наступному.

Припустимо, що два будь-яких автомобіля завантажуються під одним і тим же бункером, причому другий бункер відпускає тільки спеціальний комбікорм, який будуть перевозити автомобілі, обладнані завантажувачем сухих кормів ЗСК-10.

Нехай під першим бункером працюють і-ий та j-ий автомобіль ( $i = 1, \dots, 10; j = 1, \dots, 10$ ). Назвемо цей варіант варіантом (i, j).

Початок роботи о 8 годині. Першим починає завантажуватися і-ий автомобіль, після його завантаження – j-ий.

На наступному етапі знову завантаження починає і-ий автомобіль, потім j-ий, і так до кінця робочого дня, який триває до 17-ой години, при обідній перерві з 12-30 до 13-30.

Таким чином, для варіанту (i, j) складається розклад руху машин за день.

Запишемо вищесказане математично: будемо позначати буквою В (beginning) початок і буквою Е (end) кінець будь-якого завантаження з відповідними індексами, тоді на першому кроці маємо:  $B_1 = 8; E_1 = 8 + t_{i3}; B_2 = E_1; E_2 = B_2 + t_{j3}$ , де  $t_{i3}$  – час навантаження і-ої машини;  $t_{j3}$  – час навантаження j-ої машини.

Тоді, для кроку k початки і кінці завантаження визначаються за залежностями:

$$\begin{aligned} B_{2k-1} &= \max \{ B_{2k-3} + t_{iоб}; E_{2k-2} \}, \\ E_{2k-1} &= B_{k-3} + t_{i3}, \\ B_{2k} &= \max \{ B_{2k-2} + t_{jоб}; E_{2k-1} \}, \\ E_{2k} &= B_{2k} + t_{j3} \end{aligned} \quad (1)$$

де  $t_{iоб}$  – час обороту і-ої машини;  $t_{jоб}$  – час обороту j-ої машини;  $k \geq 2$ .

На підставі складеного розкладу руху машин можна розрахувати кількість їздок  $n_i$ -ої та  $n_j$ -ої машин за день. Знаючи  $n_i$  і  $n_j$ , знаходимо обсяг вантажу, перевезеного і-ою і j-ою машинами за день за формулою:

$$\begin{aligned} T_{ig} &= n_i \cdot T_i, \\ T_{jg} &= n_j \cdot T_j \end{aligned} \quad (2)$$

де  $T_{ig}$  – обсяг вантажу, перевезеного і-ою машиною за день;  $T_{jg}$  – обсяг вантажу, перевезеного j-ою машиною за день;  $T_i$  – вантажопідйомність і-ої машини;  $T_j$  – вантажопідйомність j-ої машини.

Тоді обсяг перевезеного вантажу за день двома автомашинами визначиться як:

$$T_{ij} = T_{ig} + T_{jg} \quad (3)$$

Величина економії витрат праці визначається як різниця між витратами праці, людино-годин, при використанні існуючої і раціональної структури транспортних засобів.

## Список літератури

1. Технологія виробництва продукції свинарства: підручник / В. І. Герасимов та ін. Харків: Еспада, 2010. 448 с.
2. Лазарев А. А., Гафаров Е. Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. Москва: Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (МГУ), 2011. 222 с.
3. Головина Е. Н., Григоровский В. И. Определение оптимального состава транспортных средств для свиноводческих комплексов методом "теории расписаний". *Труд и управление в сельском хозяйстве*. 1977. Вып. 70. С. 75–82.
4. Moroz, M. M., Vasytkovska, K. V., Vasytkovskyi, O. M., Sviren, M. O., Petrenko, D. I. (2019). Determining the parameters of the device for inertial removal of excess seed. *INMATEH – Agricultural Engineering*. Vol. 57 (1). P. 135-140.
5. Volodymyr Zagoryanskii, Olena Zagoryanskya, Tetyana Haykova and Volodymyr Khorolskii (2019). The model of vehicle optimum quantity for grain crop harvesting under the conditions of farming in Poltava region. *SHS Web of Conferences*. 2019. Vol. 67 (2019). P. 1–6.

## **ФОРМУВАННЯ КРИТЕРІЮ ПО ВИЗНАЧЕННЮ РАЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСТАВКИ АГРОПРОДУКЦІЇ З УКРАЇНИ В НІДЕРЛАНДИ**

**К.О. Лашина**, студ.,

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

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

В даний час Україна є одним з провідних світових експортерів аграрної продукції. Агропромисловий комплекс (АПК) є пріоритетною галуззю української економіки і, в найближчий період, стратегія його виходу на ринок Європейського Союзу (ЄС) має істотне значення для перспективного розвитку України. За період січень-вересень 2019 року було експортовано аграрної продукції в ЄС на 4,76 мільярдів доларів США, що на 106,9% більше періоду минулого року [1]. При цьому даний обсяг становить 30% від загального експорту. Найбільший обсяг експорту аграрної продукції (АП) склав в Нідерланди - 1,06 мільярдів доларів США (рис.1).

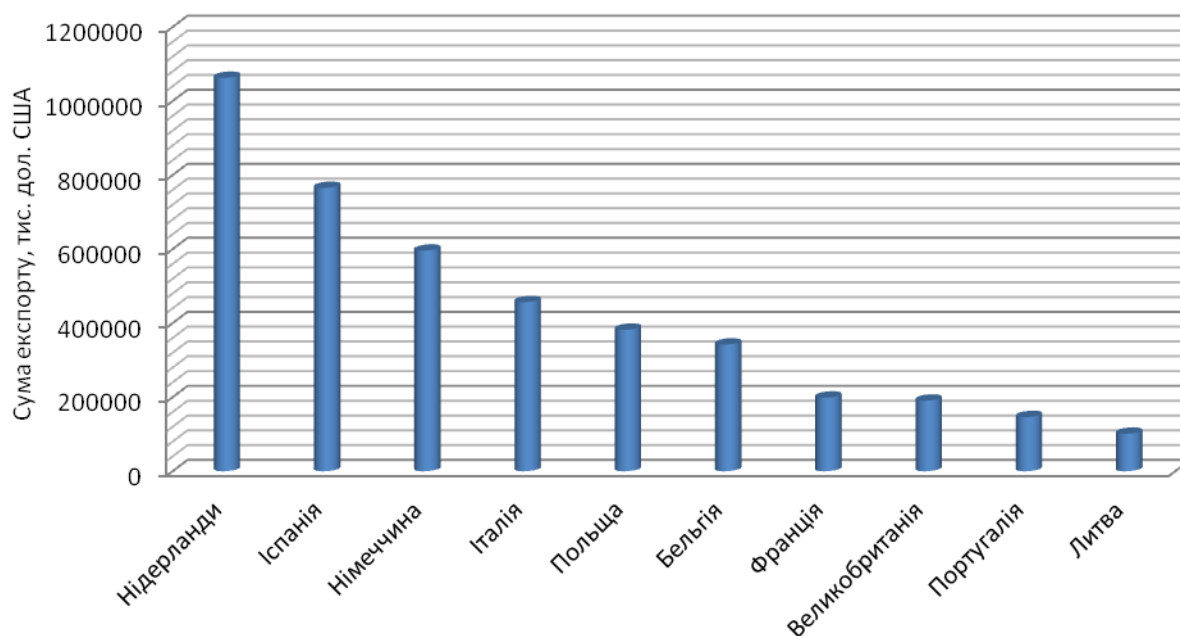


Рисунок 1 – Обсяг експорту аграрної продукції з України в десять країн ЄС

Ефективне відстеження поставок вантажу має вирішальне значення для управління світовою торгівлею та логістикою [2]. Щоб впоратися зі зростаючою складністю вимог клієнтів, організація і управління ланцюгами поставок постійно рухаються до співпраці, інтелектуальності і сервіс-орієнтованості [3-6]. Багато логістичні компанії в більшості країн світу зробили прозорість постачання обов'язковою процедурою в ланцюгу доставки будь-яких вантажів [7].

Для побудови логістики поставки аграрної продукції необхідно визначити учасників і рівні їх взаємодії. Основним елементом взаємодії є інформаційний обмін [8]. Для формування бази даних кожного елемента першого рівня необхідно визначити обсяг вхідних і вихідних даних, це в свою чергу, дозволить побудувати ефективну логістику поставки агропродукції, враховуючи специфіку взаємодії відповідних елементів. Для прикладу: трейдер - виробник аграрної продукції (рис.2).



Рисунок 2 - Схема формування бази даних першого рівня взаємодії: трейдер - виробник аграрної продукції

В якості критерію по визначенню раціональної організації доставки агропродукції з України в Нідерланди пропонується розглядати максимальний прибуток ( $P$ ) при продажу

$$P = \max_j (Z_i - V_{ij} - S_i), i = 1 \dots n; j = 1 \dots m, \quad (1)$$

де  $Z_i$  – кінцева вартість  $i$ -го виду агропродукції, грн/т;

$n$  – номер відповідної групи агропродукції;

$V_{ij}$  – витрати на доставку  $i$ -ої агропродукції за  $j$ -им маршрутом (варіантом), грн/т;

$m$  – номер відповідного маршруту (варіанту);

$S_i$  – початкова вартість  $i$ -ї агропродукції, грн/т.

Початкова та кінцева вартість визначається замовником за одиницю агропродукції – в нашому випадку приймаємо за одну тонгу – це важливо при визначенні кінцевих ставок при фрахтуванні контейнерів, автомобілів, вагонів, морського та річкового суден.

Витрати на доставку  $i$ -ї агропродукції за  $j$ -им маршрутом (варіантом)

$$V_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^K V_{Dj}^k + \sum_{c=1}^C V_{FRj}^c + V_{addj}}{q_i}, \quad (2)$$

де  $\sum_{k=1}^K V_{Dj}^k$  – сумарні витрати на виконання  $k$ -их операцій по доставці  $i$ -ої

агропродукції за відповідним маршрутом, грн;

$K$  – кількість операцій за відповідним маршрутом (варіантом);

$\sum_{c=1}^C V_{FRj}^c$  – сумарні витрати на фрахтування контейнеру, вантажної одиниці (піддон, ящик), а також бронювання місця в автомобілі, судні, вагоні, грн;

$C$  – вид фрахту за відповідним засобом;

$V_{addj}$  – витрати на виконання додаткових операцій за відповідним маршрутом, грн;

$q_i$  – обсяг замовлення доставки відповідного виду агропродукції, т.

Обрана тема є досить актуальною, адже логістики поставки аграрної продукції з України в Нідерланди активно впроваджується. Аналіз літературних джерел показав, що існує ряд підходів щодо визначення ефективної організації доставки аграрної продукції та визначення критерію вибору з точки зору забезпечення технічної складової цього процесу. Визначено критерій визначенню раціональної організації доставки агропродукції з України в Нідерланди – максимальний прибуток, який враховує вартість відповідної продукції на

початковому та кінцевому рівні постачання, а також витрати на виконання логістичних операцій за всіма можливими варіантами (маршрутами) за участю відповідних видів транспорту. В подальшому планується провести статичний аналіз керованих параметрів та здійснити моделювання.

### Список літератури

1. Officialsite of Derzhkomstatu Ukrayiny. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2019/zd/kr\\_tstr/arh\\_kr\\_2019.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2019/zd/kr_tstr/arh_kr_2019.htm)
2. Velykodnyi, D. The choice of rational technology of delivery of grain cargoes in the containers in the international traffic [Text] / O. Pavlenko, D. Velykodnyi // International journal for traffic and transport engineering. – Belgrade, Serbia, 2017, Vol. 7(2), pp. 164-175
3. 7. Aulin, V., Lyashuk, O., Pavlenko, O., Velykodnyi, D., Hryniv, A., Lysenko, S., Holub, D., Vovk, Y., Dzyura, V., Sokol, M. (2019). Realization of the logistic approach in the international cargo delivery system. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 21(2), 3-12.
4. Нефьодов, В.М. Методика формування ресурсозберігаючої технології доставки вантажів транспортно-логістичним центром [Текст] / В.М. Нефьодов, О.В. Павленко, О.П. Калініченко // Комунальне господарство міст. - 2018. - 142. – С. 96-102.
5. Павленко О.В. Формування раціональної схеми обслуговування замовлень на доставку вантажів транспортно-експедиторським підприємством [Текст] / О.В. Павленко, Д.О. Великодний// Комунальне господарство міст. - 2020. – 154 (1). – С. 223-230.
6. Волкова Т.В. Удосконалення управління якістю доставки зерна автомобільним транспортом на території України [Текст] / Т.В. Волкова, О.В. Павленко// Комунальне господарство міст. - 2020. – 154 (1). – С. 216-222.
7. Shramenko N., Pavlenko O. & Muzylyov D. (2020) 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, 596-604.
8. 27. Aulin, V., Pavlenko, O., Velikodnyy, D., Kalinichenko, O., Zielinska, A., Hrinkiv, A., Diychenko, V., Dzyura, V. (2019). 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), 120-132.



## **ДО ПИТАННЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ МАРШРУТІВ ПАСАЖИРСЬКОГО СПОЛУЧЕННЯ**

**М.Є. Кристопчук**, канд. техн. наук., доц.,

**Т.В. Бурчєня**, студ.,

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

Одним з методів, що дозволяють оцінювати ефективність функціонування пасажирської транспортної системи приміського сполучення на етапі проектування маршрутної мережі і удосконалення діючої є моделювання її роботи. Цей процес може бути виконаний за допомогою апарату математичного моделювання. Застосування останнього для оцінки наслідків впровадження змін у маршрутній мережі пасажирського сполучення становить значний інтерес внаслідок таких причин: на даний час розроблено досить повний математичний апарат, що дозволяє здійснювати необхідну модифікацію існуючих моделей, і враховує специфіку конкретної маршрутної мережі; використання математичних моделей не вимагає значних ресурсів і дає можливість легко їх реалізувати на практиці з використанням ЕОМ, що дозволяє при необхідності проводити багаторазовий аналіз у процесі проектування та експлуатації мережі; математичні моделі, на відміну від натурного моделювання, вимірювання та статистичного аналізу параметрів реальної маршрутної мережі пасажирського сполучення (у випадку, якщо маршрутна мережа уже спроектована і знаходиться в процесі експлуатації), дозволяють робити висновки про тенденції розвитку мережі, що є важливим при дослідженні транспортної системи пасажирського сполучення.

