

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр"

на тему:

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО ВІДНОВЛЕННЯ
РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЛЯ ПРОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ
ГАЛЬМІВНИХ МЕХАНІЗМІВ АВТОМОБІЛІВ**

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-2-24
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____Артем Валерійович Мирошник

Керівник: _____Олександр Васильович Толстенко

Рецензент: _____

Дніпро 2025

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра: Інженірингу технічних систем

Освітній ступінь: "Магістр"

Спеціальність: 208 "Агроінженерія"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІІС

(назва кафедри)

К.Т.Н. ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

Дудін В.Ю.

(прізвище, ініціали)

" " " " 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Мирошника Артема Валерійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Ефективність електроконтактного відновлення робочих поверхонь для продовження ресурсу гальмівних механізмів автомобілів

керівник роботи к.т.н. доц., Толстенко О.В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 24.10.2025 року
№ 3182

2. Строк подання студентом роботи до 1.12.2025

3. Вихідні дані до роботи Існуючі методи підвищення довговічності гальмівних барабанів. Аналіз конструкцій, матеріалів та зносів гальмівних барабанів. Показники стану охорони праці в базовому господарстві. Техніко-економічні показники роботи базового підприємства

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання та задачі досліджень. 2. Теоретичне обґрунтування можливості відновлення гальмівних барабанів електроконтактним способом. 3. Результати експериментальних досліджень. 4. Охорона праці та безпека життєдіяльності. 5. Техніко-економічні показники роботи. Загальні висновки та пропозиції. Список літератури. Додатки

РЕФЕРАТ

У даній дипломній роботі проведено дослідження довговічності гальмівних механізмів автомобілів та розглянуто шляхи її підвищення шляхом застосування технології електроконтактного відновлення робочих поверхонь.

У дипломній роботі проаналізовано сучасні методи підвищення довговічності деталей гальмівних механізмів і обґрунтовано вибір найбільш ефективного з них.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження підтвердили доцільність обраного способу відновлення.

Крім того, розроблено комплекс заходів з охорони праці та виконано техніко-економічну оцінку запропонованих проектних рішень.

Дипломна робота складається з пояснювальної записки обсягом 84 аркушів та презентаційного матеріалу, що містить 13 слайдів.

Ключові слова - ГАЛЬМО, ГАЛЬМІВНИЙ БАРАБАН, ГАЛЬМІВНА КОЛОДКА, ВІДНОВЛЕННЯ, ДОВГОВІЧНІСТЬ, ТРУДОМІСТКІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. РОЗГЛЯД ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ	9
1.1. Структурно-функціональна характеристика об'єкта дослідження	9
1.2. Огляд способів відновлення й характеристика металопокриттів при відновленні чавунних деталей	16
1.2.1. Відновлення чавунних деталей.....	16
1.2.2. Способи відновлення деталей.....	18
1.3. Загальні висновки та задачі роботи	30
2. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО СПОСОБУ ВІДНОВЛЕННЯ ГАЛЬМІВНИХ БАРАБАНІВ	32
2.1. Оцінка надійності гальмівних систем автомобілів та їх значення для безпеки експлуатації	32
2.2. Теоретичні передумови обґрунтування необхідності відновлення гальмових барабанів.....	38
2.3. Технологічне обґрунтування процесу відновлення гальмівного барабана	40
2.3.1. Опис конструкції деталі та її дефектів	40
2.3.2 Технологічний процес відновлення.....	43
2.3.3. Вибір раціонального способу відновлення деталі	43
2.3.4. Визначення послідовності технологічних операцій	47
2.3.5. Обґрунтування режимів відновлювального процесу і нормування часу виконання операцій.....	48
2.4. Висновок.....	52

3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ	53
3.1. Методика розрахунку і експериментального визначення гальмівного моменту та інтенсивності зносу наплавленого шару	53
3.2. Установа для металізації та результати експериментальних досліджень наплавленого шару	58
3.2.1. Експериментальна установка.....	58
3.2.2. Дослідження режимів відновлення	60
3.2.3. Дослідження зносу зразків.....	62
3.3. Висновок.....	64
4. ОРГАНІЗАЦІЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ.....	65
4.1. Вимоги безпеки при проведенні експериментальних досліджень колодкових гальм	65
4.2. Шкідливі та небезпечні фактори при відновленні гальмівних барабанів наплавленням.....	67
4.3. Заходи по уникненню нещасних випадків під час відновлення гальмівних барабанів.....	70
4.4. Висновок.....	71
5. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ	73
ЛІТЕРАТУРА	79
ДОДАТКИ.....	83

ВСТУП

Рівень справності та конструктивна побудова гальмівної системи безпосередньо визначають ступінь безпеки будь-якої транспортної машини — чи це легковий автомобіль, вантажівка, трактор або зернозбиральний комбайн [1]. Найбільшу потенційну небезпеку становлять саме автомобілі, адже вони рухаються з відносно високими швидкостями, і відмова гальмівної системи може призвести до тяжких наслідків. За результатами досліджень Ю.В. Баженова, близько 40 % дорожньо-транспортних пригод пов'язані з несправністю гальм [2, 3].

Сучасні транспортні засоби оснащуються переважно двома типами гальм — дисковими та барабанними [4]. У більшості бюджетних легкових автомобілів застосовується комбінована схема: передні колеса обладнуються дисковими гальмами, а задні — барабанними. Такий підхід зумовлений прагненням виробників зменшити собівартість автомобіля, оскільки встановлення дискових механізмів на всі осі підвищує його ціну. У вантажних автомобілях, виготовлених на вітчизняних підприємствах, зазвичай використовуються барабанні гальма. У закордонних вантажних машинах, залежно від модифікації та року випуску, можуть застосовуватися як барабанні, так і дискові системи, однак останні поступово стають домінуючими.

Оцінюючи показники надійності гальмівних систем автомобілів, можна дійти висновку, що дискові гальма забезпечують вищий рівень безпеки під час експлуатації, проте саме на них припадає близько 60 % усіх випадків відмов. Основними причинами цього є інтенсивне спрацювання гальмівних колодок і дисків (рис. 1), що, своєю чергою, обмежує їхній ресурс у порівнянні з барабанними системами [2].

На багатьох вантажних автомобілях (особливо самоскидах) переважно застосовуються барабанні гальма. За результатами експлуатаційних спостережень встановлено, що найбільший знос припадає на гальмівні накладки та барабани середнього й заднього мостів. Для автомобіля КрАЗ середнє

напрацювання до відмови задньомостового барабанного гальма становить близько 50–60 тис. км, тоді як знос гальм середнього мосту перевищує цей показник на 7–12 %.

Отже, забезпечення високої надійності гальмівних систем є актуальним завданням, що потребує подальшого вивчення та вдосконалення конструкцій.

Апробація роботи. Мирошник А.В. (2025). *Дослідження довговічності та надійності барабанних гальм вантажних автомобілів за енергетичним критерієм руйнування.* У Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Інжиніринг технологій і технічних систем агропромислового комплексу» (21 листопада 2025 р., Дніпро) (с. 39–42). ДДАЕУ.

1. РОЗГЛЯД ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Структурно-функціональна характеристика об'єкта дослідження

Об'єктом дослідження виступає гальмівна система автомобіля, яка слугує для уповільнення руху транспортного засобу, його повної зупинки та фіксації у статичному положенні. Дана система забезпечує необхідний рівень безпеки під час руху та сприяє стабільному функціонуванню автомобіля в процесі експлуатації.

До складу гальмівної системи входять такі основні елементи: гальмівний привід, головний гальмівний циліндр, робочі циліндри, колодки, диски або барабани, педальний механізм, гідравлічні або пневматичні магістралі та елементи керування. Взаємодія цих компонентів забезпечує передачу зусилля від водія до виконавчих механізмів і перетворення кінетичної енергії руху автомобіля у теплову енергію тертя.

Залежно від типу транспортного засобу, його маси та призначення застосовуються різні конструкції гальм. У легкових автомобілях переважають комбіновані схеми — з дисковими гальмами на передній осі та барабанними на задній. Така конструкція дозволяє досягти балансу між ефективністю гальмування та економічністю. Для вантажних автомобілів характерним є використання переважно барабанних гальмівних механізмів, які відзначаються вищою довговічністю та стійкістю до забруднень у важких умовах експлуатації.

Найбільш відповідальними елементами системи є фрикційні пари — диск (або барабан) і гальмівна колодка. Саме в цих зонах виникають основні теплові та механічні навантаження, що призводять до зносу матеріалів і погіршення ефективності гальмування. Від їхнього стану залежить не лише довговічність гальмівної системи, а й безпека руху загалом.

У даній роботі досліджується технічний стан та закономірності зношування гальмівних механізмів автомобілів різних типів, із метою визначення

чинників, що впливають на ефективність, стабільність та надійність гальмівних систем у процесі експлуатації.

У сучасних автомобілях з метою підвищення безпеки руху застосовується кілька гальмівних систем, які за своїм функціональним призначенням класифікуються, як показано на рис. 1.1.

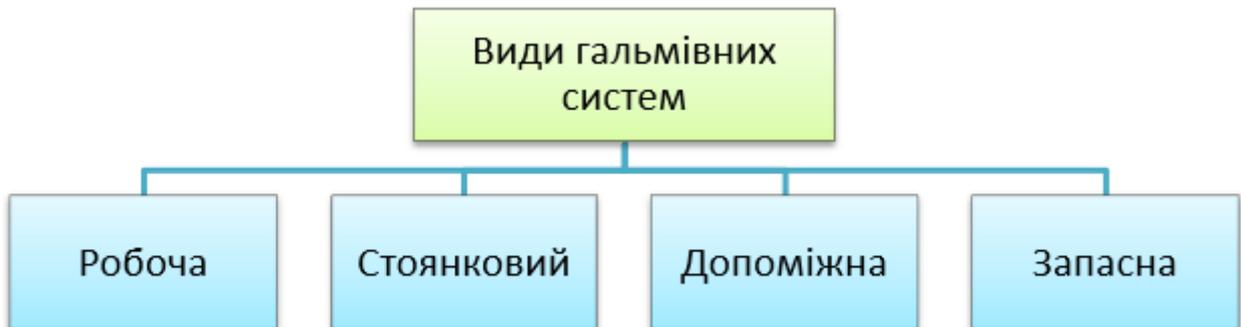


Рис. 1.1. Систематизація гальмівних пристроїв автомобіля

Робоча гальмівна система призначена для зниження швидкості руху автомобіля або його повної зупинки під час експлуатації в усіх режимах руху. Її активація здійснюється за рахунок зусилля, яке водій передає на педаль ногого гальма. Ця система є основною серед усіх типів гальмівних систем і забезпечує найвищу ефективність дії під час уповільнення або зупинки транспортного засобу.

Запасна гальмівна система виконує функцію резервної — вона забезпечує можливість зниження швидкості або зупинки автомобіля у разі виходу з ладу основної (робочої) системи. У більшості сучасних автомобілів її функції часто реалізуються через дублювання контурів робочої гальмівної системи або автоматичне переключення на інший контур при аварійній ситуації.

Стоянкова гальмівна система (ручне гальмо) використовується для утримання автомобіля у нерухомому стані на стоянці або під час зупинки на схилах. Її привід, як правило, є механічним і діє незалежно від робочої системи. Призначення стоянкового гальма полягає у запобіганні самовільному руху транспортного засобу після вимкнення двигуна або при тривалій стоянці.

Допоміжна гальмівна система призначена для підтримання сталої швидкості транспортного засобу на тривалих спусках, зменшення навантаження на основні гальмівні механізми та підвищення загальної ефективності гальмування. Вона може бути виконана у вигляді моторного або гальма-уповільнювача (ретардера) і діє без участі водія або з його мінімальним втручанням.

Конструктивно гальмівна система транспортного засобу включає два основні елементи — гальмівні механізми, які створюють силу тертя, та привід, що передає керуюче зусилля від водія до виконавчих пристроїв.

Гальмівні механізми призначені для створення сили тертя, яка перешкоджає обертанню коліс під час гальмування. У процесі їхньої роботи між шиною колеса та дорожнім покриттям виникає гальмівна сила, що забезпечує уповільнення або повну зупинку транспортного засобу. Конструктивно гальмівні механізми розташовуються безпосередньо на передніх і задніх колесах автомобіля, що дає змогу рівномірно розподіляти гальмівне зусилля.

Гальмівний привід забезпечує передавання зусилля від педалі гальма, на яку діє водій, до гальмівних механізмів. До його складу входять головний гальмівний циліндр із педальним механізмом, гідровакуумний підсилювач, а також система трубопроводів, заповнених робочою рідиною. Завдяки цьому забезпечується узгоджена робота всіх елементів гальмівної системи та ефективне гальмування автомобіля в різних умовах руху.

Принцип роботи гальмівної системи полягає в такому. Під час натискання на педаль гальма зусилля від ноги водія передається на поршень головного гальмівного циліндра, який створює тиск у гідравлічній системі. Робоча рідина, що практично не піддається стисканню, переміщується по трубопроводах до колісних гальмівних механізмів, передаючи тиск на їхні виконавчі елементи. У результаті виникає сила, яка створює опір обертанню коліс, і транспортний засіб уповільнює рух або зупиняється.

Після відпускання педалі гальма тиск у системі знижується, рідина повертається до головного циліндра, і гальмівні колодки відходять від дисків або барабанів — колеса знову починають вільно обертатися.

Для зменшення фізичного навантаження на водія та підвищення ефективності гальмування система обладнується гідровакуумним підсилювачем, який створює додаткове зусилля на головному циліндрі, полегшуючи натискання на педаль і забезпечуючи стабільну роботу гальм навіть при незначному впливі на органи керування.

Для підвищення надійності та безвідмовності гальмівних систем автомобілів у конструкцію привода вводяться спеціальні елементи, що забезпечують збереження працездатності системи навіть у разі часткової відмови її окремих вузлів.

Так, у конструкції автомобіля ГАЗ-24 «Волга» передбачено роздільник гальмівного привода, який у момент виникнення несправності автоматично вимикає пошкоджену ділянку системи, дозволяючи продовжити гальмування справною частиною. Це дає змогу уникнути повної втрати ефективності гальмування при пошкодженні одного з контурів.

На вантажних автомобілях марок КрАЗ та КамАЗ застосовується механізм автоматичного стопоріння гальм причепа у разі його аварійного від'єднання від тягача. Такий пристрій забезпечує негайне спрацювання гальмівних механізмів причепа, запобігаючи його неконтрольованому руху.

Робоча гальмівна система більшості сучасних автомобілів має роздільне гальмування осей, тобто виконується у вигляді двоконтурної системи. Кожен контур при цьому обслуговує свою вісь і водночас може виконувати функцію запасної гальмівної системи у разі виходу з ладу іншого. У типовій схемі (рис. 1.2) для двовісного автомобіля гальмівна система складається з гальмівних механізмів передніх (1) і задніх (9) коліс, а також з привода, що забезпечує їх одночасну або часткову дію.

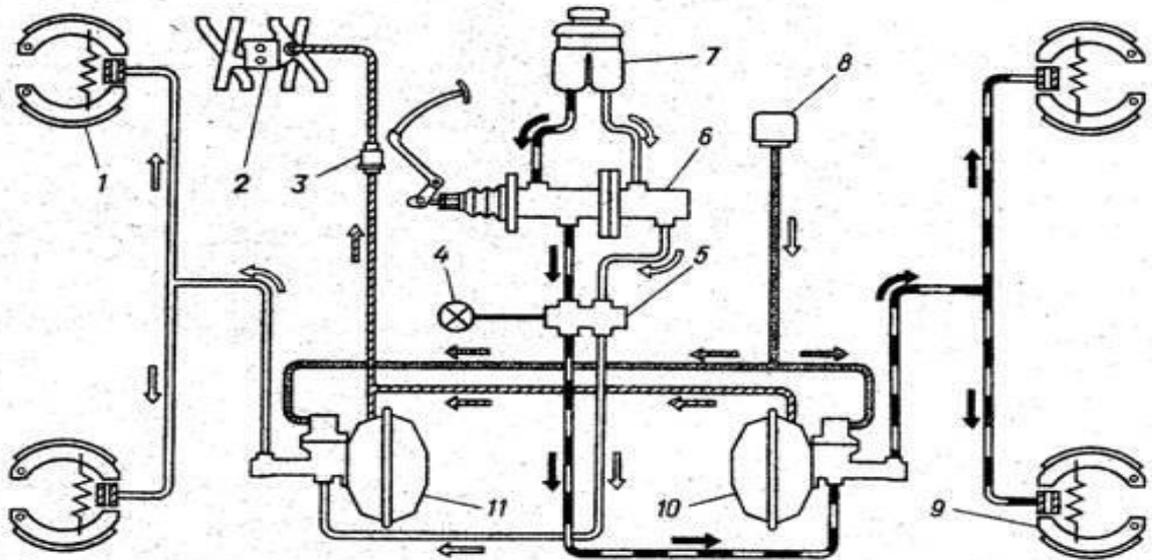


Рис. 1.2. Конструктивна будова привода гальмівної системи

1,9 – відповідно передній і задній гальмівні механізми; 2 – впускна труба двигуна; 3 – запірний клапан; 4 – лампа сигналізатора; 5 – сигналізатор несправності гідроприводу; 6 – головний циліндр; 7 – додатковий бачок; 8 – повітряний фільтр; 10, 11 – відповідно гідровакуумні підсилювачі задніх і передніх гальм

Гальмівні механізми передніх, середніх і задніх коліс мають однакову конструктивну схему та принцип дії, проте відрізняються розмірами окремих елементів, що зумовлено різницею навантажень на осі автомобіля.

Так, на автомобілі ГАЗ-53 гальмівні механізми передніх коліс оснащені робочими циліндрами з діаметром поршня 35 мм і гальмівними колодками шириною 80 мм. У механізмах задніх коліс встановлені циліндри з поршнями діаметром 38 мм та колодки шириною 100 мм, що забезпечує підвищену гальмівну силу на задній осі з урахуванням її більшого навантаження.

Конструкція гальмівного механізму колеса (рис. 1.3) передбачає наявність однієї заклинюючої та однієї віджимної колодки. Основними елементами є: гальмівний щит (6), колісний циліндр (2) з пилозахисним екраном (3), а також система регулювання положення колодок (1). Коригування їхнього розташування здійснюється за допомогою латунних ексцентриків (10) опорних

пальців (9) та регулювальних ексцентриків (16), що дозволяє забезпечити правильний контакт накладок із барабаном і рівномірне спрацювання фрикційних поверхонь.

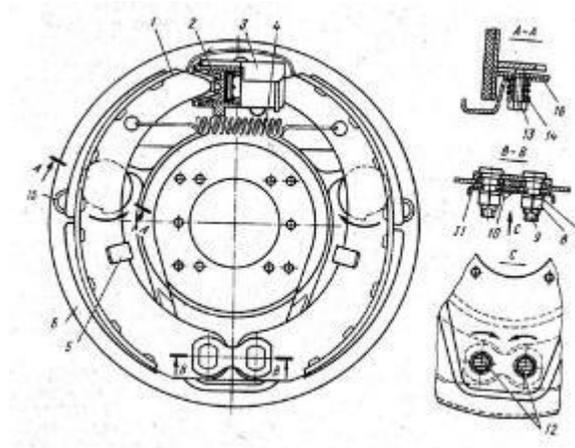


Рисунок 1.3. Гальмівний механізм колеса.

1 — гальмівна колодка; 2 — колісний циліндр; 3 — екран колісного циліндра; 4 — зворотна пружина колодок; 5 — направляюча скоба колодок; 6 — гальмівний щит; 7 — пружинна шайба; 8 — гайка; 9 — стопорний палець гальмівної колодки; 10 — ексцентрики опорних пальців; 11 — пластина опорних пальців; 12 — мітки; 13 — твинт регулювального ексцентрика; 14 — шайба; 15 — оглядовий люк; 16 — регулювальний ексцентрик. ¶

Гальмівні колодки утримуються в робочому положенні за допомогою стяжної пружини (4), яка притискає їх до регулювальних ексцентриків. Конструкція механізму забезпечує незалежне центрування кожної колодки, що дозволяє досягти рівномірного притискання до поверхні барабана та стабільної ефективності гальмування.

На зовнішньому торці кожного опорного пальця нанесено контрольну мітку (12) у вигляді виїмки глибиною близько 2 мм, яка вказує положення найбільшого ексцентриситету відповідного ексцентрика. Під час правильного встановлення колодок ці мітки повинні бути повернуті одна до одної, що відповідає положенню, зображеному на рисунку 2. Допустиме відхилення кута повороту міток від зазначеного положення не повинно перевищувати 40° .

Рисунок 1.4 ілюструє будову та принцип дії гальмівної системи тривісного автомобіля КрАЗ.

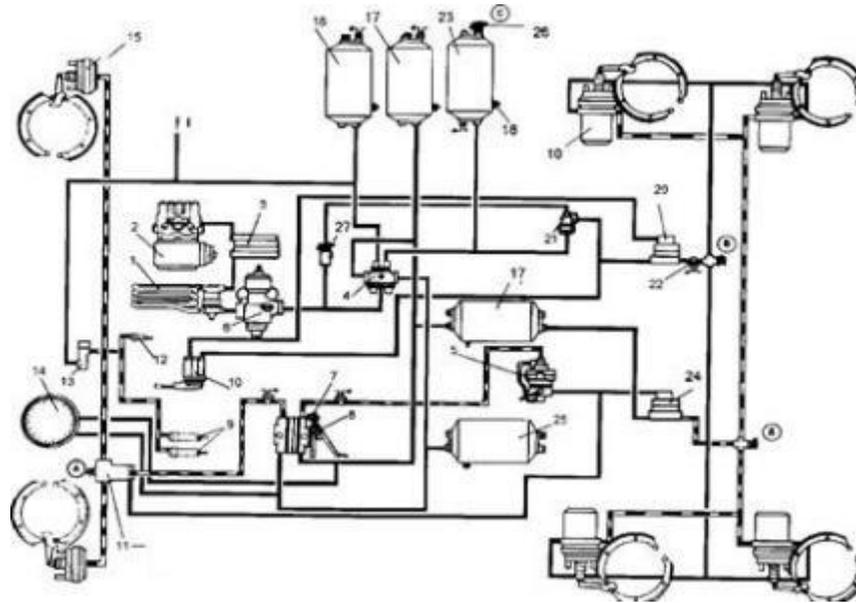


Рис 1.4. Будова та принцип дії пневматичного привода гальм автомобілів КрАЗ-256 і його модифікацій:

1 - водовідокремлювач; 2 - компресор; 3 - охолоджувач; 4 - чотириконтурний захисний клапан; 5 - автоматичний регулятор гальмових сил; 6 - регулятор тиску; 7 - вимикач сигналу гальмування; 8 - гальмовий кран; 9 - пневмоциліндри привода заслонки механізму допоміжної гальмової системи; 10 - кран керування стоянковою гальмовою системою; 11 - пропорційний клапан; 12 - пневмоциліндр привода важеля останова двигуна; 13 - кран керування допоміжною гальмовою системою; 14 - манометр; 15 - гальмові камери типу 30/30; 16 - ресивер контуру 10; 17 - ресивери контуру 11; 18 - кран зливу конденсату; 19 - гальмові камери типу 20/20; 20, 24 - прискорювальні клапани; 21 - двухмагістральний пропускний клапан; 26 - вимикач контрольної лампи стоянкової гальмової системи; 23 - ресивер контуру III; 25 - ресивер контуру I; 26 - вимикач контрольної лампи падіння тиску повітря в контурі III; 27 - кран екстреного розгальмовування

1.2. Огляд способів відновленні й характеристика металопокриттів при відновленні чавунних деталей

1.2.1. Відновлення чавунних деталей

Відновлення зношених деталей в усі періоди розвитку виробництва займало важливе місце в забезпеченні працездатності машинно-тракторного парку (МТП). [5, 6] Значення відновлення деталей велике не тільки для збереження екології, ресурсо- і енергозбереження, але насамперед для скорочення простоїв МТП у напружені періоди виконання сільськогосподарських робіт, що суттєво знижує втрати й недобори сільгосппродукції, збільшує врожайність у рослинництві й продуктивність у тваринництві.

У багатьох роботах ведучих учених [6, 7] підкреслюється, що в цей час одним з головних складових технічного сервісу є відновлення деталей, тому що витрати на запасні частини становлять при ремонті машин 50...70%, а витрати на відновлення зношених ремонтпридатних деталей не перевищують 30...50% ціни нових при порівнянному ресурсі [8, 9, 10].

Технологічні процеси відновлення машинних деталей, виготовлених із чавуну, є більш трудомісткими та складними порівняно з ремонтами сталевих елементів. Це зумовлено особливостями фізико-механічних властивостей чавуну та його обмеженою придатністю до операцій нарощування робочих шарів, що знижує загальну технологічність таких процесів.

Попри це, більшість чавунних деталей зазвичай відновлюють шляхом застосування ремонтних розмірів або встановленням додаткових елементів. Методи нарощування матеріалу використовуються значно рідше.

Зразкова номенклатура відновлюваних чавунних деталей наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Номенклатура відновлюваних чавунних деталей

№ п/п	Найменування деталі	Дефект
1.	Гальмові барабани транспортних засобів (КАМАЗ, ЗИЛ, КрАЗ, МАЗ і ін.)	Зношування внутрішньої робочої поверхні Ø 420 мм
2.	Маховики й диски гальм	Зношування бічних поверхонь
3.	Гальмові шківни (гусеничні трактори)	Зношування зовнішньої поверхні
4.	Бічні кришки (щити) електродвигунів	Зношування посадкових місць під підшипники
5.	Головка блоку	Зношування привалочної поверхні
6.	Стакани підшипників	Посадкові місця під підшипники
7.	Чашки диференціалів і корпуса сателітів	Посадкові місця під підшипники
8.	Блоки циліндрів двигунів	Опорні поверхні під підшипники
9.	Гільзи циліндрів двигунів	Зношування дзеркала циліндрів

З наведеного переліку деталей, як правило, усі вони мають ремонтні розміри, а більшість із них і, що дуже важливо, найбільш відповідальні, такі деталі як гільзи, колінчаті вали, і ін., після вичерпання ремонтних розмірів, можуть бути відновлені різними способами наплавлень, напилювання й ін. способами нарощування шарів.

З наведеного переліку деталей можна особливо виділити групу гальмових барабанів транспортних засобів підвищеною вантажопідйомністю (КрАЗ, КАМАЗ, МАЗ і ін.). Далі ми будемо йменувати ці деталі як важко навантажені гальмові барабани. Ці деталі мають тільки ремонтні розміри в основному їх 4 і далі ці барабани переходять у розряд неремонтопригодних через відсутність

розробленого способу нарощування зношеної внутрішньої поверхні. При номінальному діаметрі окружності робочої поверхні рівним 420 мм граничний розмір діаметра дорівнює 425 мм. При досягненні цього розміру експлуатація гальмових барабанів повинна бути завершена.

Проте, як буде докладно показано у другому розділі даної роботи, відновлення гальмівних барабанів, знос яких перевищує допустимі межі, є не лише можливим, а й технічно доцільним. З огляду на це доцільно розглянути питання переведення значної частини гальмівних барабанів транспортних засобів із категорії неремонтопридатних деталей до групи ремонтпридатних, що відкриває перспективу для розроблення ефективної технології реновації цих елементів. Реалізація такого підходу має як наукову, так і практичну цінність, оскільки сприятиме підвищенню ресурсу гальмівних систем та зниженню експлуатаційних витрат.

1.2.2. Способи відновлення деталей

Наплавка під флюсом.

Процес автоматизованого зварювання й наплавлення під флюсом (рис. 1.7) полягає у виникненні електричної дуги (5) між поверхнею деталі (8), яку відновлюють, та електродним дротом (4), що безперервно подається в зону обробки. У місце горіння дуги зі спеціального завантажувального бункера надходить сухий гранульований флюс, який утворює рівномірний щільний шар на поверхні виробу.

Під впливом тепла, що виділяється під час роботи дуги, плавиться електродний дріт, частково розігрівається й основний метал деталі, а також розплавляється частина флюсу. Над утвореною ванною розплавленого металу формується газова порожнина, заповнена парами та газами, які виникають у результаті згоряння дуги.

Розплавлений флюс створює еластичну захисну оболонку, яка повністю ізолює зону наплавлення від атмосферного повітря. Ця оболонка забезпечує стабільність процесу горіння дуги та захист металу від окиснення, одночасно

дозволяючи надлишковим газам вільно виходити назовні під час підвищення тиску в зоні зварювання.

Під час наплавлення циліндричних поверхонь деталей повинна обертатися навколо власної осі. Це забезпечує рівномірне нанесення шару металу по всій окружності. Щоб запобігти стіканню розплавленого металу з поверхні, яка наплавляється, електродний дріт зміщують відносно зеніту (точки, що розташована безпосередньо над віссю деталі) у бік, протилежний напрямку її обертання. Величину такого зміщення позначають літерою a ; вона визначається параметрами режиму наплавлення та діаметром деталі і зазвичай перебуває в межах 3...15 мм.

У процесі віддалення розплавленого металу від зони дії дуги відбувається його поступове охолодження, кристалізація та твердіння шлаку. Унаслідок цього на поверхні деталі утворюється наплавлений металевий валик, поверх якого залишається шлакова кірка та шар флюсу, що не розплавився й поступово осипається.

Флюс, який не взяв участі у формуванні наплавленого шару й потрапляє в піддон зварювальної установки, збирають, просіюють і повторно використовують. Після очищення його знову подають у бункер, що підвищує економічність процесу та мінімізує кількість відходів.

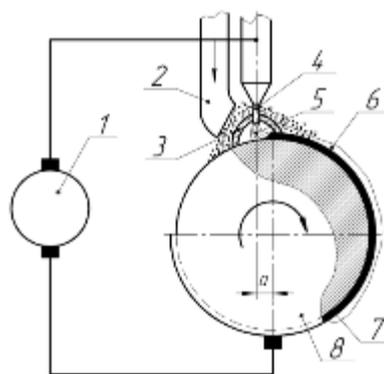


Рисунок 1.5 - Будова та принцип дії установки для автоматичного наплавлення під флюсом:

1 — джерело струму; 2 — пристрій для подачі флюсу; 3 — захисна оболонка; 4 — електродний дріт; 5 — електрична дуга; 6 — шлакова кірка; 7 — наплавлений метал; 8 — деталь. ¶

Метод автоматичного наплавлення під шаром флюсу застосовується для відновлення циліндричних поверхонь і різьбових деталей діаметром понад 40 мм, а також плоских поверхонь і внутрішніх циліндричних отворів. Такий спосіб забезпечує високу якість наплавленого шару, рівномірність структури металу та можливість відновлення деталей різного призначення.

Газополуменеве напилення. *Газополуменеве напилення* – це покриття, отримане внаслідок розплавлення металевого порошку або дроту в полум'ї суміші горючих газів (ацетилен, пропан-бутан та інші) та кисню і його розпилення стисненим повітрям або інертним газом. Газополуменеве напилення найбільш доцільно проводити при відновленні поверхонь деталей, що потребують нанесення підшарку або нанесення покриття з наступним його оплавленням.

Існує два види газополуменевого напилення металу:

- напилення розплавленим порошком;
- напилення розплавленим металевим дротом.

Суттєво способи майже не відрізняються, різниця полягає в тому, що до полум'я через пальник подається металевий порошок або металевий дріт.

Схема установки для нанесення покриттів газополуменевим способом наведена на рис. 1.6.

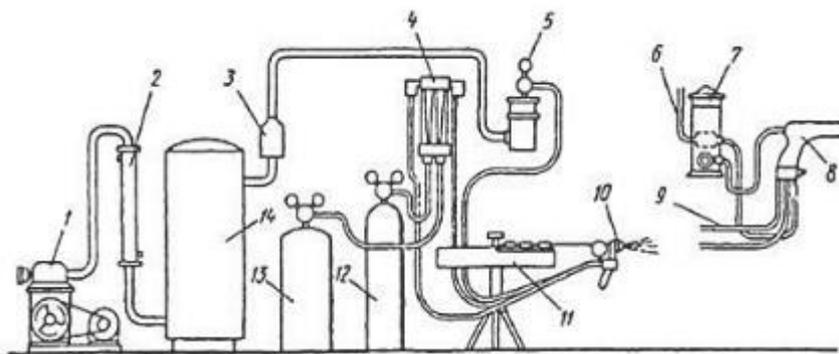


Рисунок 1.6 - Схема установки для газополуменевого напилення.

Принцип роботи установки полягає у нагріванні металевого дроту або порошку полум'ям газового пальника до стану розплаву та нанесенні розплавлених частинок на поверхню деталі за допомогою потоку стисненого газу.

Частинки, потрапляючи на підготовлену поверхню, швидко охолоджуються і формують покриття, яке відновлює або зміцнює робочу поверхню деталі.

Відповідно до рисунків 1.7 та 1.8, компресор (1) нагнітає повітря у ресивер (14) до необхідного тиску. Далі стиснене повітря проходить через підсушувач (4), де відбувається його очищення від вологи та залишків мастила. Після цього повітря по шлангу надходить до редуктора (5), у якому тиск знижується та стабілізується на рівні 0,35...0,4 МПа, а потім спрямовується до пальника (8), де використовується для формування газового потоку під час наплення або 10

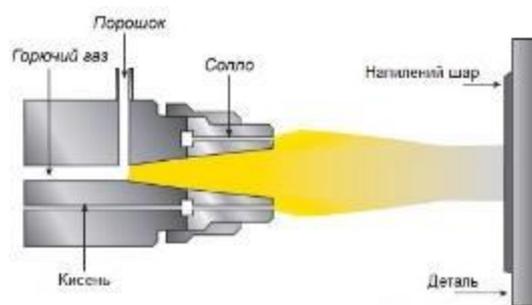


Рисунок 1.7 - Схема газополуменевого порошкового наплення.

Також паралельно від балону з киснем 12 та балону з горючим газом 13, по шлангам газ подається через витратомір 4 до пальника 8 або 10, де запалюється і утворює факел, при цьому тиск кисню 0,2...0,7 МПа, тиск горючого газу 0,004...0,06 МПа. Потім подаючим механізмом пальника 10 від катушки 11 у високотемпературний факел зі швидкістю 0,7...6,0 м/хв. подається металевий дріт діаметром 1,5...5 мм, де розплавляється і у вигляді крапель транспортується до поверхні деталі і стикаючись з нею, розпливаючись, застигає.

У випадку коли наплення відбувається порошком, до пальника 8 під'єднано бункер 7 з металевим порошком, який з'єднаний з каналом для подачі горючого газу рисунку 1.8. Проходячи по каналу, горючий газ створює вакуум у каналі, що з'єднує бункер з пальником, порошок захоплений вакуумом по каналу вдувається до факелу, де оплавляється до пластичного стану і транспортується до поверхні деталі, де за рахунок високої швидкості вбивається в поверхню деталі та деформуючись, застигає.

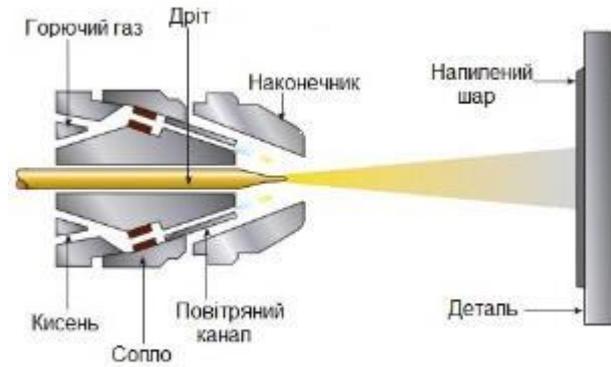


Рисунок 1.8 - Схема газополуменевого напилення дротом.

На ремонтних підприємствах нанесення покриттів напиленням відбувається на окремій дільниці, яка може бути оснащена централізованою системою подачі стисненого повітря.

В якості матеріалів використовується широка номенклатура металевих порошків різних компаній як вітчизняних так і закордонних виробників. Для відновлення деталей, що працюють у умовах інтенсивного тертя, використовують зносостійкі порошки на нікелевій основі або більш доступні сплави на основі заліза. Такі матеріали відзначаються високими експлуатаційними та технологічними властивостями.

Хімічний склад нікелевих порошків, %: нікель – близько 80; хром – 12...15; бор – 1,6...4; кремній – 0,5...4; вуглець – 0,3...1,0; залізо – до 5. Маркування порошків має вигляд, наприклад, ПГ-ХН80СР2, де літерами позначено основні елементи: Х – хром, Н – нікель, С – кремній, Р – бор. Цифра наприкінці (2, 3 або 4) вказує на загальний процентний вміст усіх компонентів, окрім нікелю або заліза.

Порошкові сплави на основі нікелю характеризуються низькою температурою плавлення — у межах 950...1050 °С, регульованою твердістю (35–60 НRC), високою рідкотекучістю, а також стійкістю до зношування та здатністю до самофлюсування. Наявні у складі таких сплавів бор (В) і кремній (Si) активно зв'язують кисень, відновлюючи метали з оксидів під час наплавлення.