Необхідні передумови вирішення поставлених завдань у загальному вигляді визначаються параметрами попереднього їх опису, територіального розміщення вузлів, елементів системи на аналізованому ринку транспортного обслуговування, між якими формуються зв'язки різного роду, що вимагають кількісної оцінки реалізацій відповідно до висунутих потреб на транспортні послуги. Умови достатності встановлюють методи, алгоритм вирішення завдань визначення кількісних характеристик оптимальних транспортних процесів і зв'язків. Їх характеристики повинні враховувати нормативи обмежень забезпечення надійності, безпеки, доцільності, ефективності, інші специфічні умови функціонування систем. У даний час накопичено великий досвід при моделюванні транспортних систем, проведені комплексні дослідження транспортних систем пасажирського сполучення автомобільним транспортом, результати яких представлені в наукових працях зарубіжних і вітчизняних вчених. Зокрема, критерії для оцінки ефективності функціонування транспортних систем докладно описані в [1-3, 5].

Методи проектування транспортних систем знайшли своє відображення в роботах Я. Вандаса, А. Фішера, О.К. Кудрявцева, М.С. Крамара (статичні моделі) [1] та Л.А. Яковлева, Ю.С. Кірзнєра (динамічні моделі) [1]. Недоліком статичних моделей є те, що вони оптимізують транспортну систему відносно випадкового розселення, в результаті чого розрахункові транспортні навантаження можуть суттєво відрізнитись від фактичних.

Динамічні моделі (модель Л.А. Яковлева) враховують зміни в транспортній системі пов'язані з факторами "розселення - тягіння", але не забезпечують однозначного алгоритму пошуку її структури [1, 3].

Відомі підходи, в яких автори [4, 6] розглядають розподіл поїздок за законом Пуассона, та відзначають багатofакторність моделі формування пасажирських кореспонденцій, а отже і рухливості населення, та пропонують використовувати принцип максимізації ентропії [5].

З метою побудови ефективної мережі громадського пасажирського транспорту з

урахуванням попиту на пересування, автори [6] використовують аналіз альтернативних поїздок за принципом Парето-оптимальності.

Енергоентропійний метод у різних сферах з успіхом розробляли такі вчені, як Больцман Л., Бриллюен Л., Вінер Н. та інші, у задачах управління Абдєєв Р.Ф., Куликов А.В. Ентропійний підхід для вирішення транспортних проблем [7] був уперше застосований Вільсоном у 1967 р. і пізніше часто використовувався при вирішенні транспортних завдань (вибір місця призначення, виду транспорту, маршруту пересування). В ентропійному аналізі люди (пасажирів) уподібнюються молекулам газу і діють в каналізованому броунівському русі незалежно один від одного. Ентропійні моделі таких складних об'єктів, як міжміські й регіональні пасажирські транспортні системи дозволяють одержувати близькі до реальних дані про досліджувані процеси.

Однією з відправних точок для вирішення ряду проблем, пов'язаних з побудовою моделі, є завдання визначення пасажиропотоків. Регіон являє собою складну багатоелементну і неоднорідну динамічну систему. Регіональні транспортні системи характеризуються істотною різномірністю і неповнотою інформації про процеси, що в них протікають. У зв'язку з неповнотою інформації, одним з можливих методів визначення пасажиропотоків, є гравітаційний. Використання гравітаційної моделі наявне в роботах багатьох авторів [3-6], причому в багатьох випадках вона зазнає деяких змін у плані застосування функції тяжіння, в якості якої можуть бути запропоновані як витрати на пересування пасажирів між районами, так і затрати часу на їх переміщення та інші функціонали. Крім того, в кожному конкретному випадку треба проводити адаптацію моделі шляхом введення калібрувальних коефіцієнтів, що залежать від параметрів моделі.

Гравітаційні моделі є наслідком класичної термодинамічної моделі максимізації ентропії [5, 7]. Метод максимізації ентропії, по суті, приписує рівні ймовірності всім станам складної системи, що не виключаються апріорною інформацією.

Принципи ринкової економіки формують нову формулу індивідуального вибору споживачем обсягу і виду транспортних послуг, тому на етапі вибору й побудови моделі функціонування транспортної системи особливу увагу слід приділити відповідності прийнятої гіпотези про протікання процесів пасажирообміну в системі, вибору вузлів зародження та погашення пасажиропотоків, визначитися з критерієм ефективності системи. З цією метою треба провести ґрунтовний аналіз відомих моделей транспортних процесів і побудови транспортних систем, провести їх адаптацію для дослідження транспортної системи приміського пасажирського сполучення, формування ринку транспортних послуг з урахуванням площі транспортного обслуговування маршрутів пасажирського сполучення.

Аналіз ринку пасажирських транспортних послуг у приміському сполученні, в умовах зростання транспортної рухомості населення, вимагає чіткої сегментації з метою забезпечення врахування інтересів суб'єктів перевізного процесу, комфортності й безпеки пересування шляхом оптимізації структури й кількості транспортних засобів які обслуговують маршрутну мережу, на основі вивчення провізних можливостей маршрутів. Найбільш прийнятним для моделювання пасажиропотоків по мережі є гравітаційний підхід. При цьому необхідним є встановлення закономірностей розселення жителів по території, які на даний час вивчений не достатньо. Тому слід провести дослідження вказаного параметра й виявити залежності його зміни від просторового розміщення населених пунктів відносно обласного чи районного центрів. Тому важливим завданням дослідження є побудова моделі розрахунку потенціалу транспортних послуг у приміському сполученні та розробка методу розрахунку потенціалу транспортних послуг у приміському сполученні, на основі площі транспортного обслуговування маршрутів. При формуванні критерію ефективності пасажирської транспортної системи приміського пасажирського сполучення слід мати на увазі, що аналіз статистичних даних стосовно функціонування маршрутної мережі пасажирського сполучення (кількість одиниць рухомого складу і його техніко-експлуатаційні показники, обсяги перевезених пасажирів) не можуть повною мірою відповісти на питання: наскільки оптимальна маршрутна мережа, наскільки транспорт задовольняє потреби

населення в перевезеннях, як при наявній транспортній системі оцінити рівень обслуговування населення.

Тому, доцільно провести поділ показників у групи, які відображають економічну та соціальну складові ефективності, що в свою чергу дозволить вирішити проблему поєднання інтересів пасажирів і транспортних підприємств із суспільними, яка виникає через вплив наступних факторів [1, 9]:

- транспортної рухомості населення;
- провізної здатності пасажирського громадського транспорту (типу і чисельності рухомого складу);
- рівня організації пасажирських перевезень.

Інтереси транспортних підприємств (перевізників) відображають рівень доходної частини та забезпечення прибуткової роботи при обслуговуванні пасажирів.

В свою чергу, інтереси пасажирів зводяться до мінімізації витрат часу і коштів на поїздки, підвищенні безпеки і комфорту під час користування транспортом, що відображає соціальну складову ефективності пасажирської транспортної системи приміського сполучення. Поєднання інтересів пасажирів і перевізників характеризують суспільні інтереси: задоволення соціальних вимог населення; забезпечення рентабельності роботи транспортних підприємств; мінімізація шкідливого впливу на здоров'я і продуктивність праці членів суспільства; мінімізація шкідливого впливу транспорту на навколишнє природне середовище. Слід відмітити, що попит на транспортні послуги визначається не тільки чисельністю, складом і розподілом населення по території, але й змінами рівня його добробуту, зайнятості, перебудовою системи транспортного обслуговування в сучасних умовах, проявом дії закономірностей зміни індивідуальних можливостей та потреб [4, 8, 9, 11]. Одночасно з цим відбувається перерозподіл у характері переваг, концентрації і виборі напрямків поїздок жителів конкретного регіону, трудові поїздки перерозподілилися з виробничої сфери в посередницьку, проходить зміна положення центрів зародження і погашення поїздок на території регіону. Таким чином, розроблені раніше алгоритми моделювання маршрутної мережі пасажирського сполучення морально застаріли й не можуть бути повною мірою використані для опису процесу переміщення пасажирів у сучасних умовах.

Модель функціонування транспортної системи пасажирського сполучення умовно складається з моделі транспортної мережі, моделі потреби в пересуваннях, моделі маршрутної мережі й моделі розподілу пасажиропотоків. Визначальним етапом у процесі моделювання транспортної системи пасажирського сполучення є модель маршрутної мережі. Ця модель являє собою траси маршрутів та їхніх провізних можливостей. Ці параметри визначають показники ефективності транспортної системи пасажирського сполучення.

Модель транспортної мережі подана у вигляді математичного опису елементів транспортної мережі пасажирського сполучення в регіоні, по яких можливий рух транспортних засобів громадського користування [10, 12].

Моделювання функціонування транспортної системи пасажирського сполучення відбувається шляхом зміни трас маршрутів у приміському сполученні й кількості транспортних засобів на них. Зміна цих параметрів дозволяє домогтися очікуваних показників ефективності функціонування транспортної системи пасажирського сполучення. Процес моделювання має ітераційний характер, що дозволяє використати його при розгляді нових альтернативних маршрутних мереж пасажирського сполучення регіону. Відомі методики [1, 6-8] встановлення потенціалу транспортних послуг та формування матриць пасажирських кореспонденцій ґрунтуються на використанні гравітаційних моделей, та розроблені, в основному для дослідження взаємодії між транспортними районами міст.

Однак, для формування кореспонденцій у приміському сполученні, при взаємодії багатьох населених пунктів з різною щільністю населення, та віддаленістю від міста-центру, використання гравітаційних моделей ускладнене.

На відміну від існуючих методик [1, 3, 4, 6, 7] визначення потенціалу транспортних

послуг, запропонований метод з використанням площі транспортного обслуговування маршрутів простіший у практичному використанні та дає достатньо точні результати.

Населення вибирає центр тяжіння з урахуванням обмежень, накладених транспортною системою і на основі суб'єктивних міркувань про якість обслуговування. Розподіл транспортних зв'язків визначає поле розсіювання початкових і кінцевих пунктів переміщень, що в свою чергу, формує територіальну одиницю, яка обслуговується одним маршрутом, або системою маршрутів. Оскільки щільність населення у відношенні поселень неоднакова, то на їх множині виділяються територіальні одиниці, що складають зони обслуговування, та формують пасажиропотоки. Сумарні характеристики попиту в окремих територіальних границях визначають ємність ринку транспортних послуг, що є базовим показником, який визначає умови виробництва й використання транспортних послуг. Параметри ємності ринку визначаються умовами формування міжрайонного балансу "відправлення - прибуття" пасажирів по всіх взаємодіючих вузлах зародження і погашення потреб у перевезеннях на розглянутій території. Визначальними факторами у формуванні величини площі транспортного обслуговування маршруту є довжина маршруту сполучення і щільність населення на досліджуваній території.

### Список літератури

1. Ефремов И.С., Кобозев В.М., Юдин В.А. Теория городских пассажирских перевозок. Москва: Высш. школа, 1980. 534 с.
2. Кристопчук М.Є. Приміські пасажирські перевезення/ Кристопчук М.Є., Лобашов О.О. – Харків: НТМТ. 2012 – 223с.
3. Кристопчук М. Є. Соціально-економічна ефективність пасажирської транспортної системи приміського сполучення : монографія / М. Є. Кристопчук. – Рівне: НУВГП, 2012. 158 с. / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/1645>.
4. Cordera R, Sañudo R, dell'Olio L, Ibeas A Trip distribution model for regional railway services considering spatial effects between stations // *Transport Policy*, vol. 67 (2018) pp. 77-84. doi: 10.1016/j.tranpol.2018.01.016.
5. Abdel-Aal M Calibrating a trip distribution gravity model stratified by the trip purposes for the city of Alexandria // *Alexandria Engineering Journal*, vol. 53, issue 3 (2014) pp. 677-689. doi: 10.1016/j.aej.2014.04.006
6. Kujala R, Weckström C, Mladenović M, Saramäki J. Travel times and transfers in public transport: Comprehensive accessibility analysis based on Pareto-optimal journeys // *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 67 (2018) pp. 41-54. doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2017.08.012
7. Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем. Перев. с англ. Москва: Наука, 1978. 248 с.
8. Хітров І. О. Модель формування площі транспортного обслуговування маршрутів пасажирського сполучення // *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. – 2019. – №. 2. – С. 173-184.
9. Кристопчук М. Є. Дослідження факторів впливу на розподіл пасажирських кореспонденцій по маршрутній мережі // *Наукові нотатки*. – 2014. – №. 45. – С. 317-322..
10. Доля В. К. Дослідження транспортної мережі регіону методом побудови функції щільності населення / В. К. Доля, П. М. Грицюк, М. Є. Кристопчук // *Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник*. Вып. 69. Серия "Технические науки и архитектура". Київ: "Техніка", 2006. С. 205-211.
11. Cremer M., Keller H. A New Class of Dynamic Methods for the Identification of Origin-Destination Flows // *Transportation Research-B*, 1987. Vol. 21(B). N2. P. 117 -132.
12. Peterson B.E. Calculation of capacity, queue length and delay in traffic facilities // *Traffic Eng. and Contr.*, 1977. Vol. 18. – N 6. P. 310–312..

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ДОСТАВЦІ ДРІБНОПАРТІОННИХ ВАНТАЖІВ НА ПРИКЛАДІ ТОВ "ПЕСТО"**

**Л.А. Савченко**, канд. техн. наук, доц.,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна  
**І.І. Махмудов**, канд. техн. наук,  
ВП Національного університету біоресурсів і природокористування України  
"Ніжинський агротехнічний інститут", м. Ніжин, Україна

**Актуальність роботи.** В роботі представлена характеристика транспортного підприємства ТОВ "ПЕСТО". Виходячи з поставленої мети в проекті вирішуються наступні задачі: ринок транспортних послуг; аналіз організації праці та відповідність національним стандартам; оцінка виконання перевезень кондитерських виробів; вибір типу і марок машин, які необхідні для виконання перевезень; розрахунок показників роботи автомобілів на маршрутах м. Києва; оцінка диспетчерського управління вантажними перевезеннями; розрахунок показників ефективності.

Розрахувавши економічний ефект підприємства, проаналізовано наскільки новий варіант створених та запропонованих маршрутів для підприємства є кращим.

**Мета проекту** - удосконалити організацію вантажних автомобільних перевезень вантажів у місті Києві.

**Об'єкт дослідження** - це організація і процеси вантажних автомобільних перевезень вантажів у міському сполученні.

**Предмет дослідження** - це методи доставки вантажів в міському сполученні та маршрутизація перевезень.

**Основна частина.** Основною задачею логістичної системи підприємства ТОВ "ПЕСТО" є використання та отримання критерію прибутку. При розрахунку оптимального маршруту пораховано час виконання маршруту, навантаження – розвантаження партії вантажів середнє значення якого становить 4 хв/т, оформлення документів та перевірка вантажу додатково становить 6 хвилин в кожному пункті заводу. Середня швидкість руху прийнята 50 км/год

В результаті виконання розрахунків отримаємо, що виконання розвезення товару можна виконати за 1184 хвилин, що становить (19 годин 07 хвилин).

Тоді ми прораховуємо час даного маршруту:

$$A_{тп} + P_0 + P_3 + P_7 + P_{15} + P_{11} + P_{18} + P_{19} + P_8 + P_1 + P_{16} + P_{13} + P_{17} + P_{24} + P_{25} + P_{21} + P_{20} + P_{22} + P_5 + P_9 + \\ P_{12} + P_{10} + P_{14} + P_4 + P_{23} + P_6 + P_2$$

де,  $P_0$  – загрузка (приймаємо 40 хвилин)

$A_{тп}$  – Автотранспортне підприємство (приймаємо 30 хвилин)

$P$  – точки маршруту

$$30 + 40 + 31 + 48 + 34 + 37 + 51 + 44 + 47 + 42 + 47 + 38 + 43 + 43 + 33 + 41 + 42 + 44 + 43 + 42 + 41 + 52 \\ + 54 + 63 + 58 + 55 + 41 = 1184 \text{ (19 годин 07 хвилин)}$$

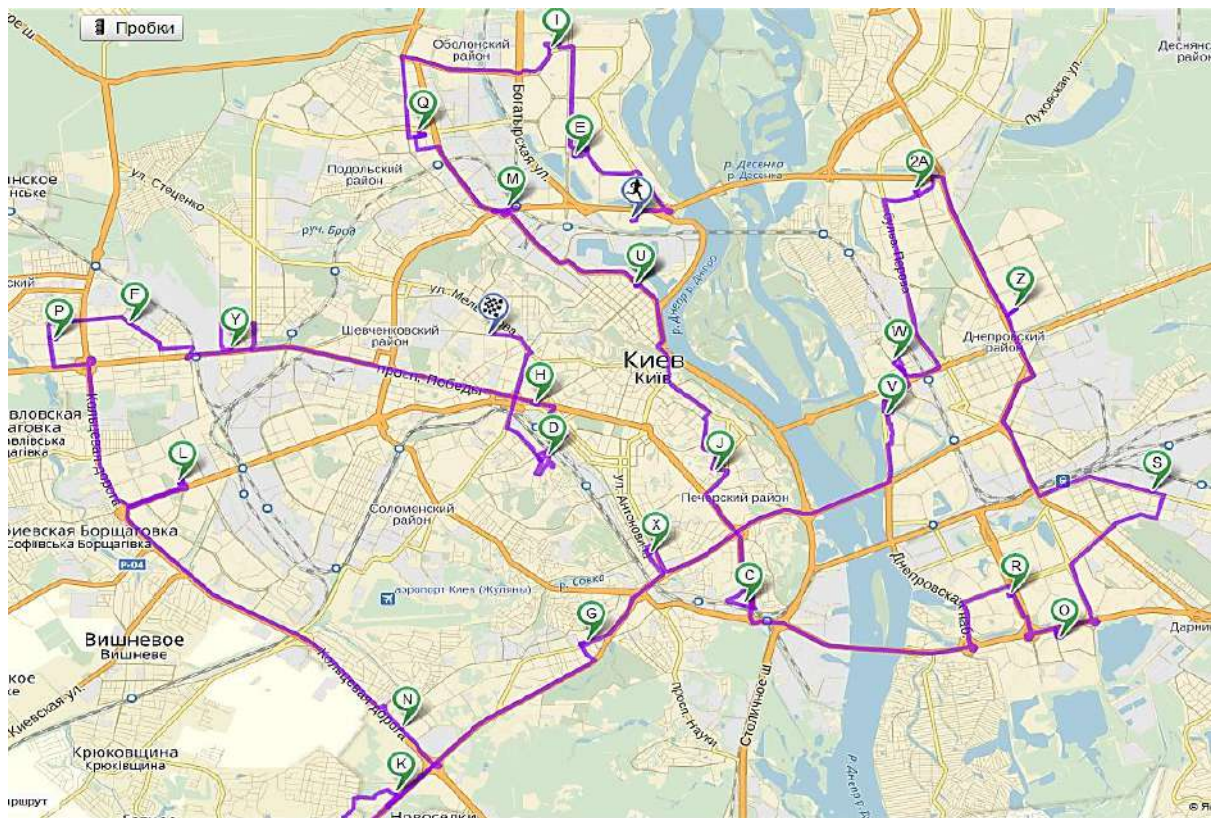


Рисунок 1 – Представлено отриманий маршрут

При розрахунку загального маршруту загальною масою 13400 кілограм, протяжність якого складає протяжністю 160 кілометрів, 6 годин 40 хвилин. Нами було запропоновано скласти 3 оптимальних маршрути. Де було вибрано зі складу автопарку організації 3 автомобілі (перший автомобіль MERCEDES-BENZ ATEGO 815 вантажопідйомність 5 тон, другий автомобіль Toyota Dyna 2000 вантажопідйомність 3,5 тон, третій автомобіль MAN TGL 7.150 вантажопідйомність 5 тон).

В результаті аналізу отриманих даних розбиваємо наш маршрут на 3 розвізних маршрути, виконавши групування по району перевезення. та за допомогою методики рішення задачі комівояжера визначаємо оптимальні шляхи руху.

Таблиця 1 – Матриця групованих відстаней для згрупованого маршруту №1

Р <sub>АТЦ</sub>	Р <sub>0</sub>	6	8	10	13	17	19	21	23	25
Р <sub>0</sub>	-	3,7	8,5	15	19	19	4,8	11	13	6,5
6	3,7	-								
8	8,5	5	-							
10	15	23	26	-						
13	19	14	11	32	-					
17	19	18	11	41	5,8	-				
19	4,8	4,5	10	32	17	16	-			
21	11	13	9	33	11	7,5	25	-		
23	13	15	11	20	22	22	10	27	-	
25	6,5	14	14	21	14	11	16	7,8	20	-



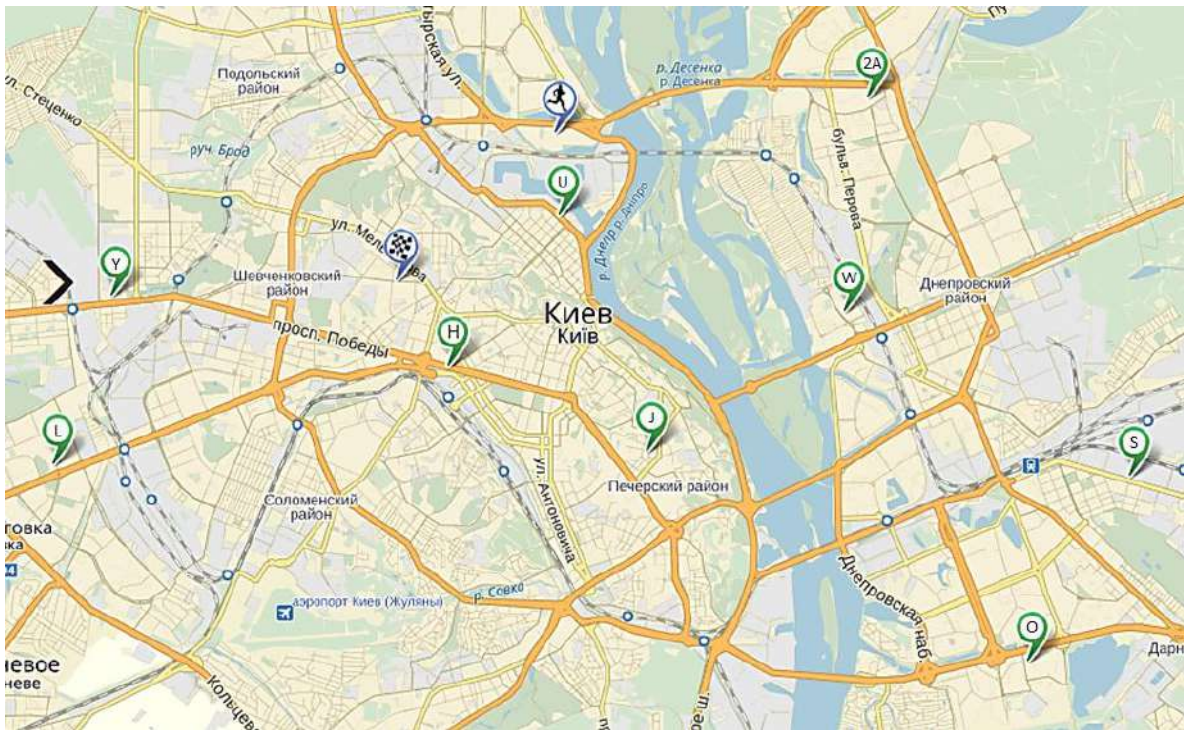


Рисунок 2 – Вантажодержувачі оптимізованого маршруту №1

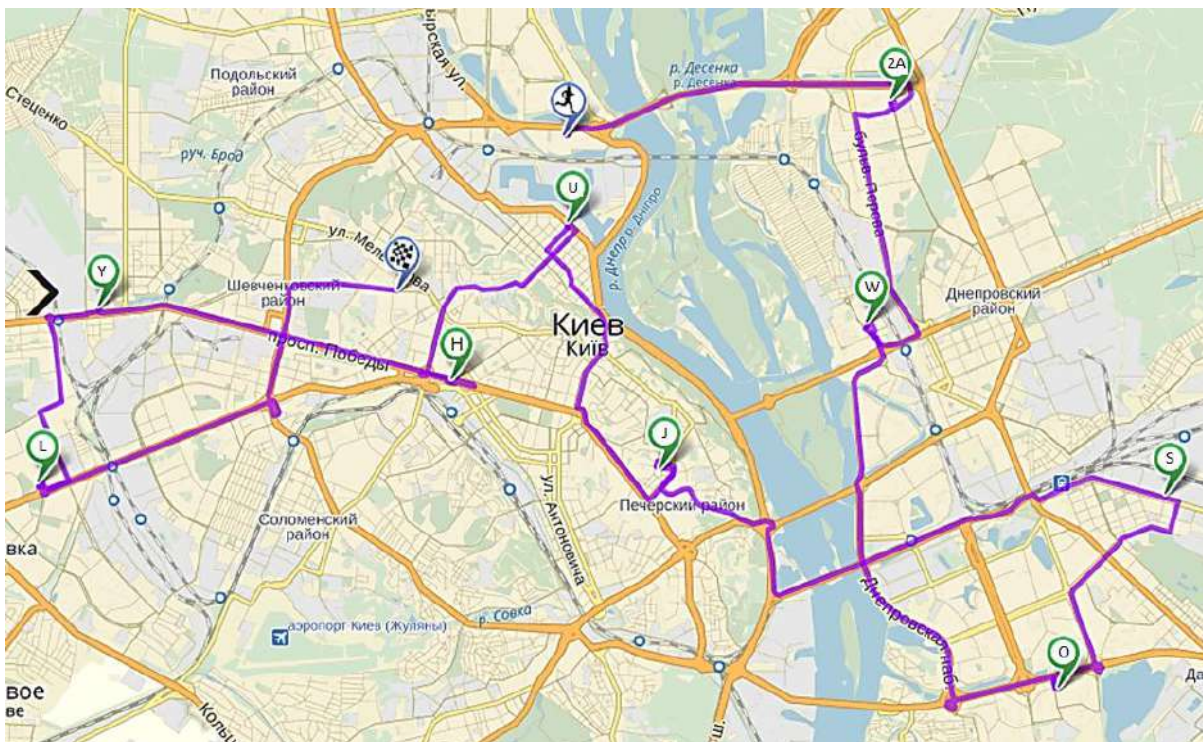


Рисунок 3 – Схема руху оптимізованого маршруту №1 для 5 тонного автомобіля

Перший маршрут для автомобіля вантажопідйомністю 5 тон MERCEDES-BENZATEGO 815 пролягає по 9 точках: АТП → Вантажовідправник → 2А → W → O → S → J → U → H → Y → L → АТП, який складає 5050 тон, протяжність якого становить 85 кілометрів. Робота водія на даному маршруті складає по розрахунку часу 9 точках: АТП → Вантажовідправник → 25 → 21 → 13 → 17 → 8 → 19 → 6 → 23 → 10 → АТП. З цих даних ми вираховуємо час роботи водія на першому маршруті.

$15+30+39+41+48+43+48+47+44+55+57+12=8$  годин робочого часу на першому маршруті.