Порошкові сплави на основі заліза із підвищеним вмістом вуглецю відрізняються меншою вартістю та високою зносостійкістю, однак вони є

тугоплавкішими (температура плавлення 1250...1300 °С) і не мають властивості самофлюсування. Такі сплави зазвичай містять ферохром і карбіди бору (наприклад, сплав ФБХ-б-2), що забезпечує твердість 56...63 HRC.

Крім того, застосовуються композиційні порошкові суміші, які поєднують переваги нікелевих і залізних сплавів. Прикладом є композиція ПС-1, що являє собою суміш у рівних пропорціях порошоків ПГ-ХН80СРЗ (на основі нікелю) та ПГ-УЗОХ28Н4С4 (на основі заліза, твердий сплав типу сормайт).

При нанесенні покриттів застосовують спеціальний дріт. Підшар наносять ніхромовим дротом Х20Н80.

Для газополуменевого напилення використовують апарати МГИ-4А для ацетилену, МГИ-4П – для пропан-бутану. Також використовують установки типу УПТР, УПН-6, УПН-7, УГПЛ – для напилювання матеріалів з температурою плавлення до 800°С и УПН-8-68 – для напилювання покриттів з матеріалів з температурою плавлення до 2050°С, апарат для напилення (021-4 ВНПО Ремдеталь, ОКС-5531-ГОСНИТИ, УПТР-1-78) та ін.

Електродугове напилення. Сутність процесу електродугового напилення полягає у використанні двох металевих дротів діаметром 1...3,2 мм, виготовлених із матеріалу покриття. Ці дроти з'єднуються з джерелом електричного струму та безперервно подаються у зону напилення за допомогою механізму подачі через напрямні наконечники. У місці їх зближення утворюється електрична дуга, теплота якої розплавляє метал дротів (рис. 1.9). Розплавлений метал за допомогою потоку стисненого повітря або інертного газу, який подається по каналах металізатора, розпилюється та переноситься на підготовлену поверхню деталі зі швидкістю 100...300 м/с у вигляді частинок розміром 3...300 мкм. У процесі польоту ці частинки частково окиснюються, покриваючись тонкою оксидною плівкою, після чого осідають на поверхні, формуючи щільне металеве покриття.

Під час зіткнення розплавлених частинок металу з поверхнею деталі утворена в польоті оксидна плівка руйнується під дією їхньої кінетичної

енергії. Це сприяє формуванню на поверхні суцільного багат шарового покриття, яке характеризується наявністю пор і оксидних включень.

Закріплення частинок на поверхні відбувається за рахунок адгезійних сил та механічного зчеплення з мікронерівностями підготовленої основи, що забезпечує достатню міцність зчеплення покриття з деталлю.

Таблиця 1.2 – Характеристики й призначення порошків для газополуменевого нанесення покриттів

Марка порошку	Основа	Твердість, HRC	Характеристика покриття	Область застосування методу
Самофлюсуючі порошки для газополуменевого напилення				
ПГ-10Н-01	Нікель	56...63	Зносостійке, корозійно стійке, безпористе гладке покриття з високими фізико-механічними властивостями й адгезією	Для відновлення деталей зі сталі, чавуну з місцевим зношуванням, що працюють при знакозмінних навантаженнях, в агресивних середовищах і при підвищених температурах
ПГ-10 К-01	Кобальт	46...51		
ПГ-10Н-04	Нікель	86...97		
Самофлюсуючі порошки для газополуменевого напилення з наступним оплавленням				
ПГ-12Н-01,	Нікель	36...45	Зносостійке, корозійно-стійке покриття з високою адгезією	Для відновлення деталей типу вал, що працюють при знакозмінних навантаженнях, піддані абразивному зношуванню та впливу високих температур
ПГ-12Н-02,	Нікель	46...53		
ПС-12НВК-01	Порошкова суміш	56...63		
Порошкові матеріали для г напилення без наступного оплавлення				

ПТ-19Н-01,	Нікель	30...41	Зносостійке, корозійно-стійке покриття з високою адгезією й пористою структурою	Для відновлення й зміцнення посадкових місць деталей типу вал, що не зазнають у процесі експлуатації ударним і сильним знакозмінним навантаженням
ПТ-НА-01,	Нікель	-		
ПГ-19М-01,	Мідь	65...72		
ПГ-19Н-01	Залізо	74...72		

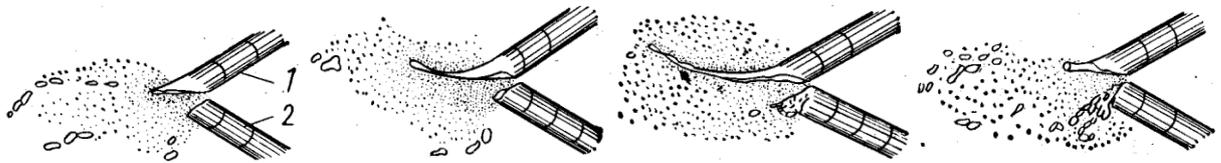


Рисунок 1.9 - Процес розплавлення металевого дроту при електродуговому напиленні: 1 – анод, 2 – катод.

Принцип роботи установки (рис. 1.10) полягає в такому. Стиснене повітря, що подається від компресора або від централізованої пневмосистеми, надходить у масло- та вологовідокремлювач (10), де проходить очищення від мастила та вологи. Тиск у цьому вузлі контролюється за допомогою манометра (9). Далі повітря з тиском 0,4...0,6 МПа подається по шлангу до сопла (12) металізатора (3). Одночасно подаючі ролики (5) переміщують металевий дріт від котушок (6) через направляючі канали (4) у зону напилення. У місці зближення дротів виникає електрична дуга (2), яка розплавляє їхній метал. Дуга підтримується джерелом струму (7), з'єднаним з електродами за допомогою проводів (11). Розплавлений метал підхоплюється потоком стисненого повітря, що проходить через сопло металізатора, і з великою швидкістю переноситься до поверхні деталі (1). Потрапляючи на неї, частинки металу прилипають і швидко охолоджуються, формуючи щільний та міцний шар покриття,

який відновлює або зміцнює робочу поверхню деталі.

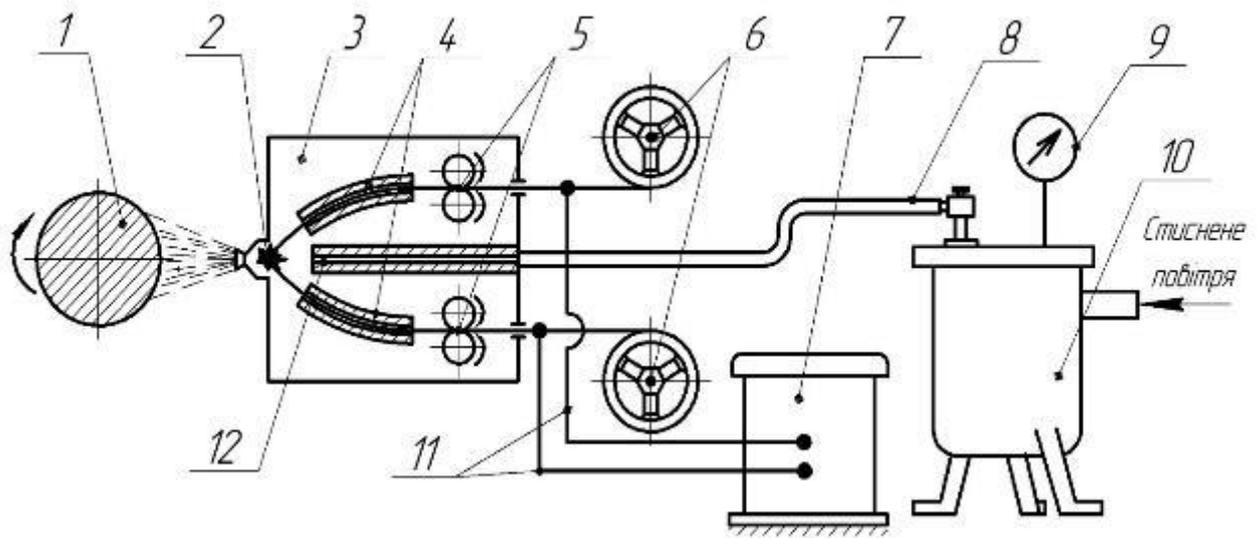


Рисунок 1.10 - Будова та принцип дії установки електродугового напилення.

Усереднені параметри режиму електродугового напилення становлять: напруга дуги — 25...40 В, сила струму — 80...160 А, швидкість подачі дроту — 0,6...1,5 м/хв, тиск стисненого повітря — 0,4...0,6 МПа, відстань від сопла до поверхні деталі — 80...100 мм. Такі параметри забезпечують стабільність горіння дуги, рівномірне розпилення металу та отримання якісного покриття з достатньою адгезією.

Для здійснення процесу електродугового напилення використовують як переносні металізатори (моделі ЕМ-3, ЕМ-9), так і стаціонарне обладнання (ЕМС-1, ЕМ-12), що дає змогу проводити відновлення деталей у різних умовах виробництва.

Найбільш широко розповсюджені електродугові металізатори таких марок: ЕМ-12, ЕМ-14, ЕМ-15, ЕМ-17 та закордонних фірм Castolin, OSU Hessler та інші.

Для роботи металізатора необхідне джерело живлення низької напруги змінного або постійного струму. Найбільш якісні покриття отримують, застосовуючи джерела постійного струму (наприклад, ВС-300, ВДГ-302, ВС-600, ВДУ-601, ВДУ-1001).

Промисловістю випускаються комплекти для електродугової металізації, наприклад, КДМ-2, який оснащений джерелом живлення "Тімез-500" з підвищеними характеристиками.

Переваги методу електродугового напилення:

- відносна ***простота конструкції обладнання*** та легкість його обслуговування;
- ***висока продуктивність процесу***, яка становить 3...14 кг/год залежно від типу металізатора та режиму напилення;
- ***пориста структура поверхневого шару***, що утворюється під час напилення, створює сприятливі умови для роботи рухомих з'єднань при невеликих навантаженнях, забезпечуючи їх здатність до утримання масла.

Недоліки методу:

- ***окиснення та вигорання легуючих елементів*** металу під дією дуги, що знижує якість покриття;
- ***зменшення втомної міцності*** основного матеріалу через наявність пор і залишкових напружень;
- ***значне розбризкування металу*** під час напилення, яке може досягати 40...60 %, що знижує коефіцієнт використання матеріалу.

Суть процесу електроконтактного залізнення (рис. 1.11) полягає у використанні ефекту тертя між двома поверхнями в присутності електроліту та проходженні електричного струму між анодом і катодом. У результаті на поверхні катода утворюється тонкий залізний шар, який підвищує зносостійкість і відновлює розміри деталі.

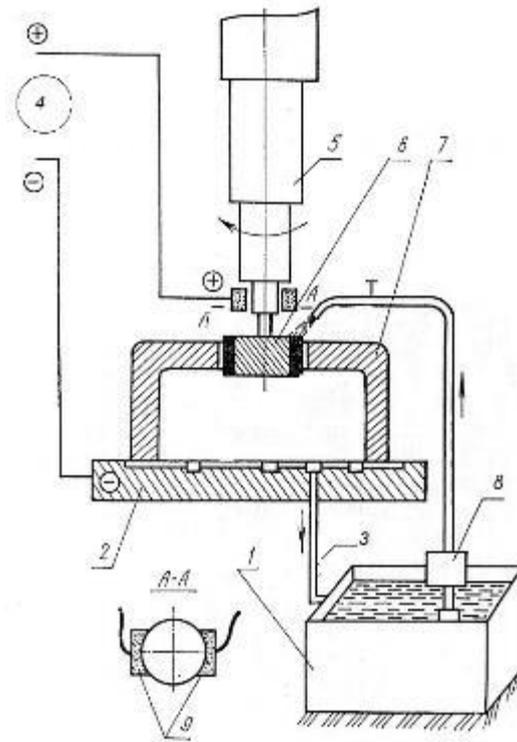


Рисунок 1.11 - Схема процесу електроконтактного відновлення поверхонь:

1 — бак; 2 — станина; 3 — трубопровід; 4 — джерело струму; 5 — шпиндель верстату; 6 — обертаючийся електрод (анод); 7 — деталь (катод); 8 — насос для подачі електроліту; 9 — щітки для підводу струму. ¶

Принцип роботи установки для електроконтактного залізнення полягає в такому. За допомогою насоса електроліт із ванни подається у порожнину робочої головки (анода), виконаної у вигляді тампона. Як матеріал для тампона використовують фетр, повсть, капрон або інші пористі матеріали, здатні рівномірно утримувати і пропускати електроліт. Під час роботи тампон щільно прилягає до поверхні деталі, що відновлюється, та, обертаючись, рівномірно розподіляє електроліт, забезпечуючи натирання покриття на поверхню. У результаті взаємодії між анодом і катодом під дією електричного струму на поверхні деталі формується тонкий залізний шар. Даним методом можна відновлювати як зовнішні, так і внутрішні поверхні деталей. Основні параметри процесу електролітичного натирання становлять: густина струму — до 200 А/дм², колова швидкість обертання деталі — близько 20 м/хв.

Обладнання для електроконтактного залізнення. Як джерела постійного струму в процесі електроконтактного залізнення застосовуються випрямлячі типів ВАКГ-12/6-3000, ВАГГ-12/600М з вихідною напругою 12 В, а також низьковольтні генератори серій АНД-500/250, АНД-1000/500, АНД-1500/750, що забезпечують необхідну силу струму при напрузі 6 або 12 В. У разі потреби змінний струм подається від понижувального трансформатора, який дозволяє отримати стабільні параметри живлення.

Процес залізнення виконується у сталевих ваннах, внутрішня поверхня яких футерована захисним шаром із гуми, вініпласту, поліетилену, кислотостійкої емалі або кераміки, що запобігає корозійному впливу електроліту.

Аноди виготовляють із маловуглецевої сталі та підбирають із урахуванням площі оброблюваної поверхні у співвідношенні 1:2. Для запобігання забрудненню електроліту продуктами розчинення анодів їх поміщають у мішки з кислотостійких тканин, таких як ТСФ-9П або хлоринова тканина, що забезпечує чистоту ванни та стабільність процесу.

Основними параметрами електролізу є:

- зміст та концентрація електроліту виражена кількістю грамів речовини розчиненої в 1 літрі електроліту, г/л;
- кислотність електроліту, виражена в г/л або в одиницях водневого показника рН, який визначається за допомогою індикаторного паперу;
- температура електроліту, °С;
- катодна густина струму, яка дорівнює відношенню сили діючого струму до площі поверхні, що покривається.

$$D_{\kappa} = \frac{I_{\text{сер}}}{S_{\kappa}}, \text{ А/дм}^2, \quad (1.1)$$

де $I_{\text{сер}}$ – середнє значення струму, А;

S_{κ} – площа катоду, дм².

- коефіцієнт асиметрії:

$$\beta = \frac{i_{сер}^k}{i_{сер}^a}, \quad (1.2)$$

де $i_{сер}^k, i_{сер}^a$ – усереднені показники сили струму для катодної та анодної фаз імпульсу, А

Тривалість електролізу залежить від потрібної товщини покриття та режиму електролізу і визначається формулою:

$$t_k = \frac{1000 \cdot \gamma \cdot h}{\mathcal{E} \cdot D_k \cdot \eta}, \text{ год} \quad (1.3)$$

де γ – питома вага осадженого металу, г/см³;

h – необхідна товщина покриття, мм.

Швидкість осадження металу, тобто, продуктивність процесу електролізу визначається за формулою:

$$V = \frac{h}{t} = \frac{\mathcal{E} \cdot D_k \cdot \eta}{1000 \cdot \gamma}, \text{ мм/год} \quad (1.4)$$

При нанесенні гальванічних покриттів використовується однаковий технологічний процес, який лише відрізняється режимами та матеріалами.

1.3. Загальні висновки та задачі роботи

На підставі вищевикладеного можна зробити наступні висновки: 1. Розмірна обробка нанесеного важкооброблюваного шару дуговою металізацією на зношену внутрішню поверхню гальмових барабанів транспортних засобів є актуальним завданням.

2. Існуюча лезвійна обробка різцями типу ВК на токарському верстаті й можлива абразивна обробка енергоємні, вимагають більших працездат і мало ефективні.

3. З розглянутих можливих способів обробки гальмових барабанів найбільш прийнятним є спосіб електроконтактної підводної обробки, що

відрізняється найбільшою продуктивністю, екологічною чистотою й відносно меншою енергоємністю.

4. Процес електроконтактної підводної обробки й технологічні параметри способу обробки відновлених гальмових барабанів не досліджені й вимагають детального розгляду.

У якості об'єкта дослідження розглядаються барабанно-колодкові гальмівні системи транспортних засобів і промислового устаткування, які працюють за умов повторюваних динамічних навантажень підвищеної інтенсивності.

Головна мета дослідження полягає у дослідженні роботи та обґрунтуванні ефективних способів відновлення гальмових барабанів, що знижують вартість ремонту та підвищують безпеку руху машини.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні задачі:

- провести огляд способів відновлення та навести характеристику металопокриттів при відновленні чавунних деталей;
- провести наліз надійності гальм автомобілів та дослідити їх вплив на безпеку життя людини та безпеку руху;
- обґрунтувати необхідність відновлення гальмових барабанів та дослідити зміну його ресурсу.
- розробити технологічний процес відновлення гальмівного барабану вантажного автомобіля з можливістю застосування електроконтактного відновлення робочих поверхонь. Розробити методику розрахунку і експериментального визначення гальмівного моменту та інтенсивності зносу наплавленого шару;
- обґрунтувати установку для електроконтактної металізації та навести результати експериментальних досліджень режимів роботи установки та їх впливу на якість наплавленого шару;
- передбачити розроблення заходів з охорони праці й забезпечення безпеки у разі надзвичайних ситуацій, а також провести техніко-економічний аналіз ефективності виконаної роботи.

2. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО СПОСОБУ ВІДНОВЛЕННЯ ГАЛЬМІВНИХ БАРАБАНІВ

Теоретичні передумови розробки технології відновлення гальмових барабанів транспортних засобів включають щонайменше три основні припущення:

- перше полягає в тому, що необхідно обґрунтувати необхідність відновлення гальмових барабанів, що завершили експлуатацію, тобто реновувати кошовну деталь, заощаджуючи екологічні й енергетичні ресурси й у зв'язку із цим перевести зношені деталі з категорії неремонтопридатних у категорію ремонтпридатних;

- друге припущення полягає в тому, що необхідно обґрунтувати можливість застосування для нанесення зносостійкого шару способу дугової металізації, який по нашому припущенню не тільки не зменшить міцність відновленого барабана, а, навпаки, повинен підвищити міцність барабана як конструктивного елемента, виготовленого із чавуну;

- третє - обґрунтувати можливість застосування високопродуктивної розмірної електроконтактної обробки під шаром води нарощеного шару.

2.1. Оцінка надійності гальмівних систем автомобілів та їх значення для безпеки експлуатації

За статистичними даними, до 40 % дорожньо-транспортних пригод спричинені несправністю гальмівних систем автомобілів [2]. Аналіз показників надійності свідчить, що дискові гальма забезпечують вищий рівень безпеки руху, проте саме на них припадає близько 60 % випадків відмов, що зумовлено зносом гальмівних колодок і дисків (рис. 2.1). Крім того, довговічність дискових гальм є нижчою, ніж у барабанних систем, що обмежує їх використання в умовах тривалої або інтенсивної експлуатації [2].

У вантажних автомобілях марок КрАЗ, МАЗ, КамАЗ та подібних переважно використовують барабанні гальмівні механізми. Експлуатаційний досвід свідчить, що найбільш інтенсивному спрацюванню піддаються гальмівні накладки та барабани середнього й заднього мостів. Для автомобіля КамАЗ середній ресурс до відмови барабанного гальма заднього моста становить близько 50–60 тис. км, тоді як знос гальм середнього моста є на 7–12 % більшим, порівняно із заднім мостом [11] (рис. 2.1).

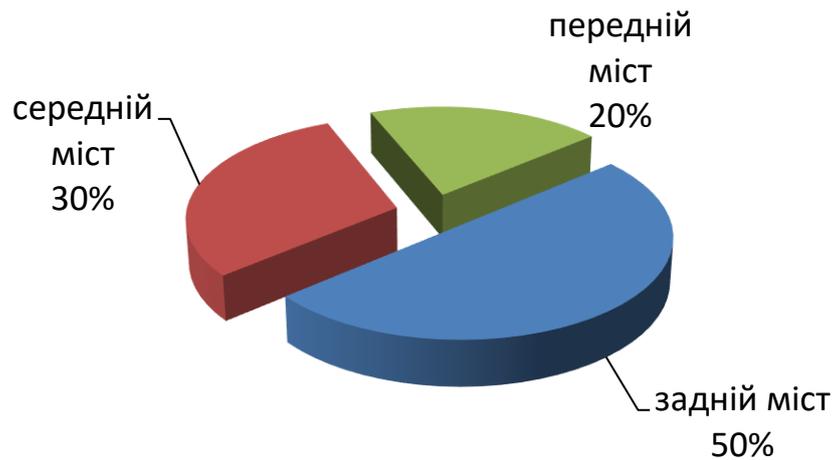


Рисунок 2.1 - Характер відмов гальм залежно від їх розміщення в системі

На рисунку 2.2 представлено розподіл відмов гальмівних механізмів за їх характером і місцем виникнення.

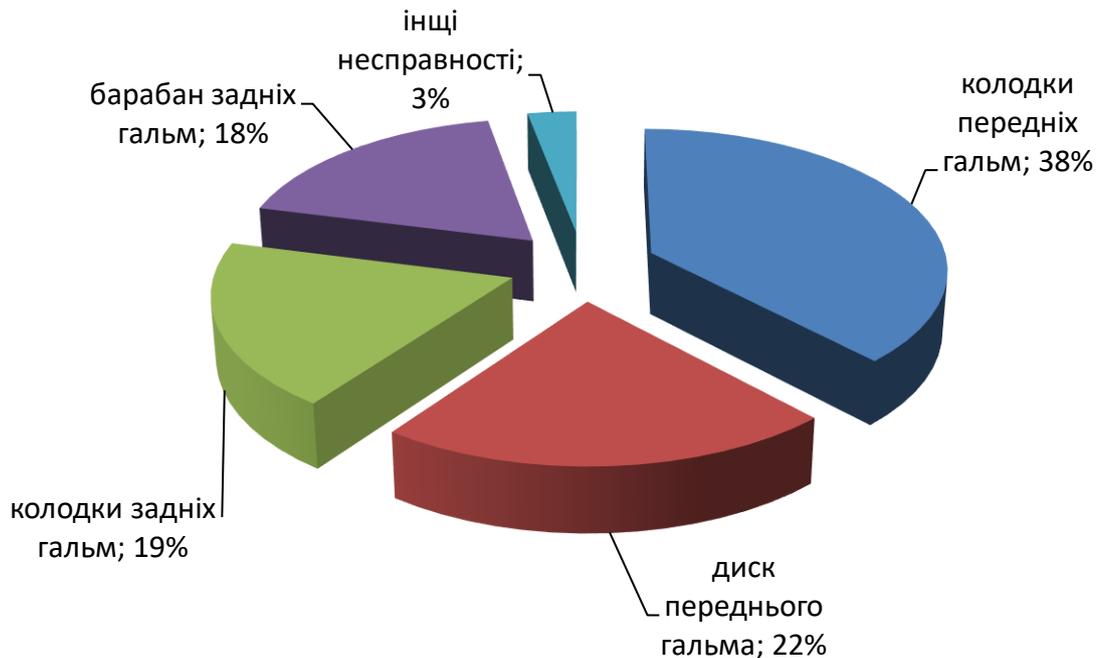


Рисунок 2.2 - Питома частка відмов гальм автомобіля ВАЗ-2107, %

Як показують дані, наведені на рисунку 2.3, барабанні гальмівні системи відзначаються вищою надійністю, що підтверджується їхнім ресурсом роботи. Так, середнє напрацювання дискових гальм становить близько 20 000 км пробігу, тоді як для барабанних систем цей показник досягає 60 000–70 000 км.

Результати статистичної обробки експлуатаційних даних, отриманих у процесі спостережень за роботою гальмівних систем автомобілів марок КрАЗ та МАЗ, наведено на рисунку 2.3.

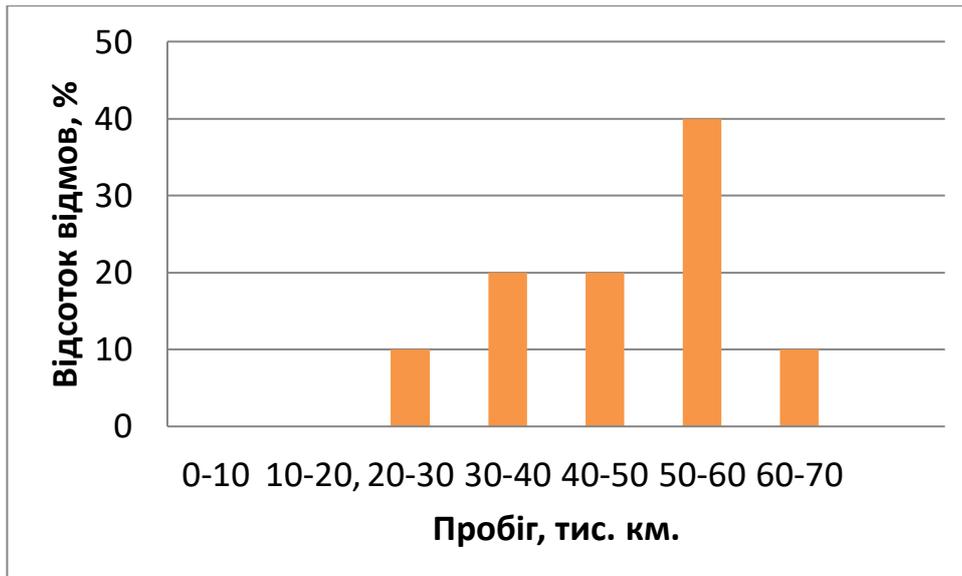


Рисунок 2.3 - Характер відмов та несправностей гальмівних механізмів

Для обчислення довірчих інтервалів розсіювання середнього показника надійності при розподілі Вейбулла–Гнеденко застосовуються відповідні аналітичні залежності [11]:

$$T_{n1} = T_1 \sqrt[3]{r_3} = 57447 \cdot \sqrt[3]{0,83} = 54000 \text{ км.} \quad (2.1)$$

$$T_{e1} = T_1 \sqrt[3]{r_1} = 57447 \cdot \sqrt[3]{1,24} = 61520 \text{ км.} \quad (2.2)$$

де r_1 і r_3 — коефіцієнти Вейбулла, значення яких визначаються згідно з [11] залежно від параметра α та кількості спостережень N .

Отже, з довірчою ймовірністю 0,9 встановлено, що очікуване значення середнього напрацювання барабанних гальм до ремонту становить від 54 до 62 тис. км.

Спостереження проводилися на вибірці з 10 автомобілів, серед яких — 2 КамАЗ, 4 МАЗ і 4 КрАЗ, що експлуатуються на трубному заводі м. Нікополь та проходять технічне обслуговування на СТО Трубосталь. Додаткові статистичні дані було зібрано також на автотранспортних підприємствах Дніпропетровської області. У результаті проведених спостережень отримано задовільні показники: середнє напрацювання до відмови гальмівної системи становило близько 56 000 км, що відповідає нормативним характеристикам, заявленим заводом-виробником. Однак не всі транспортні засоби показали однакові результати. Зокрема, у автомобілів КамАЗ-5511 та КамАЗ-55111 зафіксовано відмови гальмівних механізмів середнього моста, спричинені перегрівом і руйнуванням гальмівних колодок. Аналіз причин виявив, що перегрів виник унаслідок низької якості матеріалу колодок, які були виготовлені невідомим виробником (ймовірно, підроблені вироби).

Результати спостережень також показали, що зношування гальмівних колодок і барабанів відбувається нерівномірно по осях автомобіля. Найменший ступінь зносу зафіксовано на гальмах переднього моста, де навантаження під час гальмування є відносно меншим. Дещо більший знос спостерігається на середньому мосту, тоді як найінтенсивніше зношування характерне для гальм заднього моста [4].

У подальшому наведено основні види зношування гальмівних механізмів та їх характерні ознаки для автомобілів різних марок.



Рисунок 2.4 - Стан заднього гальмівного механізму автомобіля ГАЗ-32213 при пробігу 26 364 км



Рисунок 2.5 - Внутрішня робоча частина гальмівного барабана



Рисунок 2.6 - Зовнішній вигляд гальмівної колодки автомобіля МАЗ після 42 467 км пробігу



Рисунок 2.7 - Зовнішній вигляд гальмівного барабана автомобіля МАЗ після пробігу 42 467 км



Рисунок 2.8 - Зовнішній вигляд гальмівної колодки автомобіля КамАЗ після 42467 км пробігу



Рисунок 2.9 - Зовнішній вигляд гальмівного барабану автомобіля КамАЗ після 32641 км пробігу



Рисунок 2.10 - Зовнішній вигляд гальмівної колодки автомобіля КамАЗ після 44168 км пробігу



Рисунок 2.11 - Зовнішній вигляд гальмівного барабану автомобіля КамАЗ після 44168 км пробігу



Рисунок 2.12 – Зруйнована колодка та барабан від надмірного перегрівання

2.2. Теоретичні передумови обґрунтування необхідності відновлення гальмових барабанів

Необхідність відновлення ресурсу гальмових барабанів, що досягли граничного діаметра в результаті зношування внутрішньої робочої поверхні можна вірогідно обґрунтувати за допомогою схеми, представленої на рис. 2.13.

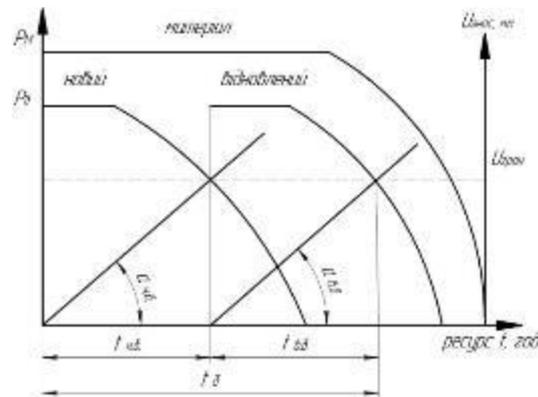


Рисунок 2.13 - Схема продовження ресурсу гальмового барабана за допомогою відновлення робочої поверхні до номінального діаметра

З наших теоретичних міркувань і припущень, представлених на рис. 2.14, випливає, що ймовірність ресурсу матеріалу барабана багаторазово може перевищувати ймовірність ресурсу внутрішньої робочої поверхні як основного, елемента конструкції барабана що зношується і визначає ресурс деталі. Практика експлуатації цих деталей у транспортних підприємствах багаторазово підтверджує це припущення. Підставою для такого твердження можуть служити численні приклади розточення гальмових барабанів до діаметрів значно перевищуючих граничні значення.

Раніше вже було показано, що при номінальному діаметрі окружності робочої поверхні барабана, рівному 420 мм, фактично в умовах рядової експлуатації розточуються барабани до розмірів 428 мм і більш замість граничного 425 мм. Необхідно підкреслити, що розмір 425 мм є граничним, а не припустимим розміром діаметра барабана.

Відомо, що при абразивному зношуванні деталей [12, 13] закономірність зношування деталей має лінійну залежність, а кут нахилу прямій характеризує швидкість зношування. На рис. 2.13 показані ці закономірності зношування й кут нахилу прямих a , що характеризує швидкість зношування. Приблизно можна допустити, що швидкість зношування нанесеного металізованого шару менше швидкості зношування чавуну - матеріалу барабана, тому що нарощений шар має більшу зносостійкість, отже, і ресурс відновленого барабана повинен бути більше ресурсу нової деталі ($t_{в.б.} > t_{н.б.}$).

Передумова по збільшенню ресурсу відновлених гальмових барабанів буде підтверджена результатами експериментальних лабораторних і експлуатаційних досліджень у наступних підрозділах та розділах роботи.

Аналізуючи представлену схему на рис. 2.13 і передбачуване повернення в експлуатацію списаного неремонтопридатного гальмового барабана після його відновлення з ресурсом, що перевищують ресурс нової деталі за допомогою нових технологій, можна стверджувати про доцільність застосування для таких випадків поняття реновації деталей [14].

У цьому випадку термін реновація деталей цілком обґрунтований і правомірний для застосування [15], тому що крім розв'язку технічного завдання по відновленню ресурсу барабанів, вирішується й екологічне завдання. При масі барабана, рівною 60 кг, і витраті наплавочного порошкового дроту 4...6 кг відбувається істотна економія металу, отже, і екологічні, і енергетичні ресурси на виробництво чавуну й виготовлення нових деталей. Відомо, що реновація деталей машин і встаткування саме й спрямована на розв'язок цих двох досить актуальних й найважливіших проблем у сучасному народному господарстві [15].

2.3. Технологічне обґрунтування процесу відновлення гальмівного барабана

2.3.1. Опис конструкції деталі та її дефектів

У гальмівних системах сучасних автомобілів ключову роль відіграють фрикційні гальмівні механізми, принцип дії яких ґрунтується на перетворенні кінетичної енергії рухомого транспортного засобу в теплову енергію. Це відбувається внаслідок тертя між поверхнями деталей, що обертаються, і елементами, які залишаються нерухомими під час гальмування. Такий підхід забезпечує стабільне та контрольоване зниження швидкості або зупинку автомобіля.

За конструктивними ознаками та формою обертового елемента колесні гальмівні механізми поділяють на дві основні групи:

- **барабанні**, які можуть мати гідравлічний або пневматичний тип приводу;
- **дискові**, у яких фрикційні накладки притискаються до диска із змінним або постійним зусиллям залежно від особливостей конструкції.

Барабанний гальмівний механізм з гідравлічним приводом

У барабанних гальмах із гідроприводом застосовуються дві колодки з фрикційними накладками. Вони розміщуються всередині гальмівного барабана та закріплюються на опорному диску. Нижні частини колодок установлені на шарнірних опорах, що забезпечує їх поворот, а верхні спираються на поршні колісного циліндра через сталеві сухарі. Стяжна пружина, розташована між колодками, утримує їх у вихідному положенні, формуючи необхідний технологічний зазор між накладками та внутрішньою поверхнею барабана.

Під час гальмування робоча рідина під тиском надходить із головного циліндра в колісний, розсовуючи поршні. Поршні передають зусилля на колодки, які переміщуються до барабана й притискаються до його поверхні, що обертається разом із колесом. Утворення сили тертя між накладками й

барабаном забезпечує гальмівний момент, що зупиняє або уповільнює рух автомобіля.

Після завершення гальмування тиск у гідросистемі знижується, і стяжна пружина повертає колодки у вихідне положення, відновлюючи зазор. Це запобігає їх безперервному контакту з барабаном і зменшує інтенсивність зносу.

Характерною особливістю цієї конструкції є нерівномірність зношування передньої та задньої колодок за напрямком руху. Передня колодка в момент гальмування діє назустріч обертанню барабана, унаслідок чого притискається до нього з більшою силою, ніж задня. Це спричиняє прискорене спрацювання накладки. Для компенсації нерівномірності передню накладку виготовляють більшої товщини або рекомендують періодично міняти колодки місцями.

У вдосконалених барабанних гальмах застосовують конструкцію, у якій кожна колодка має власний гідравлічний циліндр, а точки опори розташовані на протилежних сторонах опорного диска. Така схема забезпечує значно рівномірніше спрацювання накладок і дозволяє збільшити ефективність гальмування, особливо під час різкого гальмування або підвищених навантажень.

Барабанний механізм з пневматичним приводом

Пневматичні барабанні гальма використовуються переважно на вантажних автомобілях та автобусах через їх більшу потужність і надійність. Основна відмінність від гідравлічного варіанта полягає в способі розведення колодок. Тут застосовується розтискний кулак, який повертається важелем, приводженим у дію пневматичною гальмівною камерою. Стиснене повітря створює необхідне зусилля для притиснення колодок до барабана.

Після припинення подачі стисненого повітря колодки самостійно повертаються у вихідне положення завдяки стяжній пружині. Нижні частини колодок закріплені на ексцентрикових пальцях, що дозволяє регулювати зазор у нижній зоні контакту, а верхня частина колодок регулюється через черв'ячний механізм. Таке рішення забезпечує точне налаштування й сприяє рівномірному зношуванню накладок упродовж тривалого періоду експлуатації.

Дисковий гальмівний механізм із гідравлічним приводом

У дискових гальмах гальмівний диск закріплюється на маточині колеса й обертається разом із ним. Супорт, установлений на елементах підвіски, має дві половини, у кожній із яких розташовані робочі поршні. Під час натискання на педаль гальмівна рідина надходить до циліндрів супорта, створюючи тиск, що притискає колодки з фрикційними накладками до диска. Виникаюча сила тертя забезпечує ефективне сповільнення або зупинку обертання колеса.