Таблиця 2 – Матриця групованих відстаней для згрупованого маршруту №2

$P_{ATII}$	$P_0$	3	4	7	15	16	18	20	24
$P_0$	-	5	21	7,8	8	17	12	13	12
3	5	-							
4	21	12	-						
7	7,8	18	23	-					
15	8	17	23	4,8	-				
16	17	9,7	2,9	22	20	-			
18	12	8,3	5,7	18	18	7,4	-		
20	13	5,6	7,9	18	16	6	9	-	
24	12	12	8	17	18	9,7	10,2	10	-

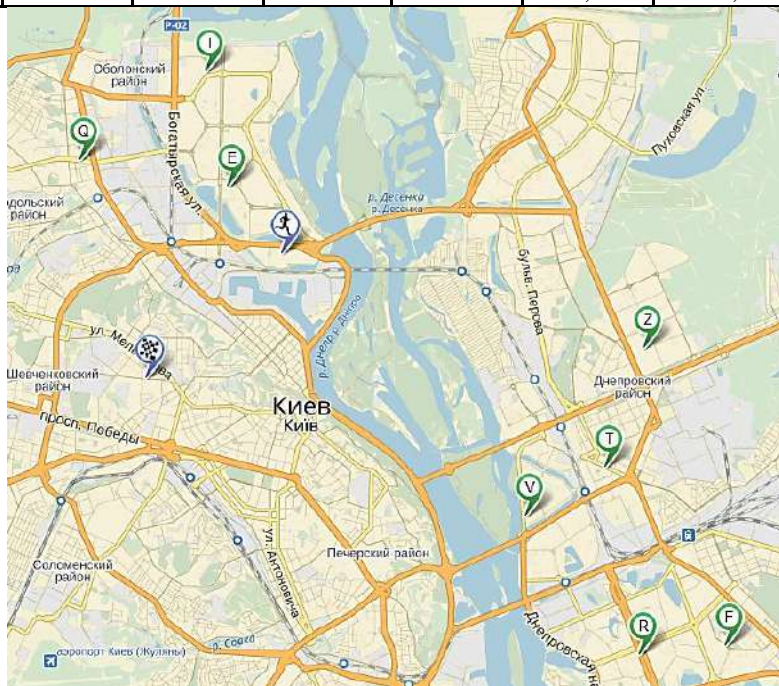


Рисунок 4 – Вантажоодержувачі оптимізованого маршруту №2

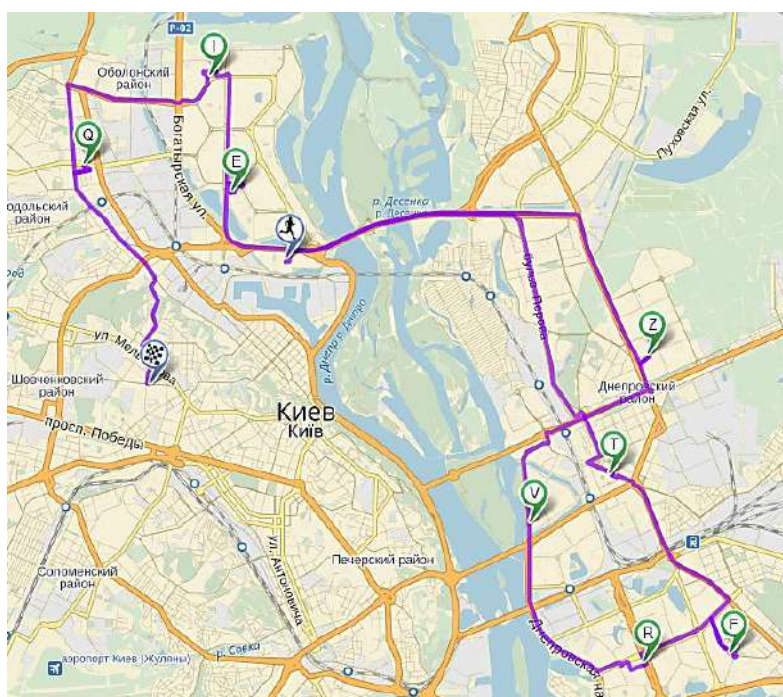


Рисунок 5 – Схема руху оптимізованого маршруту №2 для 3,5 тонного автомобіля



Другий маршрут для автомобіля вантажопідйомністю 3.5 тон Toyota Dyna 2000 пролягає по 8 точках: АТП → Вантажовідправник → Т → F → R → V → Z → E → I → Q → АТП, який складає 3450 тон, протяжність якого становить 70 кілометри. Робота водія на даному маршруті складає по розрахунку часу 8 точок: АТП → Вантажовідправник → 18 → 4 → 16 → 20 → 24 → 3 → 7 → 15 → АТП. З цих даних ми розраховуємо час роботи водія на другому маршруті.

$15+30+42+29+28+38+46+38+48+34+15=6$  годин 5 хвилин робочого часу на другому маршруті.

Таблиця 3 – Матриця групованих відстаней для згрупованого маршруту №3

P <sub>АТП</sub>	P <sub>0</sub>	1	2	5	9	11	12	14	22
P <sub>0</sub>	-	13	9,8	16	21	4,7	21	17	14
1	13	-							
2	9,8	11	-						
5	16	5,3	7	-					
9	21	5,9	7,8	5,7	-				
11	4,7	18	11	19	23	-			
12	21	19	12	5,7	4,8	19	-		
14	17	19	13	19	18	12	15	-	
22	14	3,4	3,3	9	7,8	16	17	16	-

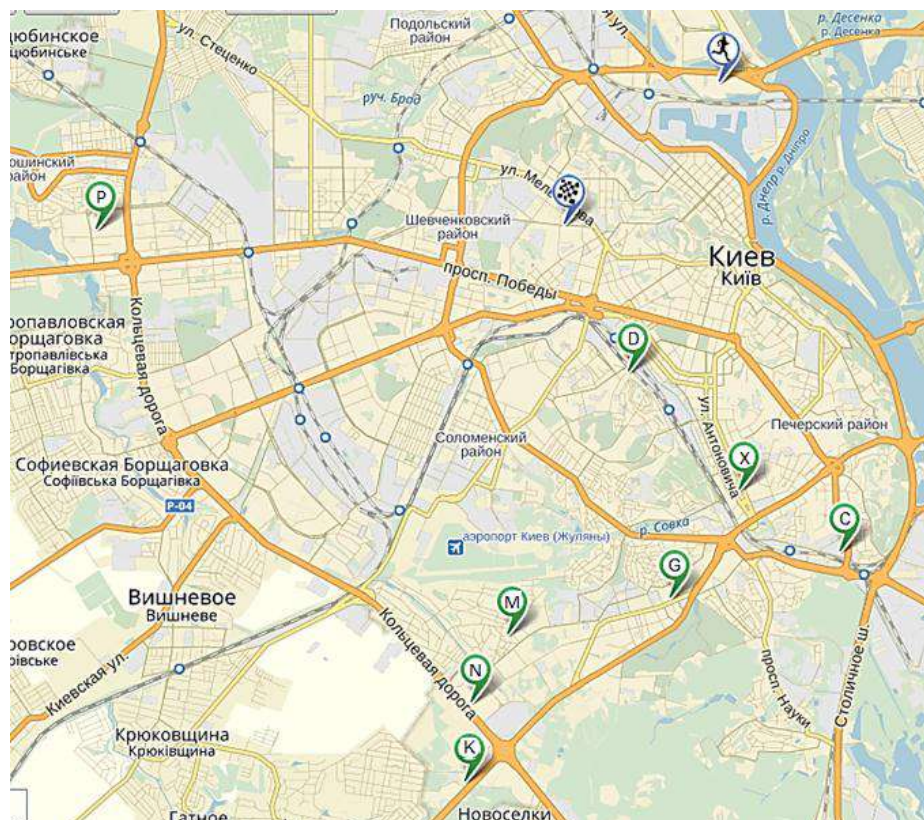


Рисунок 6 – Вантажоодержувачі оптимізованого маршруту №3

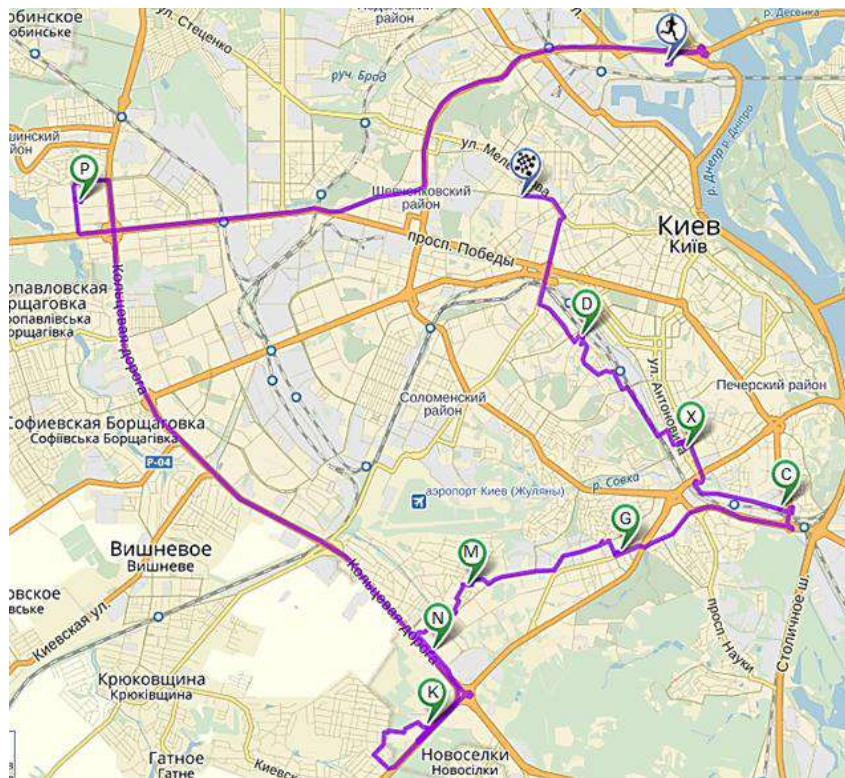


Рисунок 7 – Схема руху оптимізованого маршруту №3 для 5 тонного автомобіля

Третій маршрут для автомобіля вантажопідйомністю 5 тон MAN TGL 7.150 пролягає по 8 точках: АПТ → Вантажовідправник → P → K → N → M → G → C → X → D → АПТ, який складає 3450 тон, протяжність якого становить 75 кілометрів. Робота водія на даному маршруті складає по розрахунку 8 точок: АПТ → Вантажовідправник → 14 → 9 → 12 → 11 → 5 → 1 → 22 → 2 → АПТ. З цих даних ми розраховуємо час роботи водія на третьому маршруті.

$$15+30+61+56+41+60+55+41+37+39+10=7 \text{ годин } 25 \text{ хвилин робочого часу}$$

Таблиця 4 – Результати оптимізації маршрутів

Маршрут за комівояжером	Обсяг перевезень, т.	Довжина маршруту, км.
АПТ-Р <sub>0</sub> -Р <sub>25</sub> -Р <sub>21</sub> -Р <sub>13</sub> -Р <sub>17</sub> - Р <sub>8</sub> Р <sub>19</sub> -Р <sub>6</sub> -Р <sub>23</sub> -Р <sub>10</sub> - АПТ	5,050	85
АПТ-Р <sub>0</sub> -Р <sub>18</sub> -Р <sub>4</sub> -Р <sub>16</sub> -Р <sub>20</sub> - Р <sub>24</sub> Р <sub>3</sub> -Р <sub>7</sub> -Р <sub>15</sub> -АПТ	3,450	75
АПТ-Р <sub>0</sub> -Р <sub>14</sub> -Р <sub>9</sub> -Р <sub>12</sub> -Р <sub>11</sub> - Р <sub>5</sub> Р <sub>1</sub> -Р <sub>22</sub> -Р <sub>2</sub> -АПТ	4,900	80
$\Sigma$	13,400	240

**Висновки.** Основним завданням роботи є фінансовий результат, тобто прибуток, який включає в себе витрати учасників системи, тим самим без зайвих витрат на транспортування. Розробили існуючі маршрути на даному підприємстві який маршрут, кількість перевезеного товару, відстань. Проаналізувавши всі фактори існуючих маршрутів нами було запропоновано підприємству вибрати три оптимальних автомобілі для перевезення вантажу. Ними стали Mercedes-Benzatego 815 (5т.), Toyota Dyna 2000 (3,5 т.), Man TGL 7.150 (5т.). Розподілили 3 проектних маршрути по пунктам заводу, розподілили прямопропорційну масу вантажу кожній машині по завантажування. По даним розрахункам матрицю групованих відстаней для згрупованого маршруту, для автомобілів Mercedes, Toyota, Man.

#### Список літератури

1. Транспортная логистика. Под общей редакцией Л.Б.Миротина. – М.:Издательство "Экзамен", 2002. – 512с.
2. Логистика: управление в грузовых транспортно-логистических системах. Под ред. Л.Б.Миротина. – М.:Юристь, 2002. – 414с.
3. Смахов А.А. Основы транспортной логистики. –М.: Транспорт, 1995. –197с.

## **СУЧАСНА ЛОГІСТИЧНА СИСТЕМА ДОСТАВКИ ВАНТАЖНИХ ВІДПРАВЛЕНЬ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ**

**В.В. Аулін**, *д-р. техн. наук, проф.*,  
**С.В. Лисенко**, *канд. техн. наук, доц.*,  
**А.О. Головатий**, *асп.*,  
**Я.В. Тирса**, *студ.*,  
**Н.К. Хорольський**, *студ.*,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року визначає пріоритетні напрями покращення якості надання транспортних послуг, передбачає наближення рівня їх надання та розвитку інфраструктури до європейських стандартів, підвищення рівня безпеки та зменшення негативного впливу на довкілля, реагує на необхідність покращення системи управління, проведення адміністративної реформи та децентралізації завдань і функцій центральних органів виконавчої влади, запровадження антикорупційної політики, корпоративного управління у державному секторі економіки.