Дискові гальма характеризуються кращою теплоємністю, меншим ризиком втрати ефективності при нагріванні та загалом більш рівномірним спрацьовуванням у порівнянні з барабанными аналогами, що робить їх незамінними для легкових авто та автомобілів підвищеної потужності.

Номер деталі СТП 304.9.6-020

Як матеріал для виготовлення деталі використовується сірий чавун марки СЧ 15–32 [16].

Гальмівний барабан під час експлуатації зазнає ударних та температурних навантажень: перші виникають унаслідок дії імпульсних сил під час гальмування, а другі — через інтенсивне нагрівання поверхні барабана в процесі тертя між ним і гальмівними колодками.

Технічні умови контролю та ремонту.

Основними дефектами гальмівних барабанів є зношування робочих поверхонь, поява кільцевих канавок і задирів. Указані дефекти усуваються шляхом розточування барабана до ремонтного розміру.

Номінальний діаметр гальмівного барабана становить $420 + 0,38$ мм, а граничний розмір після ремонту не повинен перевищувати 425 мм.

Причинами виникнення дефектів є тривала експлуатація, порушення технології складання, а також підвищене тертя у зоні контакту колодок і барабана.

До найбільш поширених пошкоджень належать:

1). Тріщини в тілі барабана, що з'являються внаслідок термічних напружень або ударних навантажень.

2). Знос робочої поверхні гальмівної камери, спричинений інтенсивним тертям і перегрівом у процесі гальмування.

2.3.2 Технологічний процес відновлення

Перед початком ремонту гальмівний барабан ретельно очищають від бруду, корозії та залишків мастила, а також зачищають незначні забоїни.

Заміна барабана проводиться у випадках, коли на його робочій поверхні виявлено тріщини, значну деформацію, або якщо ступінь зносу настільки великий, що після розточування діаметр робочої поверхні перевищує 383 мм.

Незначні подряпини та задирки на поверхні усуваються дрібнозернистою шліфувальною шкуркою. Якщо ж барабан має биття понад 0,3 мм, а також глибокі риски чи задирки, його встановлюють на маточину, щільно притискаючи фланець за допомогою гайок кріплення колеса (встановлених зворотною стороною на шпильки). Після цього, орієнтуючись на зовнішні обойми підшипників, барабан розточують до повного усунення дефектів. Після розточування радіальне биття не повинно перевищувати 0,2 мм. Перевірку здійснюють відносно кілець підшипників із накрученими гайками.

Збільшення діаметра після розточування допускається не більше ніж на 3 мм, тобто кінцевий розмір не повинен перевищувати 383 мм.

2.3.3. Вибір раціонального способу відновлення деталі

Вибір способу відновлення деталей на конкретному підприємстві визначається техніко-економічними показниками [17, 18].

Найбільш раціональним методом ремонту вважається той, який забезпечує найбільший термін служби відновленої деталі при мінімальних витратах, що не перевищують вартості виготовлення нової.

Оптимальний спосіб відновлення обирають на основі послідовного аналізу трьох основних критеріїв:

- технологічного — оцінює можливість і доцільність застосування певного процесу відновлення з урахуванням умов виробництва;

- критерію довговічності — визначає ресурс деталі після ремонту порівняно з новою;

- техніко-економічного — враховує собівартість відновлення, термін окупності та економічний ефект від застосування технології.

Вибір оптимального способу відновлення деталі визначається також з урахуванням технологічного критерію, який враховує конструктивні особливості деталі, характер пошкоджень, доступність обладнання та можливість виконання відновлювальних операцій у виробничих умовах.

Різні варіанти способів відновлення гальмівного барабана наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Варіанти способів відновлення та їх вибір за технологічним критерієм

№	Спосіб відновлення	Характеристика процесу	Переваги	Недоліки	Висновок за технологічним критерієм
1	Розточування	Механічне зняття шару металу з робочої поверхні до отримання ремонтного розміру	Простота виконання, не потребує складного обладнання	Зменшується товщина стінки барабана	Може застосовуватись при незначному зносі
2	Наплавлення під шаром флюсу	Відновлення металу за допомогою електричної дуги під флюсом	Висока якість наплавленого шару, можливість автоматизації	Потребує спеціального обладнання, можливе термічне викривлення	Доцільно при значних зносах
3	Газополумєне напilenня	Напilenня розплавленого металу на поверхню	Можливість відновлення без значного нагріву деталі	Невисока адгезія шару, пористість	Використовується при середніх зносах
4	Електроконтактне залізнєння	Осаждення металу з електроліту під дією струму і тертя	Добра адгезія покриття, мінімальне термічне навантаження	Невелика товщина шару, невисока продуктивність	Рекомендовано для тонкого відновлення
5	Хромування	Електрохімічне осаждення шару хрому	Висока твердість і зносостійкість покриття	Висока вартість, токсичність електролітів	Застосовується для деталей підвищеної точності

Для кожного обраного способу відновлення виконується комплексна якісна оцінка довговічності, що відображає ресурс відновленої деталі порівняно з новою. Цей показник характеризується коефіцієнтом довговічності (K_d), який визначається за таким виразом [18]:

$$K_d = K_{zn} \cdot K_v \cdot K_z \cdot K_{\Pi}, \quad (2.1)$$

з якої K_{zn} , K_v і K_z - відповідно коефіцієнти зносостійкості, витривалості та зчеплення покриттів;

K_{Π} — поправочний коефіцієнт, що враховує фактичну працездатність відновленої деталі в умовах експлуатації, при цьому $K_{\Pi}=0,8 \dots 0,9$.

Для прикладу розглянемо перший дефект гальмівного барабана. Для його усунення розглянуто чотири можливі способи відновлення, а саме:

- вібродугове наплавлення;
- наплавлення в середовищі вуглекислого газу (CO_2);
- металізація.

Кожен із наведених способів має свої технологічні особливості, рівень довговічності та економічну ефективність, що дає змогу здійснити їх порівняльну оцінку за відповідними критеріями.

Маємо

$$K_0^{ВДН} = 0,85 \cdot 0,62 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 0,47$$

$$K_0^{HCO_2} = 0,85 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 0,77$$

$$K_0^{мет} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 0,9 = 0,77$$

Таким чином, проведений аналіз показує, що найбільш довговічними способами відновлення є наплавлення в середовищі вуглекислого газу (CO_2)

та металізація, які забезпечують високі показники зносостійкості та адгезії покриття при збереженні належних експлуатаційних властивостей відновленої деталі.

Техніко-економічний критерій встановлює взаємозв'язок між вартістю відновлення деталі та її довговічністю після усунення дефектів. Умову техніко-економічної ефективності способу відновлення запропоновано професором В. І. Казарцевим, і вона використовується для порівняльної оцінки доцільності різних технологій ремонту.

$$K_e = \frac{C_v}{K_d}, \quad (2.2)$$

з якої C_v – вартість проведення відновлювальних робіт для деталі грн;

C_n – вартість виготовлення нової деталі, грн;

K_d – відносна довговічність деталі.

- *Наплавлення з вібраційним збудженням дуги*

$$K_e^{ВДН} = \frac{1846}{0,47} = 3928.$$

- *Електродугове наплавлення під захистом CO_2*

$$K_e^{CO} = \frac{1662}{0,77} = 2158.$$

- *термічне напилення металу*

$$K_e^{EM} = \frac{1846}{0,77} = 1918.$$

Розрахунки для інших видів дефектів виконуються аналогічним чином, а отримані результати занесено до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Визначення доцільного методу відновлення деталі

Позначення та назва дефекту	Показник			Оптимальний варіант відновлення
	Технологічний коефіцієнт K_T	Коефіцієнт довговічності K_d	Техніко-економічний коефіцієнт K	
Зношування опорної поверхні гальмівної колодки	наплавлення з вібраційним збудженням дуги	0,47	3928	-
	Електродугове наплавлення під захистом CO_2	0,77	2158	-
	Термічне напилення металу	0,77	1918	+

Таким чином, для відновлення поверхні під гальмівну колодку обрано метод металізації, який забезпечує необхідну точність, адгезію та зносостійкість покриття.

2.3.4. Визначення послідовності технологічних операцій

Металізація

Наплавити поверхню 2 під гальмівні колодки. Наплавити шар товщиною 3 мм.

У процесі відновлення використовуються такі основні обладнання та інструменти:

токарно-гвинторізний верстат 1К62 – для механічної обробки поверхонь перед і після металізації; металізатор ЕМ-12-65 – для нанесення металевого покриття методом газотермічного напилення; зварювальний випрямляч ВДУ-500 – як джерело живлення для металізатора; підігрівач і осушувач газу – для забезпечення стабільних параметрів подачі робочого газу; редуктор-витратомір ДРЗ-1-5-7 – для регулювання тиску та витрати вуглекислого газу; балон із

вуглекислим газом (тиск 7,5 МПа) – як джерело захисного газу під час процесу металізації; зварювальний дріт НП-30ХГСА – як присадковий матеріал для формування покриття; штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 – для виконання точних вимірювань геометричних параметрів деталі.

010 Шліфувальна

Шліфувати посадочну поверхню 2 під номінальний розмір.

Для виконання операцій шліфування та контролю параметрів поверхні використовуються такі обладнання та інструменти:

круглошліфувальний верстат 3420 – для остаточної обробки циліндричних поверхонь після металізації; шліфувальний круг ПП 40×40×13 25А 25 СМ1–СМ2 – як абразивний інструмент для досягнення необхідної чистоти та точності поверхні; центри та хомутик – для базування та закріплення деталі під час обробки; нутромір НИ-ПТ 50–100 0,001 – для високоточного вимірювання внутрішніх діаметрів після шліфування.

015 Заключна перевірка

Здійснити контроль розмірів і якості відновлених поверхонь.

Нутромір НИ-ПТ 450-500 0,001.

2.3.5. Обґрунтування режимів відновлювального процесу і нормування часу виконання операцій

Металізація

Напилити поверхню 2 з \varnothing 425 мм до \varnothing 419,5 мм на довжині 140 мм.

Під час виконання процесу металізації (наплавлення) прийнято такі технологічні режими:

- товщина нанесеного шару — $t = 2$ мм;
- діаметр електродного дроту — $d_e = 1,6$ мм;
- сила зварювального струму — $I = 280$ А;
- напруга дуги — $U = 34$ В;
- поздовжня подача металізатора — $S_{\text{поз}} = 1,2$ мм/об;
- швидкість напилення деталі — $V_{\text{нап}} = 10$ м/хв;

- швидкість подачі електродного дроту — $V_e = 2,5$ м/хв.

Частота обертання деталі становитиме

$$n = 318 \frac{V_{\text{нан}}}{d} = 318 \frac{10}{425} = 7,5 \text{ об/хв.} \quad (2.3)$$

Кількість проходів

$$i = \frac{D-d}{2 \cdot t} = \frac{425-419.5}{2 \cdot 2} = 1,38 \quad (2.4)$$

де D – діаметр після металізації, мм;

t – товщина нанесеного шару, мм.

Металізацію виконуємо за два проходи.

Основний час при наплавленні за формулою

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} = \frac{140 \cdot 2}{7,5 \cdot 1,2} = 31,1 \text{ хв.} \quad (2.5)$$

Допоміжний час включає операції, пов'язані з установленням та зняттям деталі, а також підготовкою обладнання до роботи. Для даної деталі час на встановлення та зняття становить $T_{д1} = 0,5$ хв., допоміжний час, пов'язаний із виконанням операції металізації за один прохід становить $T_{д2} = 0,9$ хв. [16, 17, 19].

У результаті загальний допоміжний час становить

$$T_d = T_{д1} + T_{д2} = 0,5 + (0,9 \cdot 2) = 2,3 \text{ хв.} \quad (2.6)$$

Визначення тривалості оперативного часу

$$T_{оп} = T_o + T_d = 31,1 + 2,3 = 33,4 \text{ хв.} \quad (2.7)$$

Тривалість додаткового часу обчислюється за формулою:

$$T_{\text{дод}} = \frac{T_{\text{оп}} \cdot K}{100} = \frac{33,4 \cdot 15}{100} = 5,01 \text{ хв.} \quad (2.8)$$

Тривалість підготовчо-заключного часу дорівнює $T_{\text{пз}} = 16 \text{ хв.}$ [17-19].

Таким чином, встановлена норма часу на дану операцію дорівнює:

$$T_{\text{н}} = T_{\text{о}} + T_{\text{д}} + T_{\text{дод}} + T_{\text{пз}} / 1 = 31,1 + 2,3 + 5,01 + 16 / 1 = 54,41 \text{ хв.} \quad (2.9)$$

010 Шліфувальна операція

Виконати шліфування поверхні №2 з діаметра $\varnothing 419,5 \text{ мм}$ до розміру $\varnothing 420 \text{ мм}$ на довжині 140 мм .

Для виконання операції шліфування прийнято такі параметри режиму обробки: поперечна подача — $s_{\text{поп}} = 0,01 \text{ мм/об}$; поздовжня подача, виражена у частках ширини шліфувального круга, — $\beta = 0,2$; швидкість різання — $V = 20 \text{ м/хв}$.

Для розрахунків прийнято ширину шліфувального круга $b = 20 \text{ мм}$.

Величина поздовжньої подачі визначається відповідно до формули:

$$S_{\text{п}} = b \times \beta = 0,2 \times 20 = 4 \text{ мм / об.} \quad (2.10)$$

Необхідний припуск на обробку визначається за формулою:

$$h = \frac{D - d}{2} = \frac{420 - 419,5}{2} = 0,25 \text{ мм.} \quad (2.11)$$

Визначення кількості проходів проводимо відповідно до прийнятої глибини зняття шару:

$$i = \frac{h}{C} = \frac{0,25}{0,06} = 4 \quad (2.12)$$

Прийнято виконувати шліфування у чотири проходи.

Розрахунок частоти обертання проводимо за виразом 2.3 [17 -19]:

$$n = 318 \frac{20}{419.5} = 15.1 \text{ хв}^{-1}.$$

Згідно з паспортними даними верстата, приймаємо частоту обертання $n = 20 \text{ хв}^{-1}$, оскільки верстат має безступінчасте регулювання швидкості обертів. Основний час визначаємо за формулою: [17-19]

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot s} \cdot k_3, \quad (2.13)$$

з якої k_3 – поправочний коефіцієнт на зачистні проходи (k_3 у межах 1,2–1,7).

$$T_o = \frac{(140 + 3) \cdot 4}{20 \cdot 4} \cdot 1,2 = 8.58 \text{ хв.}$$

Тривалість допоміжного часу, пов'язаного з установленням і зняттям деталі, дорівнює $T_{д1} = 0,5 \text{ хв}$, допоміжний час на один прохід приймається рівним $T_{д2} = 1 \text{ хв}$. (при виконанні операції на першій поверхні деталі). Після узагальнення всіх складових загальний допоміжний час становить [17-19]:

$$T_d = 0,5 + 1 = 1,5 \text{ хв.}$$

Визначення оперативного часу операції:

$$T_{оп} = 8,58 + 1,5 = 1,08 \text{ хв.}$$

Додатковий час при шліфуванні складає 9 % від величини оперативного часу.

$$T_{\text{дод}} = \frac{10.08 \cdot 9}{100} = 0,9 \text{ хв.}$$

Згідно з нормативними даними, підготовчо-заключний час при внутрішньому шліфуванні становить $T_{\text{пз}} = 12 \text{ хв.}$ [17].

Розрахункова норма часу для виконання операції складає:

$$T_{\text{н}} = 8,58 + 1,5 + 0,9 + (12/1) = 22,98 \text{ хв.}$$

У результаті розрахунків встановлено, що повний час відновлення деталі складає:

$$T_{\text{заг}} = T_{\text{н.мет}} + T_{\text{н.шл}} = 54,41 + 22,98 = 77,39 \text{ хв.} \quad (2.14)$$

2.4. Висновок

Із аналізу роботи гальмівних систем та механізмів впливає їх важливість так як від стану гальм залежить безпека руху та здоров'я людини. Так більшість відмов гальмівної системи автомобіля (близько 50 %) припадає на задній міст автомобіля. Аналіз відмов деталей гальмівної системи показав на досить високий рівень відмов гальмових барабанів (близько 30 %).

Встановлено, що впровадження відновлення барабанів дасть можливість подовжити їх ресурс в 2 рази, що дасть змогу також зменшити вплив на екологію так як на виготовлення нового барабану витрачається 60 кг металу, а на відновлення 4-6 кг.

Час відновлення одного гальмівного барабану становить 77,39 хв., а собівартість відновлення дасть змогу заощадити на одному диску близько 4000 грн.

3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ

3.1. Методика розрахунку і експериментального визначення гальмі- вного моменту та інтенсивності зносу наплавленого шару

Необхідний гальмівний момент, що розвивається під час гальмування автомобіля, визначається за рівнянням [20]

$$T = T_c^T + T_{in1}^T + T_{in2}^T - T_{oc} \quad (3.1)$$

з якої T_c^T - статичний момент, зумовлений дією сили тяжіння автомобіля під час гальмування; T_{in1}^T - інерційний момент, створюваний частинами приводу, які обертаються під час гальмування; T_{in2}^T - Інерційний момент, що створюється вантажем у процесі гальмування.

Величини моментів (T_c^T та T_{in2}^T) визначаються з урахуванням коефіцієнта корисної дії механізму, тобто з урахуванням того, що сили тертя в його елементах додатково сприяють процесу гальмування.

При випробуванні одного гальма запишемо:

$$T_T = T_{in1}^T - T_{oc} \quad (3.2)$$

з якої T_{oc} - момент опору, зумовлений тертям у вузлах механізму.

Момент, що створюється силами інерції, визначається через момент інерції обертових мас I за залежністю:

$$T_{in1} = I \frac{dw}{d\tau} \quad (3.3)$$

Момент інерції обертальних елементів розраховується за такою залежністю:

$$I = \frac{GD^2}{4} \quad (3.4)$$

з якої GD^2 – маховий момент механізму.

Приймаючи залежність між величинами лінійною $\frac{dw}{d\tau}$ та підставивши замість кутової швидкості її вираз через число обертів, маємо:

$$T_{in1} = \frac{GD^2 n_0}{38,2 \cdot \tau_T}, \quad (3.5)$$

з якої n_0 - початкова частота обертання;

τ_T - інтервал часу, необхідний для зниження швидкості до нуля.

Під час зупинки механізму без застосування гальма (режим вибігу) обчислене за даною формулою значення моменту інерційних сил відповідає власному моменту опору установки:

$$T_{oc} = \frac{GD^2 n_0}{38,2 \tau_{\psi}}, \quad (3.6)$$

з якої τ_{ψ} - тривалість вибігу.

Момент інерції обертальних частин у процесі гальмування обчислюється через час гальмування τ_T за формулою:

$$T_{in1}^T = \frac{T_{oc} \cdot \tau_{\psi}}{\tau_T} \quad (3.7)$$

Отже, гальмівний момент можна визначити за наступною формулою:

$$T_T = T_{oc} \left(\frac{\tau_v}{\tau_T} - 1 \right) \quad (3.8)$$

Експериментальні дослідження виконувалися на модернізованій установці ДМ-38М (рис. 3.1), яка обладнана двоколодковим гальмом типу ТКТ-100 із короткохідним електромагнітом МО-1006 та гальмівним шківом діаметром 100 мм.



а

б

Рисунок 3.1 – Модернізована машина ДМ-38М: а – загальний вигляд; б – конструктивна схема гальмівного вузла.

Двошвидкісний електродвигун 1 (рис. 3.2) з'єднано з обертовою масою за допомогою муфти 3. Ведена півмуфта конструктивно виконана у вигляді гальмівного шківа 4. Обертову масу утворюють вал 5, змонтований у підшипниках, та пакет дисків 7. Диски фіксуються на валу гайкою 8 і, з міркувань безпеки, розміщені в кожусі 9, який закривається захисною кришкою 10.

Час процесу гальмування або вибігу визначається секундоміром 11, який вмикається натисканням кнопки на щиті керування та вимикається автоматично за сигналом датчика, що фіксує момент зупинки вала двигуна 1. У режимі вибігу гальмо 4 не діє, а уповільнення механізму забезпечується дією внутрішнього моменту опору системи.

Гальмівний момент змінюється при регулюванні довжини пружини гальма, що здійснюється обертанням рукоятки 3. Поточне значення фіксується за положенням індикатора 9 на шкалі 10.

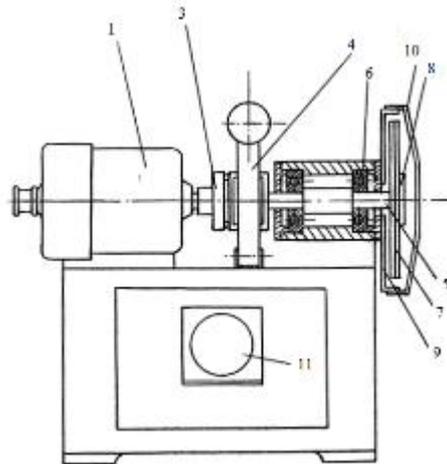


Рис. 3.2.—Випробувальна установка:¶

1—електродвигун; 3—муфта; 4—гальмо; 5—вал; 6—підшипник; 7—диски; 8—гайка; 9—кожух; 10—кришка; 11—секундомір¶

Під час модернізації установки гальмівні накладки від автомобіля КрАЗ монтувалися у перевернутому положенні на деках гальма ТКТ-100. Притискне зусилля регулювалося маховиком, а температура контролювалася за допомогою хромель-алюмелевої термопари та інфрачервоного пірометра AR-550. Всі параметри фіксувалися у програмі Віртуальний осцилограф Авангард.

Для визначення махового моменту установки використовується така формула:

$$GD^2 = (GD^2)_y + m(GD^2)_o \quad (3.9)$$

з якої $(GD^2)_y$ - для установки без комплекту дисків значення махового моменту дорівнює 0,055 кгм².

$(GD^2)_o$ - маховий момент одного диска становить 0,039 кг·м², а загальна кількість дисків, що беруть участь у обертанні, дорівнює m .

Також на установці ДМ 38 проводились випробування на знос зразків з наплавленим шаром рис. 3.3. Для цього було виготовлено диск з колодок методом склеювання декількох шарів, в результаті чого отримали диск діаметром 100 мм і довжиною 60 мм., який встановлюється на вал установки, а зразки з наплавленим шаром встановлювались в деку установки і притискалися до диску.

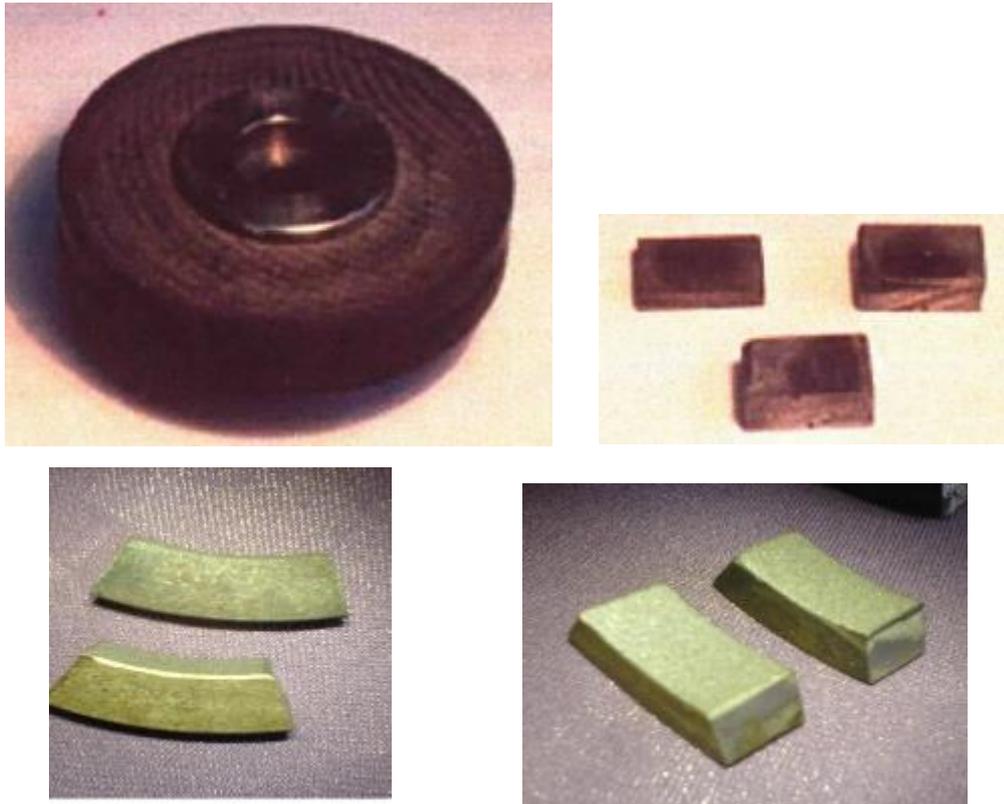


Рисунок 3.3 - Зразки, підготовлені для експериментальних випробувань



Рисунок 3.4 - Динаміка зміни температури та коефіцієнта тертя в часі

З аналізу експериментальної кривої видно, що при навантаженні 0,55 МПа максимальна температура поверхні чавунного диска через 300 с досягає приблизно 220 °С. Початковий інтервал часу (0–150 с) характеризується практично рівномірним зростанням температури зі швидкістю близько 1 °С/с. Подальше підвищення температури до рівня 200 °С супроводжується зменшенням швидкості нагріву до 0,3–0,35 °С/с. Водночас фіксуються суттєві температурні пульсації поверхневого шару, які при обертанні зразка сягають 30 °С.

3.2. Установа для металізації та результати експериментальних досліджень наплавленого шару

3.2.1. Експериментальна установка

Нами було запропоновано відновлення барабанів методом електроконтактної металізації. Принципова схема дослідної установки представлена на рис. 3.5, а загальний вид - на рис. 3.6.

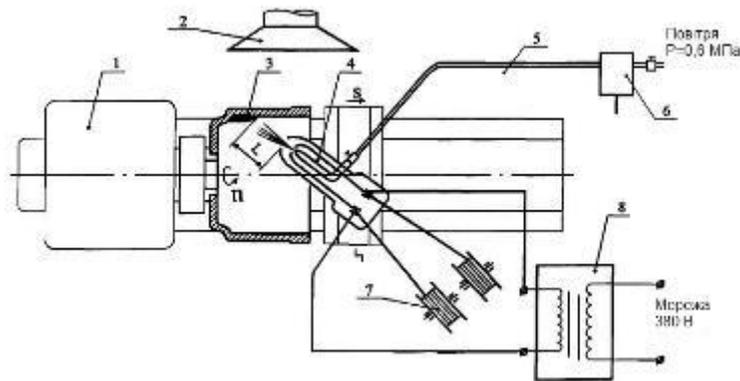


Рис. 3.5. Схема установки для автоматичного наплення деталей електроконтактним способом металізації: 1 – обертач; 2 – витяжний зонд; 3 – гальмівний барабан; 4 – металізаційна голівка; 5 – повітропровід; 6 – маслоступ; 7 – касета з дротом; 8 – джерело струму ВДУ.



Рисунок 3.6 - Загальний вид дослідно-виробничої установки для металізації гальмових барабанів

Технологія нанесення покриття складається з наступних операцій:

- попередня нарізка рваного різьблення глибиною 0,5...0,7 мм і кроком 2...3 мм;
- піскоструминна обробка до одержання матової поверхні. Тиск повітря 0,5...0,7 МПа. електрокорундом 14А (ТУ2-036-802-76) зернистістю 100...150 мкм. ГОСТ 3447-80;
- електродугова металізація. Металізатор ЭМ-12-67М. Дріт порошковий ПП-ММ2 або ПП-ТП1. Стиснене повітря 0,55...0,60 МПа.



Рисунок 3.7 - Обробка барабану після нанесення покриття



Рисунок 3.8 - Проведення вимірювань дослідних барабанів

3.2.2. Дослідження режимів відновлення

Нанесення металізованого шару може виконуватись як на внутрішні, так і на зовнішні поверхні конструкцій при кутах розпилення розплавленого металу від 45° до 90° відносно поверхні деталі. Для отримання рівномірного та якісного покриття струміль металу необхідно направляти під прямим кутом до поверхні, дотримуючись оптимальної відстані між соплом металізатора та виробом, яка не перевищує 150–200 мм. У таблиці 3.1. представлені дані про вплив дистанції розпилення на характеристики металізованого шару.

Таблиця 3.1. Фізико-механічні властивості покриття при різній дистанції металізації

Властивості*	Відстань від сопла до деталі, мм					
	25	50	75	100	200	300
Міцність зчеплення, МПа	110	120	130	140	140	130
Зміст у покритті оксидів, %	8	10	15	18	30	45
Загальна пористість, %	6,71	6,71	5,9	6,13	7,5	8,0
Твердість покриття (HV)	216	225	309	280	224	195
Межа міцності, МПа:						
При розтяганні	160	200	220	200	160	120
При стиску	1510	1450	1200	1020	850	570
*Покриття отримані при силі струму 90 А і напрузі 30 В.						

Для підвищення ефективності процесу нанесення покриттів електродуговим методом дугу інтенсифікують шляхом обдування її потоком газу, впливу електромагнітного поля або використання розрядів із дуже високою густиною струму на електродах. Підвищену щільність струму отримують шляхом зменшення перерізу електродів або застосуванням потужнострумівих електричних розрядів. Ущільнення металізованих шарів забезпечують, сполучаючи процес напилювання й дробеструмівної обробки. Дріб направляється так, що її удари викликають пластичну деформацію тільки що напилюваного шару.

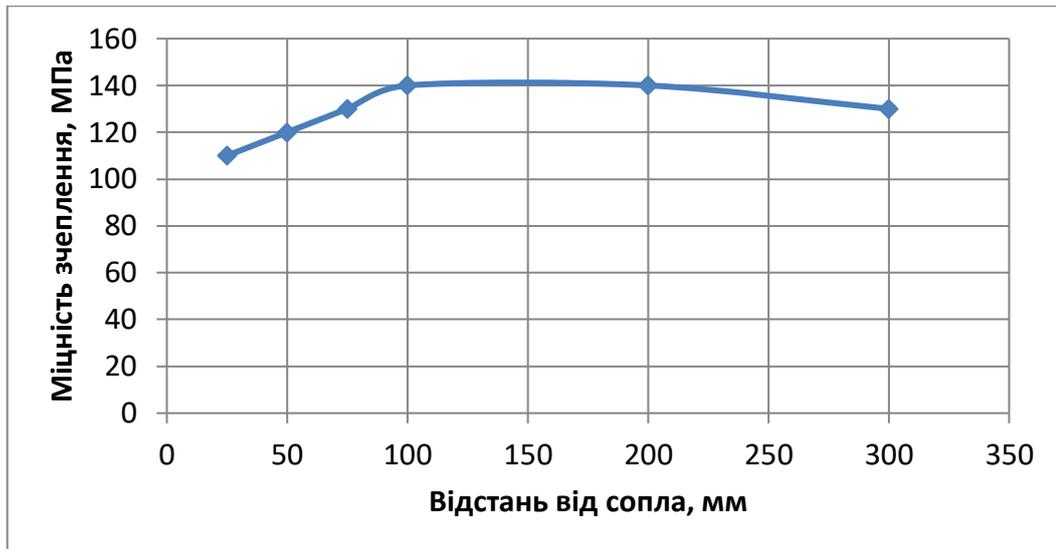


Рисунок 3.9 - Залежність міцності покриттів від відстані від сопла до деталі

Як видно з рисунку найбільш ефективною є відстань рівна 100 мм, так як при цій відстані найбільш міцне покриття.

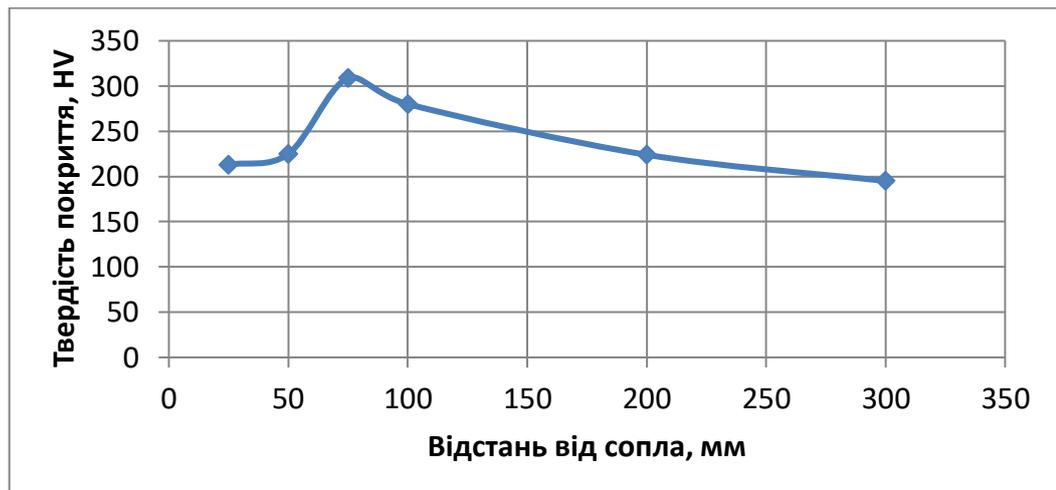


Рисунок 3.10 - Залежність твердості покриттів від відстані від сопла до деталі

Як видно найбільша твердість покриття лежить в межах відстані від сопла 75-100 мм.

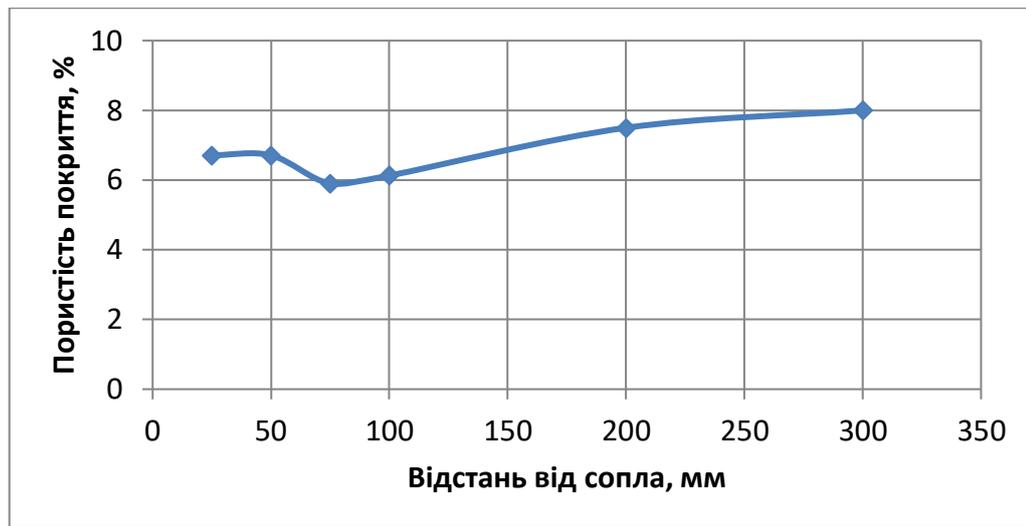


Рисунок 3.11 - Залежність пористості покриттів від відстані від сопла до деталі

Також аналізуючи рисунок видно, що найменша пористість покриття лежить в межах 75-100 мм.

Таким чином найбільш оптимальним є відновлення деталі на відстані від сопла 75-100 мм.

3.2.3. Дослідження зносу зразків

Оцінювання зносостійкості різних пар тертя проводили шляхом зіставлення швидкостей їх зношування, визначених за втратою маси зразків у процесі ковзання. Під час аналізу враховували зносостійкісні характеристики як окремих зразків і ролика, так і всього трибологічного сполучення в цілому. Розрахунок здійснювали відповідно до формули 3.10.

$$I = \frac{\Delta M}{T} \quad (3.10)$$

де ΔM - втрати маси зразка, мг;

T – тривалість дослідження, год.

Другим важливим критерієм під час випробувань на зношування досліджуваних пар тертя виступає коефіцієнт ковзного тертя. Його визначають за значенням моменту тертя, що дозволяє охарактеризувати триботехнічні

властивості всього сполучення. Розрахункове значення коефіцієнта тертя для конкретної пари визначається згідно з формулою 3.11.