Ця стратегія відповідає положенням Угоди про асоціацію, Поглибленої та всеохоплюючої зони вільної торгівлі (ПВЗВТ) з ЄС, Угоди про певні аспекти повітряного сполучення від 01.12.2005 та парафорованого проекту Угоди про спільний авіаційний простір, Стратегії сталого розвитку "Україна – 2020", затвердженої Указом Президента України від 12.01.2015 № 5, Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, Паризької Угоди, резолюції Генеральної Асамблеї ООН 25.09.2015 №70/1 "Перетворення нашого світу: Порядок денний розвитку у галузі сталого розвитку на період до 2030 року", а також середньостроковому плану пріоритетних дій Уряду до 2020 року, затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 03.04.2017 №275.

Регіони України як і всього світу потребують постійних поставок різних ресурсів і товарів, вимагають доставки устаткування, матеріалів, промислових товарів і інших ресурсів невеликими партіями, оскільки споживання їх обмежено, а більш накопичення і зберігання неефективні. В даний час на верхній рівень економічної ієрархії висувається сфера послуг, а точніше її транспортна складова, яка займає значне положення у всіх економічних сферах. Важливе місце в транспортному обслуговуванні економіки займають перевезення тарно-штучних вантажів, що забезпечують всі складові її частини необхідними ресурсами, сировиною і матеріалами. Особливий статус мають перевезення у сфері споживання, оскільки циркулюючі там вантажі, як правило, формуються і перевозяться дрібними партіями. Враховуючи, що перевезення обслуговують життєві потреби населення вони є соціально-значущими і вимагають до себе постійної уваги.

У загальному випадку, доставка вантажу від відправника до одержувача передбачає виконання груп операцій щодо вибору видів транспорту та сполучень, підготовки вантажу до перевезень, доставки його на термінал магістрального транспорту, виконання навантажувально-розвантажувальних та складських робіт, транспортування та передачі вантажу з одного виду магістрального транспорту на інший, перевезення вантажу з терміналу магістрального виду транспорту до адресату. При виконанні кожної групи операцій можуть варіюватись технічні засоби, способи та методи організації роботи тощо. Комплекс взаємоузгоджених технічних, технологічних, економічних, організаційних, комерційних і правових рішень, які забезпечують найбільш ефективно перевезення вантажів є транспортно-технологічною системою доставки.

Таким чином, у процесі доставки вантажів може бути задіяні декілька перевізників, терміналів, експедиторів, взаємодія яких описується на рівні матеріальних, інформаційних та

фінансових потоків. Система доставки являє собою логістичну систему з організаційно-господарським механізмом управління матеріальними та інформаційними потоками. Вона включає матеріальні засоби, що забезпечують рух товарів по логістичному ланцюгу (склади, навантажувально-розвантажувальні механізми, транспортні засоби), виробничі запаси та засоби управління усіма ланками ланцюга.

### Список літератури

1. Аулін В.В., Гриньків А.В., Замота Т.М. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі використання методів теорії чутливості // Вісник інж. академії України. – 2015. – №3. – С. 66-72.
2. Аулін В.В., Гриньків А.В. Методика вибору діагностичних параметрів технічного стану транспортних засобів на основі теорії сенситивів // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – №5. – Харків: ХНТУСГ, 2016. – С. 109-116.
3. Аулін В.В., Голуб Д.В. Нормативно-правове забезпечення надійності функціонування транспортних систем в Україні // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки. – 2016. – №2 (77). – С.28-35.
4. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Ступінь забезпечення надійності та якості пасажирських і вантажних автомобільних перевезень в Україні національними та міжнародними стандартами // Вісник інж. академії України. – 2016. – №3. – С.156-162.
5. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. – 370 с.
6. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічне обґрунтування дослідження та розв'язання проблеми надійності функціонування транспортних систем // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2017. – №10. – С. 29-36.
7. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортно-логістичній системі АПК // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – №62. – С.8-11.
8. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Критерії реалізації процесів забезпечення та підвищення надійності і ефективності функціонування транспортних систем // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – №62. – С.12-16.
9. 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. - P.165-169.
10. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В. Методологічний підхід до визначення рівня якості функціонування транспортних систем // Вісник машинобудування та транспорту. №1(7), 2018. С. 4-9.
11. Аулін В.В., Голуб Д.В. Реалізація фізико-інформаційного підходу дослідження проблеми підвищення надійності та ефективності функціонування транспортних систем // Вестник ХНАДУ, вып. 81, 2018. С.21-28.
12. Aulin V., Lyashuk O., Pavlenko O., Velykodnyi D. et al. Realization of the logistic approach in the international cargo delivery system / Communication – Scientific Letters of the University of Zilina. – 2019. Vol.21 (2), P. 5-14.
13. 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. Вип. 1(32). Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С.36-45.
14. Aulin V., Hrynkiv A., Rogovskii I., Lysenko S. et al. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters for a cylinder-piston group in the diesel engine during operation // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2020. Vol. 3 (5 - 105). - P. 19-29.
15. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень // Вісник машинобудування та транспорту №1(11), 2020. С.5-10.



## **СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В ЛАНЦЮГАХ ПОСТАЧАНЬ**

**О.М. Загурський**, *д-р. економ. наук, доц.,*

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

**С. М. Загурська**, *канд. філос. наук,*

*КНЗ КОР "Київський обласний інститут післядипломної освіти педагогічних кадрів", м. Біла Церква, Україна*

Сучасному типу економіки як ніякому з попередніх характерний високий ступінь динамічності, пов'язаний з різноманітними змінами, кризами, витратами і втратами. За такого стану одним з інструментів, що дозволяє досягти конкурентних переваг, є інтеграція взаємодії підприємницьких структур, пов'язаних між собою матеріальними, інформаційними та фінансовими потоками в єдину інтегровану систему управління – ланцюг постачання (Supply Chain Management). Це в свою чергу вимагає формування нових інноваційних підходів до формування системи оцінки ефективності його функціонування, що базується не на емпіричних даних, а на кількісних розрахунках.

Новим напрямом у розвитку методів оцінки ефективності ланцюгів постачання є SCOR-модель. Оцінка функціонування ланцюгів постачання в SCOR-моделі здійснюється в два етапи (табл. 1).

Таблиця 1 – Структура показників ефективності функціонування ланцюгів постачання

	Група параметрів функціонування ланцюга		Перший рівень метрик	
	Індикатор	Найменування	Індикатор	Найменування
Зовнішні	RI	Надійність	RI 1.1	Досконале замовлення
	RS	Швидкість відгуку	RS 1.1	Тривалість виконання замовлення
	AG	Маневреність (динамічність)	AG 1.1	Рівень гнучкості ланцюга постачання (up) Рівень адаптивності (up) вверх по ланцюгу постачання Рівень адаптивності (down) вниз по ланцюгу постачання Загальна вартісна міра ризику
			AG 1.2	
AG 1.3				
AG 1.4				
Внутрішні	CO	Витрати	CO 1.1 CO 1.2	Витрати на управління постачаннями Собівартість реалізованих товарів
	AM	Активи (майно)	AM 1.1	Оборотність активів Рентабельність необоротних активів Рентабельність оборотних активів (робочого капіталу)
			AM 1.2	
AM 1.3				

Перший етап включає узагальнені групи показників, такі як надійність, швидкість відгуку, маневреність (динамічність), витрати і управління активами. Другий етап оцінки передбачає наявність системи метрик трьох рівнів (групи вимірюваних показників). Перший рівень метрик містить ключові показники КПЕ, що відображають найбільш загальні дані для стратегічного планування. Другий рівень метрик деталізує метрики першого рівня та допомагає зрозуміти причину відхилення від запланованого результату. На третьому рівні метрики являють собою групи конкретних показників, наприклад "витрати на авторизацію оплати постачальнику", для метрики другого рівня "витрати на постачання".

Щодо процесів транспортування в ланцюгах постачань то до групи ключових показників ефективності, які використовуються на всіх видах транспорту як правило відносять:

1. Час (наприклад, навантаження-розвантаження).
2. Продуктивність (зокрема, транспортна робота).
3. Собівартість перевезення.
4. Якість сервісу.
5. Рентабельність.

Виділена група показників має ряд ознак, що дозволяють говорити про її значущість:

– укрупнені показники, можуть бути деталізовані і мають інтегрований характер;  
– показники універсальні для всіх видів транспорту, тобто можуть бути використані для оцінки мультимодальних перевезень (у даному дослідженні будемо дотримуватися визначення, прийнятого правилами UNCTAD, згідно яких мультимодальна перевезення – це спосіб транспортування, за якого перевізник організовує процес доставки і приймає відповідальність за перевезення з видачею необхідних документів про мультимодальні перевезення);

– показники перспективні з точки зору можливості подальшого їх включення в ЗСП і вивченні в контексті стратегічних цілей підприємства.

Проте незважаючи на значні напрацювання з оцінки ефективності в ланцюгах поставок, дане питання активно досліджується, і пропонуються все нові підходи, зокрема ведуться дослідження колегами за кордоном. Так, в роботі [1] зазначено, що на сучасному етапі оцінка логістичної діяльності проводиться на двох рівнях – макрорівні (в межах країни, або об'єднання країн, що має на увазі порівняння результатів між станами або в межах однієї країни, але в різні періоди часу) і мікрорівні (корпоративному рівні).

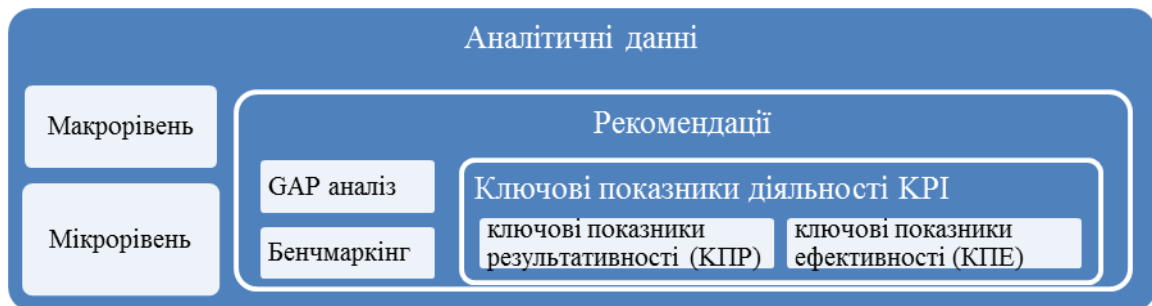


Рисунок 1 – Алгоритм проведення оцінки ефективності транспортної діяльності

На рисунку 1 представлений алгоритм проведення оцінки ефективності транспортної діяльності, що включає на першому етапі формування бази даних, потім визначення укрупнених показників – ключових показників діяльності КРІ, після чого з урахуванням рівня проведеного аналізу (мікро або макро) формується комплекс з ключових показників результативності (КПР) та ключових показників ефективності (КПЕ). Оцінка також може бути проведена і просто на базі порівняння з кращою практикою аналогічного підприємства. На завершальному етапі пропонується використовувати метод стратегічного аналізу, з допомогою якого здійснюється пошук кроків для досягнення заданої мети – GAP аналіз і розробку рекомендацій.

### Список літератури

1. Fact-finding studies in support of the development of an EU strategy for freight transport logistics Lot 1: Analysis of the EU logistics sector, final report, 2015. – 190 p.
2. Zagurskiy O., Titova L. "[Problems and Prospects of Blockchain Technology Usage in Supply Chains](#)" Journal of Automation and Information Sciences, 2019. Volume 11. 63-74.

## **ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ГЕНЕРАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У МІСТАХ**

**Ю.О. Давідіч**, *д-р. техн. наук, проф.*,

**І.В. Чумаченко**, *д-р. техн. наук, проф.*,

**Є.І. Куш**, *канд. техн. наук, доц.*,

**А.С. Галкін**, *канд. техн. наук, доц.*,

**Н.В. Давідіч**, *канд. техн. наук,*

*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,*

*м. Харків, Україна*

Вирішення задач проектування ефективних транспортних систем міст в сучасних реаліях не можливо без інформаційної підтримки цього процесу [1]. Параметри потоків транспортних засобів змінюються в часі та просторі і, як показує практика, їх координація є неодмінною умовою ефективності транспортного процесу. Важливу роль в цьому має якісне інформаційне забезпечення процесу формування транспортних потоків у містах і одним із найважливіших етапів цього завдання є розподіл потоків ділянками вулично-дорожньої мережі. Цей процес формується внаслідок вибору водіями маршрутів пересування між районами міста. Прогнозування параметрів транспортних систем міст доцільно проводити з урахуванням закономірностей цього вибору, що дозволить отримати більш адекватні результати прогнозу. Стан потоків визначається колективним рухом водіїв транспортних засобів, які реалізують свої потреби в пересуваннях. При цьому усі можливі варіанти пересування водій оцінює з урахуванням безлічі випадкових впливів. Результатом цієї оцінки виступає його рішення щодо маршруту руху, яке є незалежним від інших учасників руху. Істотний вплив на параметри руху транспортних засобів мають також психофізіологічні та індивідуальні якості водія [2]. Аналіз проведених раніше досліджень показав, що цей вплив досліджений в недостатній мірі. Науковцями запропоновано об'єднувати індивідуальні характеристики людей з однаковими властивостями центральної нервової системи у відповідні типи нервової системи, що утворюють фізіологічну основу темпераменту: сангвініки, холерики, флегматики, меланхоліки [3].

Метою даного дослідження є визначення закономірності вибору маршруту руху водіями з найбільш поширеним типом нервової системи – "холерик". Для отримання вхідних даних було проведено натурне обстеження, що полягало у постановці завдання водіям вибрати маршрути руху вулично-дорожньою мережею міста між різними районами відправлення та призначення. Для визначених маршрутів проводилися обстеження їх параметрів та умов руху.

На наступному етапі дослідження на підставі отриманих результатів було розроблено модель зміни частки кореспонденції, що реалізується альтернативними маршрутами руху, під час керування автомобіля водієм з типом нервової системи "холерик", що має такий вид:

$$\Delta K^{xoi} = 0,47 \cdot V_m / V_{krat} - 0,18 \cdot L_m / L_{krat}, \quad (1)$$

де  $V_m / V_{krat}$  – відношення швидкості руху маршрутом до швидкості руху на найкоротшому маршруті;  $L_m / L_{krat}$  – відношення довжини маршруту до найкоротшої довжини маршруту.

Після розробки регресійної моделі проводилася її статистична оцінка Тіснота зв'язку між залежною змінною і факторами, що впливають на її рівень, визначалася коефіцієнтом множинної кореляції. Його значення дорівнює 0,99 і свідчить про високий ступінь тісноти зв'язку між значеннями частки кореспонденції і відібраними факторами. Оцінка адекватності

розробленої моделі проводилась за показником середньої помилки апроксимації. Її значення дорівнює 13,12 %, що відповідає допустимим межах.

Отримані результати дозволили визначити розподіл потоків транспортних засобів мережею міста. Це дозволяє вирішувати локальні завдання на рівні обслуговування роздрібних мереж. Механізм формування завдання на перевезення з урахуванням впливу людського фактору дозволяє враховувати, окрім параметрів транспортних засобів, дороги та середовища, ще і вплив людського фактору. Це істотно позначається на технології транспортного процесу: графіках роботи, швидкості сполучення тощо.

### **Список літератури**

1. Тарабанов Н. А. Особенности использования информационных технологий в проектной деятельности / Н. А. Тарабанов // Гуманитарная информатика: Сб. статей / Под ред. Г.В. Можяевой. – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2008. – С. 102-110.
2. Galkin A. Improving the Safety of Urban Freight Deliveries by Organization of the Transportation Process Considering Driver's State / A. Galkin, N. Davidich, L. Filina-Dawidowicz, Yu. Davidich // Transportation Research Procedia, 2019, 39. – P. 54–63.
3. Крушельницька Я.В. Фізіологія і психологія праці / Я. В. Крушельницька. – К.: КНЕУ, 2003. - 367 с.



## **ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКІ ПОСЛУГИ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ ЗБІРНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

**В.В. Аулін**, *д-р. техн. наук, проф.*,

**А.О. Головатий**, *асп.*,

**В.О. Дьяченко**, *асп.*,

**М.Ю. Петровський**, *студ.*,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Основними перевагами, характерними для збірних перевезень є економічність і зручність перевезень в такому форматі. Істотна економія досягається за рахунок ефективного використання вантажного простору. У цьому випадку досить доступними можуть бути навіть авіап перевезення, які в цілому відрізняються високою ціною. Транспортні компанії мають можливість зекономити на доставці збірних вантажів, оскільки, відправляючи машини у певну точку, вони виконують відразу кілька замовлень на вантажоперевезення. Це знижує транспортні витрати, а значить і вартість послуг перевезення вантажу, збільшує кількість клієнтів і їх лояльність до компанії.

Велику роль при збірних вантажних перевезеннях відіграють склади, термінали, розподільчі центри, місця укрупнення і т.д. Технологічний процес на складах, основу якого складають раціональна побудова, чітке та послідовне виконання складських операцій, постійне вдосконалення організації праці та технологічних рішень, має відповідати оптимальним параметрам за швидкістю процесу, забезпечувати збереження товарів, економічність витрат і високий рівень логістичного сервісу.

Правильно організований технологічний процес роботи складу має забезпечувати: чітке і своєчасне проведення кількісного і якісного прийому вантажів; ефективне використання засобів механізації навантажувально-розвантажувальних і транспортно-складських робіт; раціональне складування товарів, максимальне використання складських об'ємів і площ, збереження матеріальних цінностей; виконання вимог з раціональної організації складських операцій з відбору товарів з місця зберігання, комплектуванню і підготовці їх до видачі; чітку роботу експедиції і організацію централізованої доставки вантажів споживачам; послідовне і ритмічне виконання складських операцій, сприяючи планомірному завантаженню працівників складу, і створення сприятливих умов праці.

В умовах глобалізації сучасної економіки підвищення ефективності доставки вантажу входить до перспективних напрямків скорочення витрат промислових організацій, торгівлі та сфер послуг. У зв'язку з цим, в останній час з'явилася тенденція становлення транспортно-експедиторської діяльності як самостійної галузі транспортного комплексу. Одна з головних задач транспортно-експедиторської діяльності в сучасних умовах – пошук найбільш ефективного для замовника варіанта доставки вантажів, використовуючи один або декілька видів транспорту.

Великий вплив на ефективне надання транспортно-експедиторських послуг має раціональна розробка та дотримання їх технологій.

Схема взаємодії експедиторів при вантажних перевезеннях наведено на рисунку 1.

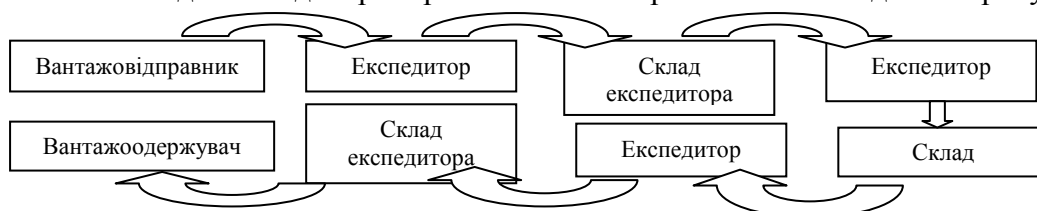


Рисунок 1 – Схема діяльності транспортно-експедиторських компаній при здійсненні вантажних перевезень

Детальний розбір складових процесу перевезення та множинних, всіх факторів, які впливають на цей процес, можна зробити висновок, що для перевезення вантажу є можливість використання безлічі схем доставки збірних вантажних відправлень.

### Список літератури

1. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Ступінь забезпечення надійності та якості пасажирських і вантажних автомобільних перевезень в Україні національними та міжнародними стандартами // Вісник інж. академії України. – 2016. – №3. – С.156-162.
2. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гупка А.Б. Логістичний підхід в дослідженні процесів вантажних перевезень у фермерських господарствах агропромислового комплексу України // Вісник інж. академії України. – 2016. – №4. – С. 61-66.
3. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. – 370 с.
4. Аулін В.В., Гриньків А.В. Теоретичний аналіз діагностичних параметрів технічного стану систем та агрегатів засобів транспорту за допомогою методів теорії чутливості Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК / Редкол.: С.М. Ніколаєнко (відп. ред.) та ін. – К., 2017. – Вип. 262. – С. 227-239.
5. Аулін В.В., Біліченко В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Методологія підходів до дослідження шляхів і сукупності факторів забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем // Вісник машинобудування та транспорту. №2, 2017. С. 4-14.
6. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічне обґрунтування дослідження та розв'язання проблеми надійності функціонування транспортних систем // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2017. – №10. – С. 29-36.
7. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Критерії реалізації процесів забезпечення та підвищення надійності і ефективності функціонування транспортних систем // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – №62. – С.12-16.
8. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Удосконалення системи транспортного обслуговування підприємств агропромислового виробництва // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 47, ч.ІІ. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – С. 3-10.
9. 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. - P.165-169.
10. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В. Методологічний підхід до визначення рівня якості функціонування транспортних систем // Вісник машинобудування та транспорту. №1(7), 2018. С. 4-9.
11. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методичні аспекти кількісної, якісної та часової оцінки параметрів надійності функціонування транспортних систем // Вісник Житомирського державного технологічного університету Серія: Технічні науки № 2 (82). 2018. С.3-10.
12. Аулін В.В., Голуб Д.В. Реалізація фізико-інформаційного підходу дослідження проблеми підвищення надійності та ефективності функціонування транспортних систем // Вестник ХНАДУ, вып. 81, 2018. С.21-28.
13. Aulin V., Lyashuk O., Pavlenko O., Velykodnyi D. et al. Realization of the logistic approach in the international cargo delivery system // Communication – Scientific Letters of the University of Zilina. – 2019. Vol.21 (2), P. 5-14.
14. Aulin V., Pavlenko O., Velikodnyy D., Kalinichenko O. Methodological approach to estimation of efficiency of the facing of the stock complex of transport and logistic centers in Ukraine / ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine. – С.120-134.
15. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Розв'язання проблеми надійності технологічних процесів вантажних перевезень підприємствами агропромислового виробництва // Центральнотернопільський науковий вісник. Технічні науки. Вип. 1(32). Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С.36-45.
16. Aulin V., Hryniv A., Rogovskii I., Lysenko S. et al. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters for a cylinder-piston group in the diesel engine during operation // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2020. Vol. 3 (5 - 105). - P. 19-29.

## **9. ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВАМИ**

УДК 629.113

### **ЕКОНОМІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ПОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ ТЕХНІКИ**

**І.О. Хігров**, канд. техн. наук, доц.,

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

Тенденції розвитку машинобудування направлені на підвищення потужності та енергонасиченості машин. Важливою економічною характеристикою технічного рівня об'єктів є досягнення ними запланованого рівня ресурсу.

Кожний технічний об'єкт характеризується запасом можливого напрацювання – технічним ресурсом. Одиниці для вимірювання ресурсу вибирають відповідно до конкретної галузі і до кожного класу машин, агрегатів і конструкцій окремо. Він може вимірюватися в одиницях напрацювання (наробітку) і в одиницях календарного часу. Для автомобільного транспорту пробіг в кілометрах, для тракторів – в мотогодинах роботи, для технологічного обладнання – в годинах (змінах) роботи. Для інших машин використовується термін служби.

Початковий момент часу при обчисленні ресурсу вибирають по різному. На стадії проектування за початковий момент часу приймають момент введення об'єкта в експлуатацію (початок його функціонування). Для об'єктів, що знаходяться в експлуатації, в якості початкового можна вибрати момент останнього профілактичного заходу, або момент відновлення експлуатації після капітального ремонту.

Ресурс та термін служби хоча характеризуються одним граничним станом, проте мають певні відмінності. Наприклад, два двигуни з ресурсом 15 тис. мотогодин кожний та інтенсивністю експлуатації відповідно 3 тис. і 5 тис. мотогодин на рік будуть мати: перший – термін служби 5, другий – 3 роки.

Відповідно до вимог технічного об'єкта, які дають змогу конкретизувати етапи або характер їх експлуатації, можуть назначати середній ресурс до ремонту (середній ресурс від початку експлуатації об'єкта до його першого ремонту), середній ресурс між ремонтами (між суміжними ремонтами об'єкта), середній ресурс до списання (від початку експлуатації до його списання, обумовленого граничним станом) і призначений ресурс після досягнення якого, з міркувань безпеки або економічності, експлуатація припиняється незалежно від його стану.

Практика показує, що для більшості галузей назначений ресурс не досягає значень, оптимальних з економічної точки зору, крім того характеризується значним розсіюванням показників довговічності окремих деталей і вузлів. Це пояснюється різними умовами експлуатації, якістю обслуговування, ремонту і збереження.

Витрата металу на виробництво запасних частин для машин за їх нормативний термін служби, віднесений до конструктивної маси машини або агрегату, складає, %: для двигунів тракторів – 55-100, для шасі колісних тракторів – 5-28, для шасі гусеничних тракторів – 66-100 [1].

Збільшення ресурсу технічних об'єктів супроводжується економією засобів, матеріалів, енергії і трудових затрат. Так, збільшення ресурсу для певного парку машин в середньому на 10% еквівалентно приблизно 10% економії на виробництво нових машин або введенню відповідних нових виробничих потужностей [2].

Повна реалізація ресурсів машин неможлива без правильного планування та обґрунтованого призначення їх ремонту. Максимальний ефект ремонтних впливів досягається мінімальними матеріально-трудовими затратами з одночасним забезпеченням

нормативних показників надійності відремонтованих вузлів і агрегатів та машини в цілому.

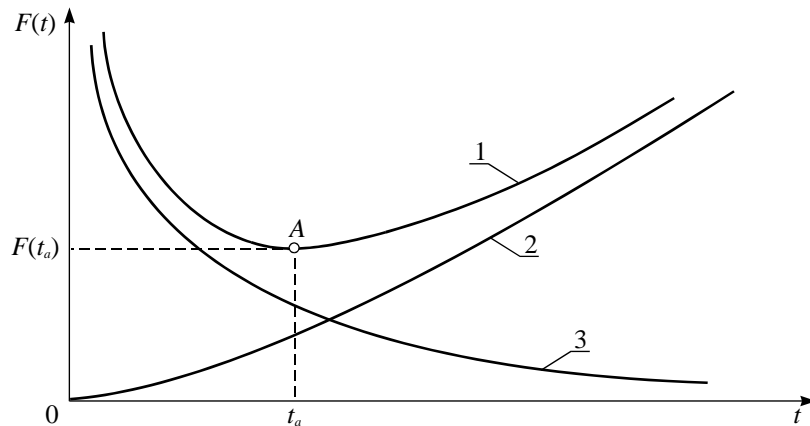
Найзагальнішим і найповнішим критерієм техніко-економічної оцінки відновлених деталей є сумарні питомі витрати на відновлення та експлуатацію деталей, які визначаються цільовою функцією [3]

$$F(t) = [B + V(t)] \cdot t = \frac{B}{t} + \frac{V(t)}{t} \rightarrow \min \quad (1)$$

де  $B$  – витрати на відновлення деталі;

$V(t)$  – експлуатаційні витрати.

Оптимальним є спосіб відновлення, при якому досягається найменше значення  $F(t)$ , а момент  $t_a$  відповідає оптимальному моменту відновлення деталі (рис. 1).