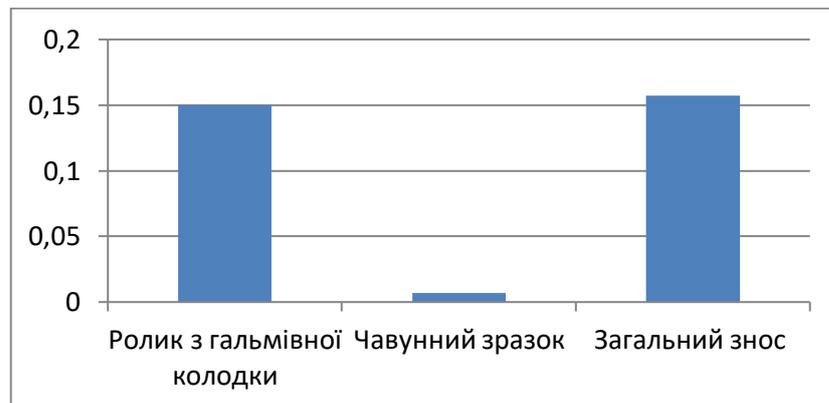
$$f = \frac{2 \cdot M_{ф.тер}}{P \cdot D_p} \quad (3.11)$$

де $M_{ф.тер}$ – фактичний момент тертя, Н·см ;

$D_p = 12,5$ см - діаметр ролика;

P - зусилля притиску зразка до ролика, Н.

Результати лабораторних досліджень, проведених на машині ДМ 38 представлено на рис. 3.12.



а



б

Рисунок 3.12 - Діаграма зміни швидкості зношування зразків - Vr/год при зусиллі навантаження $P_c = 60$ Н і тривалості випробування $T = 2$ год

З рис. 3.12 випливає, що швидкість зношування ролика (гальмової колодки) збільшилася незначно на 2...2,5%, а швидкість зношування нарощених зразків як після механічної обробки, зменшилась до 30%. Це можна пояснити не тільки за рахунок деякого збільшення середньої твердості нарощеного шару в порівнянні із чавуном, але й деякими змінами коефіцієнта тертя в сполученні колодка - нарощений шар. Істотної різниці по швидкості зношування й коефіцієнту тертя між нарощеними зразками й обробленими механічним різанням і способом ЕКО не виявлене.

За результатами проведених лабораторних випробувань на зносостійкість відновлених деталей можна стверджувати, що висунута гіпотеза щодо підвищення ресурсу роботи відновлених гальмівних барабанів та зменшення інтенсивності їх зношування повністю підтвердилася.

3.3. Висновок

У результаті проведених експериментальних досліджень і експлуатаційних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Експериментально доведена вірогідність запропонованої закономірності по впливу режимів обробки на максимальну подачу електрода-інструмента на один оберт деталі.

2. Експериментально визначена закономірність відносного зношування електрода-інструмента й визначене його чисельне значення.

3. Лабораторні й експлуатаційні дослідження зі зносостійкості відновлених гальмових барабанів підтвердили передумову про можливість і доцільності широкого впровадження результатів дослідження при модернізації токарських верстатів для ЕКО й технології відновлення барабанів.

4. ОРГАНІЗАЦІЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

4.1. Вимоги безпеки при проведенні експериментальних досліджень колодкових гальм

Проведення експериментальних досліджень гальмівних систем, зокрема колодкових гальм, потребує суворого дотримання правил техніки безпеки, оскільки під час роботи випробувальних установок виникають небезпечні фактори — механічні, електричні, термічні та шумові. Основна мета заходів безпеки полягає у створенні безпечних умов праці для обслуговувального персоналу, запобіганні травмам, пожежам, коротким замиканням та аварійним ситуаціям [24].

Перед початком випробувань працівник зобов'язаний пройти вступний і первинний інструктаж із питань охорони праці, ознайомитися з будовою експериментальної установки, правилами її пуску, зупинки та аварійного відключення. Особлива увага приділяється вивченню схем живлення електродвигунів, системи керування, способів регулювання навантаження та вимірювальних приладів. До роботи допускаються лише особи, які мають відповідну кваліфікацію, практичні навички та посвідчення на право роботи з електрообладнанням.

Перед увімкненням установки необхідно перевірити надійність кріплення всіх обертових частин — валів, дисків, муфт, а також наявність і справність захисних кожухів. Забороняється проводити будь-які ремонтні чи регулювальні роботи при працюючому двигуні або при обертанні гальмівного шківів. Всі вимірювальні прилади, термомпари, пірметри та датчики повинні бути справними, мати заводське калібрування і бути заземленими відповідно до вимог ПУЕ.

При дослідженнях, пов'язаних з гальмуванням, можливе значне нагрівання гальмівних колодок і дисків. Тому експериментальна установка повинна бути обладнана тепловими екранами та вентиляційною системою, що забезпечує відведення тепла. Під час роботи не допускається доторкатися до гальмівних елементів, поки їх температура не знизиться до безпечного рівня — нижче 40 °С. Для захисту від опіків оператор повинен користуватися брезентовими рукавицями, спецодягом з негорючої тканини та захисними окулярами.

Електробезпека забезпечується шляхом використання ізольованих проводів, надійного заземлення корпусу установки, а також застосування автоматичних вимикачів і пристроїв захисного відключення (ПЗВ). Усі металеві частини, що можуть опинитися під напругою, повинні бути з'єднані з контуром заземлення. Перевірку опору ізоляції проводять не рідше одного разу на шість місяців. При виявленні запаху горілої ізоляції, іскріння або сторонніх звуків установка негайно вимикається, а робота припиняється до усунення несправності [24].

Особливу увагу слід приділяти роботі з обертовими елементами. Усі частини приводу, що обертаються, мають бути закриті металевими або прозорими екранами, які запобігають викиду частинок матеріалу або уламків при руйнуванні зразка. Забороняється перебувати в площині обертання диска або маховика. Запуск установки допускається лише після переконання у відсутності сторонніх предметів у зоні обертання.

Під час експериментів, що супроводжуються виділенням пилу чи диму (наприклад, при терті колодок об металеві диски), необхідно забезпечити роботу місцевої витяжної вентиляції. При концентрації пилу понад допустимі норми оператор повинен користуватись респіратором типу РПГ-67 або аналогічним засобом захисту органів дихання. Рівень шуму під час роботи установки не повинен перевищувати 80 дБ; за необхідності застосовують протишумові навушники або вкладиші.

У процесі експериментів забороняється:

– залишати установку без нагляду під час роботи;

- вносити зміни до схеми електричного підключення без дозволу керівника робіт;
- працювати при несправних приладах контролю або сигналізації;
- змащувати чи охолоджувати деталі під час обертання;
- знімати захисні кожухи та кришки до повної зупинки механізму.

Для попередження аварійних ситуацій установка повинна бути обладнана аварійною кнопкою Стоп або рубильником, розташованим у безпосередній близькості від робочого місця оператора. На пульті управління мають бути чітко позначені положення вимикачів і сигнальні лампи, що вказують на режим роботи.

У разі виникнення пожежі необхідно негайно знеструмити установку та скористатися вогнегасником вуглекислотного або порошкового типу. Забороняється гасити електроустановки водою чи пінними засобами. Про подію слід повідомити відповідальну особу з охорони праці та діяти згідно з інструкцією з ліквідації надзвичайних ситуацій.

Дотримання зазначених вимог безпеки є обов'язковою умовою під час проведення експериментальних досліджень колодкових гальм. Виконання правил охорони праці гарантує збереження життя та здоров'я персоналу, запобігає пошкодженню обладнання і забезпечує достовірність результатів досліджень.

4.2. Шкідливі та небезпечні фактори при відновленні гальмівних барабанів наплавленням

Процес відновлення гальмівних барабанів методом наплавлення належить до категорії робіт з підвищеною небезпекою. Під час виконання таких технологічних операцій на працівників діє комплекс шкідливих і небезпечних виробничих факторів фізичного, хімічного, термічного та електричного характеру. Невиконання вимог безпеки може призвести до травм, опіків, ураження

електричним струмом або негативного впливу шкідливих речовин на органи дихання.

Фізичні фактори

До фізичних небезпек під час наплавлення належать інтенсивне теплове випромінювання, ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання електричної дуги, високий рівень шуму, вібрація, а також наявність рухомих частин устаткування [25].

Температура в зоні наплавлення може перевищувати 3000 °С, що створює ризик опіків відкритих ділянок тіла. Інтенсивне інфрачервоне випромінювання призводить до перегрівання організму, а ультрафіолетове – до опіків очей та шкіри (так званий електроофтальміт).

Шум від роботи зварювальних апаратів і вентиляційних систем може досягати рівня 90–100 дБ, що перевищує допустимі норми. Вібрація передається через рукоятки інструментів і викликає швидку втому м'язів рук, а при тривалій дії — порушення периферичного кровообігу.

Хімічні фактори

Під час наплавлення утворюються аерозолі металів і шкідливі гази: оксиди заліза, марганцю, хрому, а також фтористі сполуки, які виділяються з флюсу. Вміст цих речовин у повітрі робочої зони може перевищувати гранично допустимі концентрації, що становить небезпеку для органів дихання.

При вдиханні парів і диму можливі запаморочення, подразнення слизових оболонок, ураження дихальних шляхів і хронічні захворювання бронхолегеневої системи.

Особливо небезпечним є зварювальний аерозоль, що містить дрібнодисперсні частинки металів діаметром менше 5 мкм, які легко проникають у легені. Тому при роботі необхідно забезпечити ефективну місцеву вентиляцію та використовувати респіратори типу РПГ-67, РУ-60М або аналоги з фільтрами класу FFP2–FFP3.

Термічні фактори

Високі температури при дуговому або газовому наплавленні створюють ризик виникнення опіків не лише від дуги, але й від контакту з нагрітими деталями, електродами та шлаками.

Розбризування розплавленого металу під час процесу може стати причиною опіків рук, обличчя або очей. Для запобігання цьому необхідно використовувати засоби індивідуального захисту: зварювальний щиток з фільтром типу С-5, брезентовий костюм або костюм зі спилку, краги, фартух, спеціальне взуття з теплостійкою підошвою.

Після завершення роботи забороняється торкатися деталі, поки вона не охолоне до температури нижче 40 °С.

Електричні фактори

Під час дугового наплавлення оператор має справу з електричним струмом високої сили — до 300 А і напругою до 40 В на дузі. Імовірність ураження електричним струмом виникає при пошкодженні ізоляції кабелів, недбалому заземленні або доторканні до корпусу установки, що перебуває під напругою.

Всі металеві частини обладнання мають бути надійно заземлені, а силові кабелі — ізольовані, без тріщин та оголених ділянок. Робоче місце повинно бути сухим, а працівник — стояти на гумовому килимку або дерев'яній решітці. Забороняється працювати у вологому одязі чи рукавицях.

Інші небезпечні фактори

Під час наплавлення можуть виникати іскри та бризки металу, що створюють ризик займання легкозаймистих матеріалів. Тому робоче місце необхідно очищати від мастил, ганчір'я, паперу й горючих речовин. У зоні виконання робіт мають бути встановлені вогнегасники порошкового або вуглекислотного типу.

До додаткових небезпек належать можливі вибухи балонів зі стисненими газами при порушенні правил їх експлуатації. Балони з киснем і горючими газами слід зберігати окремо, на відстані не менше 5 м один від одного, подалі від джерел тепла.

4.3. Заходи по уникненню нещасних випадків під час відновлення гальмівних барабанів

Для забезпечення безпечних умов праці при відновленні гальмівних барабанів необхідно дотримуватися комплексу організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на запобігання травмам і аварійним ситуаціям. Перед початком робіт працівники повинні пройти медичний огляд, вступний і первинний інструктаж з охорони праці, ознайомитися з інструкцією з експлуатації зварювального або наплавлювального обладнання, а також із порядком дій у разі аварії. До робіт допускаються лише особи, які мають відповідну кваліфікацію, посвідчення зварника та допуск до робіт підвищеної небезпеки.

Одним із головних напрямів попередження нещасних випадків є правильна організація робочого місця. Зона виконання наплавлювальних робіт повинна бути сухою, чистою та добре освітленою. Робоча поверхня очищається від мастил, пилу, металевої стружки та сторонніх предметів, що можуть спричинити загоряння. Балони з газом або киснем встановлюються у вертикальному положенні на відстані не менше 5 метрів від джерел тепла та захищаються від прямих сонячних променів. У безпосередній близькості до робочого місця мають бути вогнегасники вуглекислотного або порошкового типу, а також пісок і кошма для гасіння дрібних займань.

Важливе значення має застосування справних засобів індивідуального захисту. Працівник повинен бути забезпечений захисним зварювальним щитком із затемнювальним фільтром, брезентовим костюмом або спецодягом зі спилку, крагами, фартухом і взуттям на гумовій підшві. При проведенні наплавлення у замкнених або погано вентильованих приміщеннях обов'язковим є використання респіратора для захисту органів дихання від шкідливих газів та пилу. Усі металеві частини обладнання повинні бути заземлені, а кабелі перевірені на відсутність пошкоджень ізоляції. Забороняється працювати у вологому одязі або торкатися металевих частин без рукавиць.

Особливу увагу необхідно приділяти безпеці при роботі з електрообладнанням і нагрітими деталями. Перед початком роботи перевіряється справність вимикачів, рубильників, заземлення та автоматів захисту. Під час наплавлення забороняється змінювати електроди, очищати шлак або проводити регулювання приладів, не вимкнувши напругу. Деталі, що пройшли наплавлення, мають високу температуру, тому їх охолодження необхідно проводити в спеціально відведеному місці, використовуючи металеві піддони або термостійкі екрани. Доторкатися до гарячих деталей дозволяється лише після зниження температури до безпечного рівня або за допомогою спеціального інструменту.

Крім технічних і організаційних заходів, важливо забезпечити постійний контроль стану повітряного середовища, рівня шуму та освітленості на робочому місці. У приміщенні повинна функціонувати ефективна система загальнообмінної та місцевої вентиляції для видалення диму й зварювальних газів. Кожен працівник зобов'язаний дотримуватись правил внутрішнього трудового розпорядку, негайно повідомляти керівництво про виявлені несправності або небезпечні ситуації. Лише сумлінне виконання вимог охорони праці, постійний контроль за технічним станом обладнання і дисциплінованість персоналу гарантують запобігання нещасним випадкам при відновленні гальмівних барабанів.

4.4. Висновок

Проведення робіт з відновлення гальмівних барабанів методами наплавлення, шліфування та механічної обробки потребує особливої уваги до питань охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях. У процесі виконання цих технологічних операцій працівники стикаються з дією комплексу небезпечних факторів — високої температури, електричного струму, випромінювання, шуму, пилу, токсичних газів і рухомих частин обладнання. Тому забезпечення безпечних умов праці є невід'ємною частиною технологічного

процесу та важливою передумовою якісного й надійного виконання ремонтно-відновлювальних робіт.

Основними напрямками запобігання нещасним випадкам є правильна організація робочого місця, справність обладнання, наявність захисних екранів і заземлення електроустановок. Значну роль відіграють заходи колективного та індивідуального захисту — використання спецодягу, зварювальних щитків, крав, респіраторів, вентиляційних систем і систем аварійного вимкнення. Не менш важливим є систематичний контроль стану повітряного середовища, дотримання норм освітленості, шуму та мікроклімату в робочій зоні.

Особливу увагу необхідно приділяти підготовці персоналу — проведенню вступних, первинних і повторних інструктажів, навчання правилам надання першої допомоги та діям у надзвичайних ситуаціях. Важливо, щоб кожен працівник знав розташування засобів пожежогасіння, аварійних вимикачів і шляхів евакуації. Наявність чіткої системи контролю, дисциплінованість і відповідальність виконавців забезпечують зниження виробничого травматизму та підвищують загальний рівень безпеки праці.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що впровадження комплексних заходів охорони праці та системи профілактики небезпечних ситуацій дозволяє не лише уникнути травм і аварій, але й підвищити ефективність виробництва. Безпечна організація процесу відновлення гальмівних барабанів сприяє збереженню здоров'я працівників, підвищенню якості ремонтних робіт і стабільній роботі підприємства в цілому.

5. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ

Економічна ефективність реконструкції або модернізації ремонтної ділянки визначається не лише технічними можливостями обладнання, а насамперед співвідношенням витрат і результатів. У даному розділі виконується аналіз доцільності впровадження технології електроконтактного відновлення гальмівних барабанів як альтернативи закупівлі нових деталей. Такий підхід дозволяє знизити матеріальні витрати, скоротити строки ремонту й підвищити рентабельність діяльності підприємства.

Оцінювання ефективності проекту базується на комплексному розрахунку капітальних та поточних витрат, енергоспоживання, трудомісткості робіт і економії від запровадження відновлювальних технологій. Розрахунки здійснено для умов ремонтної майстерні товариства, в якій організовано ділянку з відновлення гальмівних барабанів, що функціонує у штатному режимі однієї зміни. Особливу увагу приділено визначенню строку окупності капітальних вкладень, чистої приведеної вартості (npv), рівня рентабельності та річної економії.

Метою розрахунків є обґрунтування доцільності впровадження даної технології з економічної точки зору та формування рекомендацій щодо підвищення ефективності роботи ремонтної ділянки. Проведена оцінка дозволяє встановити, наскільки впровадження процесу електроконтактного відновлення барабанів забезпечує економію коштів, енергоресурсів і робочого часу у порівнянні з традиційним ремонтом чи заміною деталей на нові.

Мета розділу — оцінити економічну доцільність відновлення гальмівних барабанів електроконтактним способом порівняно з закупівлею нових, а також визначити ключові показники ефективності інвестицій у модернізацію ділянки.

Оцінка виконана у трьох сценаріях:

Базовий — у собівартість відновлення входять: процес (1800 грн/шт), електроенергія, фонд оплати праці 2 працівників (20 000 грн/міс кожен) + ЄСВ 22%.

Маржинальний (для управлінських рішень) — зарплата вважається фіксованою (вже існує в бюджеті), тому враховано лише процес і енергію.

Песимістичний — до базового додаються накладні витрати 15% (адміністративні, інструмент, ремонт).

Для виконання розрахунків економічної ефективності використано показники, подані в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Показники, необхідні для проведення розрахунків економічної ефективності проекту

Найменування	Кількість	Значення
Вартість придбання нового гальмічного барабана, грн	1	9000
Вартість відновлення барабана електроконтактним способом, грн/шт.	1	1800
Кількість барабанів, що відновлюються за рік, шт.	-	100
Річний обсяг виробництва або ремонту, шт	-	100
Енергоспоживання процесу (кВт·год на один барабан)	3,8	3,8
Вартість електроенергії, грн/кВт·год.	1	11,0
Заробітна плата працівників, грн	2	40000
Капітальні витрати на модернізацію, грн	-	250000

Крім зазначеного, також слід врахувати тривалість робочої зміни працівника – 8 годин, субота та неділя вихідні.