1 – сумарні затрати; 2 – витрати на експлуатацію; 3 – витрати на відновлення

Рисунок 1 – Визначення оптимального моменту відновлення елементів машин

Важливим показником є коефіцієнт відновлення ресурсу, який дорівнює відношенню середнього ресурсу капітально відремонтованих об'єктів  $t_e$  до їх середнього ресурсу першого капітального ремонту (нових об'єктів)  $t_n$  [3]:

$$K_e = \frac{t_e}{t_n} \cdot 100\%; \quad K_{ep} = \frac{T_{mp}}{T_{dp}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де  $T_{mp}$ ,  $T_{dp}$  – відповідно міжремонтний і доремонтний ресурси технічних об'єктів.

Таким чином, додатковий захід отримання економічного ефекту полягає у індивідуальному прогнозуванні ресурсу, що дозволить правильно спланувати режими експлуатації, відповідні профілактичні заходи і постачання запасними частинами.

Заходи з підвищення ресурсу направлені на застосування нових матеріалів, конструктивних рішень і технологічних процесів, відповідного рівня технічного обслуговування і ремонту.

### Список літератури

4. Решетов Д.Н. Надежность машин / Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. – М.: Высш. шк., 1988. – 238 с.
5. Бакалін Ю.І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: навч. пос. / Бакалін Ю.І. – [3-є вид., перероб. та доп.] – Харків: БУРУНіК, 2006. – 320 с.
6. Надійність сільськогосподарської техніки / [Гранкін С.Г., Малахов В.С., Черновол М.І., Черкун В.Ю.]; за ред. В.Ю. Черкуна. – К.: Урожай, 1998. – 208 с.

## **ОБГРУНТУВАННЯ РІЗНОГО ТИПУ ПЕРЕШКОД РОЗВИТКУ МІЖНАРОДНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ЇХ ЕКОНОМІЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ**

**В.В. Аулін**, *д-р. техн. наук, проф.*,  
**Д.В. Голуб**, *канд. техн. наук, доц.*,  
**А.В. Гриньків**, *канд. техн. наук*,  
**І.В. Сидоренко**, *студ.*,  
**І.П. Лукашук**, *студ.*,

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Результати досліджень проблем, що перешкоджають розвитку автомобільних перевезень дають можливість класифікувати їх по чотирьом групам:

- простій на прикордонних переходах, як наслідок слабкої інфраструктури і складних технологій огляду на кордоні, включаючи візові режими;
- різні фіскальні збори, найчастіше непомірні і невиправдані;
- розбіжність допустимих технічних характеристик автотранспортних засобів;
- корупція і зловживання владою.

Представництвом Всесвітньої організації автомобільного транспорту (IRU) спільно з асоціаціями міжнародних автомобільних перевізників виявлено і проаналізовано більше 80 різноманітних перешкод або виникаючих проблем. Їх можна розділити на такі групи: адміністративні; технічні; фіскальні; транскордонні. Вони по різному впливають на ринок автотранспортних послуг і міжнародні автомобільні сполучення, проте результатом їх дії завжди є обмеження доступу на ринок, підвищення вартості доставки вантажів, збільшення термінів доставки, зниження ефективності міжнародних автомобільних перевезень і, зрештою, зниження конкурентоспроможності зовнішньоторговельних товарів.

Сутність адміністративних перешкод в широкому розумінні полягає в обмеженні на законодавчому національному або міжнародному (в рамках двосторонніх угод) рівні доступу постачальників до надання послуг. Адміністративні перешкод найбільш широко поширені в міжнародній практиці. В їх усуненні і відображена сутність лібералізації доступу на транспортні ринки. Найяскравішим прикладом адміністративних перешкод є дозвільна система, квотування перевезень, різного роду процедури видачі дозволів перевізникам.

У вузькому розумінні слова адміністративні бар'єри включають різні обмеження, що вводяться владою і передбачають обов'язкове страхування, заборони або обмеження експлуатації окремих транспортних засобів, ускладнені процедури контролю.

Технічні перешкоди в широкому значенні пов'язані з інфраструктурними обмеженнями, у тому числі станом автодоріг, пропускною спроможністю прикордонних переходів. Угода про введення міжнародного сертифікату зважування вантажних транспортних засобів поліпшить ситуацію в цій області. Введення технічного бар'єру (перешкод) є відступом державою (тимчасове або зачіпає окремий регіон) від прийнятих на багатобічному рівні уніфікованих норм стандартів.

Під фіскальними перешкодами розуміють численні місцеві збори, у тому числі дорожні, а також, у ряді випадків, збори за транзитне перевезення. Фіскальні збори тісно пов'язані з адміністративними і технічними. Як правило, діючі адміністративні або технічні обмеження, припускають можливість доступу на ринок або здійснення перевезення при недотриманні необхідних стандартів на компенсаційній основі, тобто шляхом придбання додаткових дозволів, спецдозволів, оплати додаткового часу перебування водіїв або транспортних засобів і т.д.

Транскордонні перешкоди виявляються при міжнародних перевезеннях у формі проблем при перетині кордонів, ускладнюють процес перевезень пасажирів і вантажів між державами-учасниками і третіми країнами. Вони включають прості на прикордонних пунктах, необгрунтований митний огляд, примусовий конвой, обмеження на транзит і ін.

Часто перешкоди в області транспорту мають корені в національному законодавстві держав, зокрема в системі оподаткування і митного оформлення зовнішньоторговельних товарів.

Економічні збитки, що наносяться зазначеними перешкодами є значними. І хоча важко оцінити сумарний об'єм втрат, але ці дані дають реальне уявлення про масштаби економічних наслідків впливу перешкод на ринок міжнародних автомобільних перевезень, у тому числі транзитних.

### Список літератури

1. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Ступінь забезпечення надійності та якості пасажирських і вантажних автомобільних перевезень в Україні національними та міжнародними стандартами // Вісник інж. академії України. – 2016. – №3. – С.156-162.
2. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. – 370 с.
3. Аулін В.В., Біліченко В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Методологія підходів до дослідження шляхів і сукупності факторів забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем // Вісник машинобудування та транспорту. №2, 2017. С. 4-14.
4. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологія визначення основних експлуатаційних властивостей та якості функціонування транспортних і технічних систем // Вісник інж. академії України. – 2017. – №2. – С.110-115.
5. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічне обгрунтування дослідження та розв'язання проблеми надійності функціонування транспортних систем // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2017. – №10. – С. 29-36.
6. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортно-логістичній системі АПК // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – №62. – С.8-11.
7. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Критерії реалізації процесів забезпечення та підвищення надійності і ефективності функціонування транспортних систем // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – №62. – С.12-16.
8. Аулін В.В., Замота Т. Н., Гриньків А. В., Замота О. М., Чернай А. Е. Преимущества интеллектуальной стратегии технической эксплуатации с точки зрения экономической эффективности // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - 2018. - Вип. 192. - С. 29-40.
9. 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. - P.165-169.
10. Aulin V., Lyashuk O., Pavlenko O., Velykodnyi D. et al. Realization of the logistic approach in the international cargo delivery system / Communication – Scientific Letters of the University of Zilina. – 2019. Vol.21 (2), P. 5-14.
11. Aulin V., Hryniv, A., Lyashuk, O., Vovk, Y. et al. Increasing the functioning efficiency of the working warehouse of the "Uvk Ukraine" company transport and logistics center / Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 22 (2), pp. 3-14.

## ЗМІСТ

	Стор.
<b>1. ФІЗИЧНІ ТА МАТЕМАТИЧНІ ОСНОВИ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ МАШИН І ОБЛАДНАННЯ.....</b>	7
1. Квантово-механічна взаємодія в контактних трибосистемах. <i>О.В. Духа, Ю.П. Заспа, В.О. Дитинюк.....</i>	7
2. Кластерний аналіз сигналів акустичної емісії із зони тертя трибосистем. <i>В.А. Войтов, К.А. Фененко.....</i>	9
3. Influence of the cryolite module on the physical and chemical properties of the flux in the automatic welding of aluminum with a closed ARC. <i>V.Ya. Zusin, A.M. Zusin, S.V. Siminenko.....</i>	10
4. Новий погляд на фізичну природу процесів тертя. <i>В.В. Аулін, С.В. Лисенко, А.В. Гриньків, І.В. Жилова.....</i>	11
<b>2. ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСІВ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ ВУЗЛІВ ДЕТАЛЕЙ ТА РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН І ОБЛАДНАННЯ.....</b>	13
5. Аналіз математичних моделей процесу зношування в абразивній масі. <i>І.С. Крук, К.В. Борак.....</i>	13
6. Фізична модель для виявлення впливу масштабного фактору на трибологічні процеси в зоні контакту зразків та деталей. <i>В.В. Аулін, О.Л. Ляшук, А.Б. Гупка, С.В. Лисенко, А.В. Гриньків.....</i>	16
7. Механізм абразивного зношування робочих органів посівних комплексів. <i>В.М. Савченко, Т.Б. Веремій.....</i>	19
8. Theoretical representations about destruction of metal layers with variable composition and properties. <i>Peremitko. V., Kolovoyets I.....</i>	21
9. Процеси на межі розділу фаз. <i>С.В. Міненко, К.В. Сологуб.....</i>	22
10. Дослідження спрацювання шийок колінчастих валів двигуна Д-242 в залежності від неспіввідності корінних опор блокартера. <i>С.І Маркович, М.В. Ткаченко, П.В. Кожушко.....</i>	25
<b>3. ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ТА ВУЗЛІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТА ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ.....</b>	29
11. Зміцнення робочої поверхні гільз циліндрів лазерною обробкою. <i>О.Д. Мартиненко, Т.С. Скобло, О.В. Сайчук, О.О. Гончаренко, В.О. Мартиненко.....</i>	29
12. Вплив діаметра електродних порошкових дротів на абразивну зносостійкість електродугових покриттів. <i>М.М. Студент, М.Я. Головчук, В.М. Гвоздецький, С.І. Маркович, Г.П. Похмурська.....</i>	32
13. Некоторые теоретические аспекты адгезионной прочности покрытий. <i>Л.А. Лопата, В.Л. Кобзарь, В.М. Кульжский, А.В. Лопата, И.В. Смирнов, В.Я. Николайчук.....</i>	36
<b>4. ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН І ОБЛАДНАННЯ.....</b>	40
14. Улучшение характеристик газотермических покрытий химико-термической обработкой. <i>М.С. Агеев, М.А. Белоцерковский, Р.Г. Мнацаканов, О.В. Радько, А.В. Дудан.....</i>	40
15. Односторонне високошвидкісне зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей. <i>С.В. Щетинін, В.І Щетиніна, П.В. Никитенко, Елсаед Халед, О.В. Коваль.....</i>	44
16. Дослідження іонноазотованих алюмінієвих сплавів на ізотермічну та термоциклічну повзучість. <i>А. В. Рутковский, С.І. Маркович, С.С. Михайлюта.....</i>	45
17. Зварювання міді та сталі. <i>В.В. Чигарьов, В.С. Пікуз.....</i>	50

18. Розробка технології отримання $\beta$ -цирконієвого сплаву з оптимальним комплексом властивостей для дентальних імплантатів. <i>А.В. Овчинников, А.Е. Капустян, Р.Ю. Бєлий</i> .....	51
19. Високошвидкісне наплавлення на низькій погонній енергії робочих і опорних валків. <i>С.В. Щетинін, В.І Щетиніна, О.В. Коваль, П.В. Никитенко, Елсаєд Халед</i> .....	52
20. Відновлення автомобільних деталей наплавленням композиційних матеріалів. <i>М.В. Красота, Р.А. Осін, А.І. Боклаг</i> .....	53
21. Моделювання умов тепловкладення при наплавленні провідин стану для виготовлення куль. <i>О.Г. Білик, Е.О. Синдецький</i> .....	55
22. Електроди для ручного дугового зварювання з екзотермічним покриттям. <i>Д.О. Зареченський</i> .....	56
23. Магнітне дугтя при односторонньому високошвидкісне зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей. <i>С.В. Щетинін, В.І Щетиніна, П.В. Никитенко, Елсаєд Халед, О.В. Коваль</i> .....	57
24. Вплив відпуску на ударну в'язкість інструментальної високохромистої сталі загартованої на мартенситну і аустенітну структури. <i>Т.О. Акритова, М.І. Андрущенко, М.Ю. Осінов, О.Є. Капустян, Р.А. Куликовський</i> .....	58
25. Дослідження розподілення струму у зварювальній точці при контактному наварюванні. <i>М.В. Красота, Р.А. Осін</i> .....	61
26. Перспектива використання сварочно-наплавочних матеріалів отечественного виробництва в сучасних технологіях. <i>А.А. Гончаренко, А.Д. Мартыненко, С.О. Феценко, Н.В. Фирсова</i> .....	64
27. Вплив основних компонентів феромагнітної шихти для наплавлення легованих сталей на твердість наплавленого шару. <i>С.Ф. Посонський</i> .....	66
28. Підвищення функціональних властивостей зовнішніх циліндричних поверхонь деталей типу "вал" автомобільної техніки удосконаленням електромагнітним наплавленням. <i>С.Є. Катеринич, С.К. Солових, С.О. Магопець, В.О. Поворознюк</i> .....	69
29. Вирішення проблеми вибору ефективної зміцнюючої технології ремонту техніки. <i>В.А. Бантковський, В.В. Батьков, В.В. Гайдєнко</i> .....	71
30. Вплив діаметра електродних порошкових дротів на фізико-механічні характеристики електродугових покриттів <i>М.М. Студент, М.Я. Головчук, В.М. Гвоздецький, С.І. Маркович, Г.П. Похмурська</i> .....	73
31. Улучшение характеристик газотермических покрытий химико-термической обработкой. <i>М.С. Агеев, М.А. Белоцерковский, Р.Г. Мнацаканов, О.В. Радько, А.В. Дудан</i> .....	77
<b>5. КОНСТРУКТОРСЬКІ РІШЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВУЗЛІВ, ДЕТАЛЕЙ ТА РОБОЧИХ ОРГАНІВ</b> .....	81
32. Вплив хімічного складу чавуну на усадочні дефекти у виливках та їх ресурс. <i>О.В. Кузик, А. Атамась</i> .....	81
33. Формування надійності машин і обладнання. <i>А.В. Новицький, О.О. Котрєчко</i> .....	83
34. Розробка системи зниження нерівномірності роботи гальмівних систем автомобілів. <i>В.В. Аулін, А.В. Гриньків, В.М. Уціповський</i> .....	85
35. Теоретичне обґрунтування СВС-процесу отримання модифікуючого композиційного матеріалу для електродугового наплавлення деталей. <i>А.С. Лузан, С.О. Лузан</i> .....	87
36. Рафінуєчно-легувальні дії на поверхневий шар матеріалу деталей систем і агрегатів транспортних засобів лазерного потоку енергії. <i>В.В. Аулін, С.В. Лисенко, І.В. Жилова, О.В. Вербицький</i> .....	91
37. Модифікування структури литого металу інструмента із стружки Р18. <i>С.П. Бережний, О.Є. Капустян, Р.А. Куликовський, Р.Ю. Фетісов</i> .....	92



38. Підвищення енергоефективності екскаваторних ковшів нанесенням антиадгезійних покриттів. <i>А.А. Тухий, О.К. Аржанцев</i> .....	94
39. Application of polymer composites in the construction of agricultural machines for soil treatment. <i>O.D. Derkach, D.O. Makarenko, Krutous D.I., V.S. Kachanov, B. Piskin</i> .....	96
40. Впровадження вертикального обробітку ґрунту (vertical tillage). <i>В.М. Савченко, В.О. Якубівський</i> .....	101
41. Розвиток засобів для підвищення надійності орієнтації просапних знарядь вздовж рядків при вирощуванні цукрових буряків. <i>О.Ю. Боровик, І.В. Біловод, В.І. Ветохін, В.В. Амосов</i> .....	103
42. Підвищення ефективності обробки композиційних матеріалів застосуванням гібридного інструменту. <i>О.Ф. Саленко, І.В. Шепеленко, Будар Мохамед Р.Ф</i> .....	107
43. Підвищення якості та надійності виконання процесу дозування висіву насіння технічних культур. <i>П.С. Попик</i> .....	110
44. Development of a fuel pump control device for a diesel engine <i>M. Moroz, S. Korol, V. Zahorianskyi, O. Moroz, V. Khorolskyi, K. Korol</i> .....	111
45. Обґрунтування параметрів та режимів роботи компостоприготувальної машини. <i>В.Б. Онищенко, О.С. Де'вятко, Є.О. Потеряйко</i> .....	114
46. Дослідження зносостійкості конструкційних матеріалів деталей автомобільної промисловості. <i>О.П. Бабак, С.Ф. Посонський, А.А. Вичавка</i> .....	116
47. Умовля експлуатації, причини и види износа валов двигателей внутреннего сгорания и повышение их износостойкости и срока службы. <i>М.С. Агеев, М.Ф. Ковалев, М.В. Головащук, В.И. Калиниченко, В.М. Лопата</i> .....	119
48. Підвищення довговічності втулок шестеренного насоса. <i>Ю.В. Кулешков, М.В. Красота, Т.В. Руденко, В.С. Бригінець</i> .....	125
<b>6. ЕКСПЛУАТАЦІЙНА НАДІЙНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТА ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ</b> .....	129
49. Теоретичне обґрунтування якісного і кількісного приросту надійності електронних систем транспортних машин. <i>В.В. Аулін, А.В. Гриньків</i> .....	129
50. Дослідження робочого процесу шестициліндрового тракторного дизельного двигуна. <i>Г. Кухаренко, Д. Капський, М.Клессо, А. Предко, Д. Телюк, Ю. Вовк, О. Ляшук</i> .....	132
51. Особливості конструкції ущільнень головок блоків циліндрів двигунів. <i>А.В. Новицький, З.В. Ружило, Д.О. Сивогорло</i> .....	135
52. Забруднення навколишнього середовища дизельними двигунами. <i>В.Л. Куликівський, О.С. Романовський</i> .....	136
53. Застосування даних дефектоскопічного контролю відповідальних деталей тракторів для оцінення ризику їх подальшої експлуатації. <i>О.В.Войналович</i> .....	138
54. Динамічні навантаження в пружній системі машини. <i>М.В. Голотюк, В.О. Дорошук, П. Ружаньські</i> .....	140
55. Аналіз технічних засобів для підготовки ґрунту під сівбу соняшнику. <i>В.М. Мартишко, П.В. Кухарчук</i> .....	141
56. Методи діагностування гальмівних систем автомобілів з пневматичним приводом. <i>М.В. Красота, С.Ю. Попов</i> .....	142
57. Резонансні коливання процесу транспортування зернової суміші гвинтовим шнеком із сепарацією. <i>В.З. Гудь</i> .....	144
58. Обґрунтування режимів експлуатації полімерного композиційного матеріалу на основі фенілону С1. <i>О.С. Кабат, О.Д. Деркач, С.В. Зотов</i> .....	147
59. Надійність та ресурс експлуатації елементів енергетичного обладнання України. <i>А.В. Глушко</i> .....	150
60. Використання імітаційного моделювання при дослідженні методів діагностики обмоток статора асинхронних двигунів транспортних засобів. <i>С.О. Гулак, О.В. Губаревич</i> .....	151

61. Diesel engine modelling. <i>V.M. Savchenko, I.I. Klimchuk</i> .....	154
62. Дослідження впливу неспіввідповідності корінних опор блоку на потужність механічних втрат двигуна. <i>С. І Маркович, Р.А. Осін, С.С. Колісник</i> .....	156
63. Динаміка шнекового багатофункціонального транспортера. <i>О.Л. Ляшук, О.П. Цьонь, Ю.Я. Вовк, О.П. Маруніч</i> .....	159
64. Процес зміни стану оливи при припрацюванні спряжень деталей та обкатці двигунів транспортних машин. <i>В.В. Аулін, А.В. Гриньків, С.В. Лисенко, А.Є. Чернай, А.П. Лукашук</i> .....	162
65. Контроль якості робочого шару хромонікелевих прокатних валків за коерцитивної силою-спосіб підвищення їх ресурсу при експлуатації. <i>А.К. Автухов, О.С. Кур'янов</i> .....	166
66. Кіберфізичний підхід в дослідження стану технічних систем. <i>В.В. Аулін, А.В. Гриньків</i> .....	168
67. Дослідження характеру, напрямків та закономірностей зміни геометричних розмірів та співвідповідності корінних опор блоккартерів двигунів. <i>С.І Маркович, В.О. Дубовик, О.Ю. Жулай</i> .....	170
68. Дослідження надійності та потужності дизельного двигуна на біодизельному паливі з водорості. <i>С.І. Криштопа, Л.І. Криштопа, І.М. Микитвій, Р. Шмігінс</i> .....	175
69. Оптимальне керування режимами функціонування трибоспрямиваннями деталей систем і агрегатів транспортних машин. <i>В.В. Аулін, С.В. Лисенко, А.В. Гриньків, А.Є. Чернай, А.П. Лукашук</i> .....	178
70. Створення експериментальної установки для дослідження надійності дизельних двигунів, конвертованих на газове паливо. <i>С.І. Криштопа, М.М. Гнип, Ф.В. Козак, К. Гурскі</i> .....	180
71. Вплив силових параметрів керованої підвіски на стійкість руху КТЗ вздовж криволінійної ділянки. <i>Б.І. Сокіл, О.Л. Ляшук, Р.В. Хорошун, М.Б. Сокіл</i> .....	183
72. Інтегрований метод оцінки екологічної направленості на витрату палива міським автобусом з системою нейтралізації відпрацьованих газів. <i>С.П. Чуйко, О.П. Кравченко</i> .....	187
<b>7. ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ТА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАЛЕЖНОГО РІВНЯ ЯКОСТІ ПАСАЖИРСЬКИХ ТА ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ</b> .....	190
73. Регресійний підхід визначення раціональної схеми доставки вантажних відправлень. <i>В.В. Аулін, А.В. Гриньків, А.О. Головатий, В.О. Дьяченко, Є.С. Галінський, Н.К. Хорольський</i> .....	190
74. Щодо задоволеності пасажирів організацією міських пасажирських перевезень. <i>К.Є. Вакуленко, Н.А. Соколова, А.М. Воронко</i> .....	194
75. Визначення раціональної схеми доставки вантажних відправлень на основі експериментальних досліджень. <i>В.В. Аулін, А.В. Гриньків, Д.В. Голуб, С.В. Лисенко, А.О. Головатий</i> .....	197
76. Метод визначення оптимального інтервалу руху автобусів на маршруті. <i>Є.І. Тхорук, І.С. Канарейкіна</i> .....	205
77. Інтелектуальні транспортні системи як результат впровадження інноваційних ефективних технологій. <i>В.В. Аулін, А.В. Гриньків, А.О. Головатий</i> .....	207
78. Підвищення ефективності перевезення небезпечних вантажів автомобільним транспортом у міжміському сполученні шляхом оцінки ризику незбереження. <i>К.В. Сергієнко, Т.В. Волкова</i> .....	208
79. Встановлення параметрів завантаженості зупиночних пунктів громадського пасажирського транспорту. <i>М.Є. Кристончук, Н.О. Бучак, О.Д. Почужевський</i> .....	211
80. Проблеми організації міжнародних автомобільних перевезень в Україні. <i>С.Ф. Посонський, О.П. Бабак</i> .....	214

81. Формування транспортних та пасажирських потоків зовнішнього транспорту у містах. <i>С.М. Пашкевич, О.В. Денисенко, А.А. Левкович, Piotr Róžański</i> .....	217
82. Підвищення ефективності раціональної роботи міського пасажирського транспорту <i>Д.О. Великодний, С.В. Філатов, І.О. Архипов, В.М. Дудко, Д.Ю. Бровір</i> .....	221
83. Параметри функціонування пасажирської транспортної системи. <i>І.О. Хітров, М.Є. Кристопчук, С.С. Чехович</i> .....	223
84. Інтелектуалізація як основа підвищення надійності транспортних систем. <i>О.О. Кривуценко, Н.Ю. Шраменко</i> .....	225
85. До обґрунтування вибору рухомого складу в системі BRT. <i>В.П. Сахно, В.М. Поляков, С.М. Шарай</i> ..	227
86. Інформаційна модель забезпечення надійності та ефективності транспортних процесів пасажирських перевезень. <i>В.В. Аулін, Д.В. Голуб, В.С. Дібрівний, О.М. Талалаєв, В.В. Шерстюков, Б.М. Ніколенко</i> .....	230
<b>8. ЛОГІСТИКА ПІДПРИЄМСТВ У СФЕРІ ВИРОБНИЦТВА ТА ОБІГУ</b> .....	233
87. Сучасний стан питання по формуванню раціональної схеми обслуговування замовлень на доставку вантажів транспортно-експедиторським підприємством. <i>О.В. Павленко</i> .....	233
88. Необхідність розроблення нової системи організації та управління логістичними потоками. <i>В.В. Аулін, А.В. Гриньків, А.О. Головатий, Р.О. Кернус</i> .....	236
89. Підвищення якості обслуговування замовників дрібних партій вантажу в міських умовах. <i>В.В. Севідова, О.П. Калініченко</i> .....	238
90. Моделювання складу групи вантажних автомобілів для оптимального обслуговування свинокомплексу. <i>М. М. Мороз, В. Г. Загорянський, С. О. Король, В. Л. Хорольський, І. О. Кузев</i> .....	241
91. Формування критерію по визначенню раціональної організації доставки агропродукції з України в Нідерланди. <i>К.О. Лашина, О.В. Павленко</i> .....	243
92. До питання встановлення параметрів функціонування маршрутів пасажирського сполучення. <i>М.Є. Кристопчук, Т.В. Бурчення</i> .....	246
93. Дослідження логістичних процесів при доставці дрібнопартійних вантажів на прикладі ТОВ "ПЕСТО". <i>Л.А. Савченко, І.І. Махмудов</i> .....	250
94. Сучасна логістична система доставки вантажних відправлень у міжнародному сполученні. <i>В.В. Аулін, С.В. Лисенко, А.О. Головатий, Я.В. Турса, Н.К. Хорольський</i> ...	256
95. Сучасні підходи до оцінки ефективності транспортної діяльності в ланцюгах постачань. <i>О.М. Загурський, С. М. Загурська</i> .....	258
96. Інформаційне забезпечення закономірностей генерації транспортних потоків у містах. <i>Ю.О. Давідіч, І.В. Чумаченко, Є.І. Куш, А.С. Галкін, Н.В. Давідіч</i> .....	260
97. Транспортно-експедиторські послуги при здійсненні збірних вантажних перевезень. <i>В.В. Аулін, А.О. Головатий, В.О. Дьяченко, М.Ю. Петровський</i> .....	262
<b>9. ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВАМИ</b> .....	264
98. Економічне значення подовження ресурсу техніки. <i>І.О. Хітров</i> .....	264
99. Обґрунтування різного типу перешкод розвитку міжнародних автомобільних перевезень на їх економічну ефективність. <i>В.В. Аулін, Д.В. Голуб, А.В. Гриньків, І.В. Сидоренко, І.П. Лукашук</i> .....	266

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ  
МАШИН І ОБЛАДНАННЯ.  
INCREASE OF MACHINE AND  
EQUIPMENT RELIABILITY**

**Міжнародна науково-практична конференція**

***МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ***

**15-17 квітня 2020 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 15.04.2020 р. Формат 60x80/16.  
Ум друк. арк. – 12,4. Обл.-вид. – 11,7.  
Наклад 100 прим. Зам № 21/2020.

---

РВЛ ЦНТУ. 25006, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8  
Тел. 390-441, 559-245.