Враховуючи дані таблиці 5.1, розрахуємо річну собівартість закупівлі нових барабанів за формулою [26]

$$C_{\text{new}} = C_{\text{нб}} \cdot Q, \quad (5.1)$$

де $C_{\text{нб}}$ - вартість нового барабана, грн;

Q - кількість необхідних нових барабанів шт/рік.

$$C_{\text{new}} = 9000 \cdot 100 = 900000 \text{ грн.}$$

Також необхідно врахувати витрати на електроенергію, для чого скористаємось наступним виразом

$$C_{\text{el}} = Q \cdot E \cdot P_e, \quad (5.2)$$

де E - витрати електроенергії на відновлення одиниці барабану, кВт-год/од;

P_e - вартість 1 кВт/год електроенергії, грн.

$$C_{\text{el}} = 100 \cdot 3,8 \cdot 11 = 4180 \text{ грн / рік.}$$

Прорахуємо витрати на заробітну плату з відрахуваннями працівникам, якщо відомо, що у майстерні працює два робітника та їх заробітна плата становить 20000 грн на місяць. Отже

$$C_{\text{pay}} = N \cdot Z \cdot 12 \cdot (1 + \text{ССВ}), \quad (5.3)$$

де N – кількість працівників, чол; Z – заробітна плата одного працівника, грн.

$$C_{\text{pay}} = 2 \times 20000 \times 12 \times 1,22 = 585600 \text{ грн / рік.}$$

Річна собівартість відновлення (база):

$$C_{\text{rest}}^{\text{base}} = Q \cdot C_{\text{відн}} + C_{\text{el}} + C_{\text{pay}} \quad (5.4)$$

$$C_{\text{rest}}^{\text{base}} = 100 \cdot 1800 + 4180 + 585600 = 769780 \text{ грн}$$

Отже, отримаємо річну економію між закупівлею нових барабанів та їх відновленням

$$S_{\text{base}} = C_{\text{new}} - C_{\text{rest}}^{\text{base}} = 900000 - 769780 = 130220 \text{ грн}$$

Термін окупності капітальних вкладень складе

$$T_{\text{ок}}^{\text{base}} = \frac{I_0}{S_{\text{base}}} = \frac{250000}{130220} \approx 1,92 \text{ року}$$

Отже, провівши необхідні розрахунки, можна зробити висновок, що за базового підходу проект економічно доцільний: окупність складає трохи менше двох років.

ВИСНОВКИ РОБОТИ

Проведено дослідження можливих способів відновлення гальмівних барабанів вантажних автомобілів з якого встановлено, що найбільш ефективним є спосіб електроконтактної металізації. Перевагою способу є можливість використання спеціальних дротів для наплавлення чавунних деталей.

Крім того, результати експлуатаційних спостережень показали, що інтенсивність зношування колодок і барабанів суттєво різниться залежно від осі автомобіля. Найменше спрацювання зафіксовано на гальмах переднього моста. Дещо вищі значення зносу притаманні середньому мосту, тоді як максимальна інтенсивність зношування припадає на задній міст, де величина спрацювання може досягати приблизно 50 % від загального обсягу зносу всіх гальмівних механізмів.

Визначено, що застосування відновлення гальмівних барабанів в декілька разів підвищує ресурс гальмівного барабану і може багаторазово відновлюватись.

Обґрунтовано час відновлення одного гальмівного барабану, який становить 77,39 хв., а собівартість відновлення дасть змогу заощадити на одному диску близько 1800 грн.

У ході проведених випробувань встановлено, що під час гальмування за навантаження 0,55 МПа температура чавунного диска за перші 300 секунд підвищується до приблизно 220 °С. На початковому інтервалі дослідження (до 150 с) фіксується майже лінійний ріст температури зі швидкістю близько 1 °С за секунду.

Коли температура наближається до 200 °С, інтенсивність нагрівання поступово знижується до 0,3–0,35 °С/с. У цей період спостерігаються значні коливання температури у поверхневому шарі зразка під час його обертання, які в окремих випадках сягають 30 °С.

Для випробувань пропонується застосування модернізованої установки ЕМ-12-67М для якої використовується дріт порошковий ПП-ММ2 або ПП-ТП1, стиснене повітря з тиском 0,55...0,60 МПа.

Встановлено найбільш ефективну відстань від сопла установки до деталі, яка рівна 75 - 100 мм, так як при цій відстані найбільш міцне покриття, при даній відстані покриття набуває найбільшої твердості та найменшої пористості.

Досліджено інтенсивності зносу зразків і встановлено, що швидкість зношування ролика (гальмової колодки) збільшилася незначно на 2...2,5%, а швидкість зношування нарощених зразків як після механічної обробки, зменшилась до 30%. Це можна пояснити не тільки за рахунок деякого збільшення середньої твердості нарощеного шару в порівнянні із чавуном, але й деякими змінами коефіцієнта тертя в сполученні колодка - нарощений шар. Істотної різниці по швидкості зношування й коефіцієнту тертя між нарощеними зразками й обробленими механічним різанням і способом ЕКО не виявлено.

Провівши аналіз діяльності підприємства було визначено стан охорони праці на СТО як задовільний. Добре налагоджена служба охорони праці дає можливість уникати травмувань робітників. Керівництво СТО дбає про працівників і контролює їх стан та час роботи (щоб працівники не працювали більше норми).

Результати техніко-економічного аналізу свідчать, що за базового підходу проект економічно доцільний: окупність складає трохи менше двох років.

ЛІТЕРАТУРА

1. Череп А.А. Аналітичне дослідження надійності електрообладнання машинно-тракторного парку та шляхи її підвищення [Текст] / А.А. Череп, Є.В. Калганков // Zbiór artykułów naukowych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej «Inżynieria i technologia. Współczesne tendencje w nauce i edukacji». Warszawa: Sp. zo.o. «Diamond trading tour»: 2016. – с. 19-23.
2. Haq, M. T., Ampadu, V.-M. K., & Ksaibati, K. (2023). An investigation of brake failure related crashes and injury severity on mountainous roadways in Wyoming. *Journal of Safety Research*, 84, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2022.10.003>
3. Кисліков В. Ф. Будова й експлуатація автомобілів: [Підручник] / В. Ф. Кисліков, В. В. Лущик. - 6-те вид. - К.: Либідь, 2006. - 400 с.
4. Мирошник А.В. (2025). Дослідження довговічності та надійності барабанних гальм вантажних автомобілів за енергетичним критерієм руйнування. У Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Інжиніринг технологій і технічних систем агропромислового комплексу» (21 листопада 2025 р., Дніпро) (с. 39–42). ДДАЕУ.
5. Ремонт машин та обладнання: підручник для вищих навчальних закладів / [Дирда В.І., Мельянцов П.Т., Калганков, Є.В. та ін.]. – Дніпропетровськ: Журфонд, 2015. – 292 с.
6. Бутенко В.Г. Ремонт машин в АПК України: Організація, проектування, оптимізація [Навчальний посібник] / Бутенко В.Г. – Дніпропетровськ: Дніпропетровський державний аграрний університет, 1997 р., 159 с.
7. Дирда В.І. Проектування сервісних підприємств ремонту машин та агрегатів АПК [Навчальний посібник] / Дирда В.І., Калганков Є.В., Мельянцов П.Т., Толстенко О.В., Кириленко О.І., Цаніді І.М.– Д.: «Герда», 2014. – 100 с.

8. Мельянцов П.Т. Методичні рекомендації «Організація та технологія ремонту МТП в умовах сільськогосподарського підприємства» / Мельянцов П.Т., Калганков Є.В., Кириленко О.І. – Д.: ДДАУ, 2010. – 125 с.

9. Мельянцов П. Т. Організація використання техніки за умов дефіциту матеріально - технічних ресурсів / П. Т. Мельянцов, Є. В. Калганков. // Zbiór raportów naukowych. „Inżynieria i technologia. Teoria. Praktyk Sp. z o.o. «Diamond trading tou. – 2010. – С. 84–87.

10. Ніколенко, О., & Калганков, Є. (2019). Дослідження надійності гільз циліндрів автотракторних двигунів та обґрунтування шляхів підвищення їх довговічності. У *Модернізація та наукові дослідження: Парадигма інноваційного розвитку суспільства і технологій* (с. 200–204). ГО «Інститут інноваційної освіти»; Науково-навчальний центр прикладної інформатики НАН України.

11. Армашов Ю.В. Надійність сільськогосподарської техніки: навчальний посібник / Ю.В. Армашов, П.К. – Дніпропетровськ.: РВВ ДДАУ, 2008. – 208 с.

12. Калганков Є.В. Деякі проблеми гідроабразивно-втомного зносу деталей об'ємного гідроприводу мобільних машин / Є.В. Калганков // *Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць.* — Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ. – 2013. – №108. – С. 133-142.

13. Kalhankov, Ye.V.(2017), “Features of fractal analysis of fractured surfaces of the rubber liners, which work in conditions of abra-sive and fatigue wear”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 133, pp. 66-74.

14. Warringah Brakes & Clutch Centre. (2025, November). *Brake drum resurfacing vs replacement — what's right for your vehicle.* Warringah Brakes & Clutch Centre.

15. *Реновація.* (б. д.). <https://uk.wikipedia.org>. <https://uk.wikipedia.org/wiki>

16. *Барабан гальм. задн. КРАЗ (вир-во АвтоКрАЗ) 255Б-3502070-13.* (б. д.). <https://avtogradus.com.ua>. <https://avtogradus.com.ua/ua/p1865627486->

[baraban-torm-](#)

[zadn.html?srsltid=AfmBOoqUSNjcFhq2a92Ew1cd8NkBsYBJSJi_0sg8djVUiAcEwxVMSgz](#)

18. Калганков Є.В. Розробка технологічного процесу відновлення деталі [Методичні рекомендації] / Калганков Є.В. – Дні-вськ: ДДАЕУ, 2013. – 75 с.

19. Калганков Є.В. Проектування ремонтно-технологічної документації [Навчальний посібник. Довідкова інформація] / Є.В. Калганков, М.Г. Зайцев. Дніпро. ДДАЕУ, 2016. – 48 с.

20. Дирда В.І. Довідковий посібник розрахунків механізмів сільськогосподарських та підйомно-транспортних машин: навчальний посібник / В.І. Дирда, Ю.М. Овчаренко - Дніпропетровськ, 2003. – 52 с.

21. Калганков Є., Науменко М. Синергетична модель взаємодії поверхонь тіл за умови фрикційного контакту з'єднання "Пята плунжера-похила шайба" об'ємного гідропривода трансмісії мобільних машин. *Геотехнічна механіка*. 2013. № 108. С. 164–173.

22. Kalhankov, Ye.V. (2013), "Calculation of the durability of rubber linings of ball ore grinding mills, taking into account the aging of rubber", *Geo-Technical Mechanics*, no. 113, pp. 181-202.

23. Мельянцов П.Т. Додаткові показники ремонтпридатності гідравлічних трансмісій мобільних машин при технічному обслуговуванні і ремонті [Текст] // П.Т. Мельянцов, О.І. Кириленко. Т.В. Черних та ін. – Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – № 134. – 2013. – С. 44 - 51.

24. Основи охорони праці: / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний. - К.: Основа, 2006 — 448 с

25. Агальцов, Г. М., Лисиця, М. І., Новікова, А. В., & Калганков, Є. В. (2024). Оцінка та управління ризиками, пов'язаними з виробничим шумом та вібраціями на виробництві. У *«ПОТУРАЇВСЬКІ ЧИТАННЯ»: матеріали XXI Всеукр. наук.-техн. конф., присвяч. 102- річниці з дня народження акад. НАН*

України В.М. Потураєва (с. 61-62). НТУ Дніпровська політехніка.
<https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/10825>

26. Вінніченко І. Методичні рекомендації з економічного обґрунтування дипломних робіт для студентів факультету механізації сільського господарства. Дніпро : ДДАЕУ, 2016. 27 с.

27. Калганков Є.В. Методичні рекомендації до виконання і оформлення дипломних проектів ОС "Бакалавр" за спеціальністю 208 "Агроінженерія" і дипломних робіт ОС "Магістр" за спеціальністю 208 "Агроінженерія" / Калганков Є.В. – Д.: ДДАЕУ, 2021. – 36 с.39.

ДОДАТКИ

Презентація роботи

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет

ЛИСТ 1

Кафедра «Інжинірингу технічних систем»

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЛЯ
ПРОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ ГАЛЬМІВНИХ МЕХАНІЗМІВ АВТОМОБІЛІВ**

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

Виконав: студент 2 курсу, групи МІАІ-2-24
Мирошник Артем Валерійович

Керівник: доцент, к.т.н.
Толстенко Олександр Васильович

Дніпро-2025

МЕТА ТА ЗАДАЧІ РОБОТИ

ЛИСТ 2

МЕТА РОБОТИ

Дослідження роботи та обґрунтування ефективних способів відновлення гальмових барабанів, що знижують вартість ремонту та підвищують безпеку руху машини.

ЗАДАЧІ РОБОТИ

- провести огляд способів відновлення та навести характеристику металопокриттів при відновленні чавунних деталей;
- провести наліз надійності гальм автомобілів та дослідити їх вплив на безпеку життя людини та безпеку руху;
- обґрунтувати необхідність відновлення гальмових барабанів та дослідити зміну його ресурсу.
- розробити технологічний процес відновлення гальмівного барабану вантажного автомобіля з можливістю застосування електроконтактного відновлення робочих поверхонь. Розробити методику розрахунку і експериментального визначення гальмівного моменту та інтенсивності зносу наплавленого шару;
- обґрунтувати установку для електроконтактної металізації та навести результати експериментальних досліджень режимів роботи установки та їх впливу на якість наплавленого шару;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях, а також провести техніко-економічну оцінку роботи.

Аналіз існуючих способів відновлення ЛИСТ 3

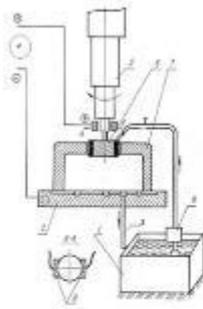


Схема установки для електроконтактного залізнення:
 1 – бак; 2 – станина; 3 – трубопровід; 4 – джерело струму; 5 – шпindelь верстату; 6 – обертаючийся електрод (анод); 7 – деталь (катод); 8 – насос для подачі електроліту; 9 – щітки для підводу струму.

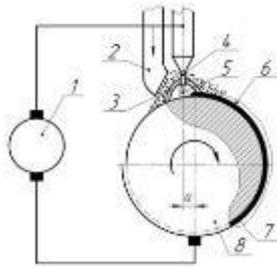


Схема автоматичного наплавлення деталі під шаром флюсу:
 1 – джерело струму; 2 – пристрій для подачі флюсу; 3 – захисна оболонка; 4 – електродний дріт; 5 – електрична дуга; 6 – шлакова кірка; 7 – наплавлений метал; 8 – деталь.

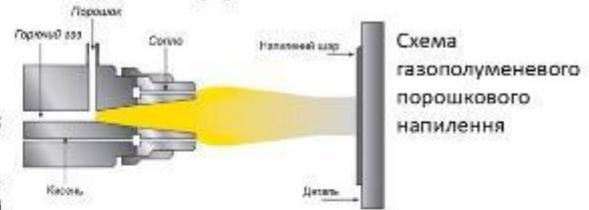
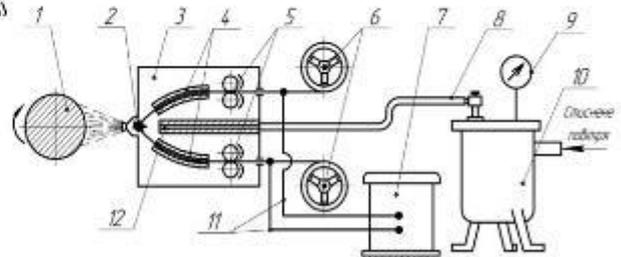
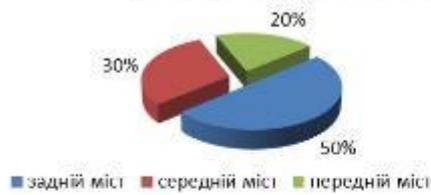


Схема газоплазмового порошкового наплення

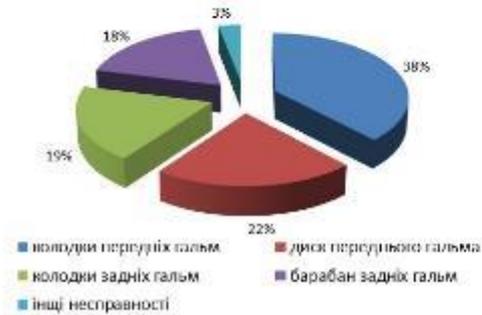


Установка для електроконтактної металізації
 1 – деталь, 2 – електрична дуга, 3 – металі затор, 4 – направляюча, 5 – подаючі ролики, 6 – котушки, 7 – джерело струму, 8 – направляючі, 9 – манометр, 10 – вологовідокремлювач, 11 – драти, 12 – сопло металізатора

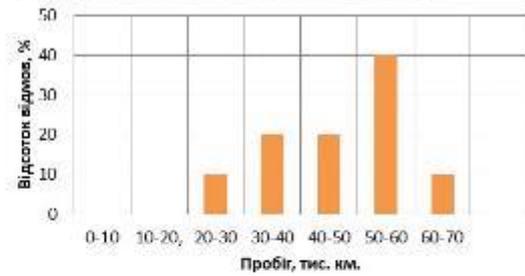
АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ГАЛЬМІВНОГО МЕХАНІЗМУ



Відмови гальм по їх розташуванню



Відсоток відмов гальм автомобіля



Відмови гальмівних механізмів автомобілів КрАЗ

Довірчі границі розсіювання середнього значення показника надійності для розподілу Вейбулла - Гніденко визначимо за рівняннями:

$$T_{n1} = T_1 \sqrt[n_1]{r_1} = 57447 \cdot \sqrt[3]{0,83} = 54000 \text{ км.}$$

$$T_{n2} = T_1 \sqrt[n_1]{r_2} = 57447 \cdot \sqrt[3]{1,24} = 61520 \text{ км.}$$

Значення середнього наробітку гальм до ремонту лежить в межах інтервалу 54 тис. км...62 тис. км.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИДУ ТА ХАРАКТЕРУ ЗНОСУ ДЕТАЛЕЙ ЛИСТ 5 ГАЛЬМІВНОГО МЕХАНІЗМУ



Стан гальмівної колодки та барабана автомобіля КрАЗ пробіг 42467 км



Стан гальмівної колодки та барабана автомобіля КрАЗ пробіг 32641 км



Тріщина гальмівного барабану автомобіля КрАЗ



Руйнування колодки автомобіля КрАЗ внаслідок перегріву



Стан гальмівного барабану автомобіля КрАЗ пробіг 44168 км

Обґрунтування можливості відновлення гальмівних барабанів ЛИСТ 6

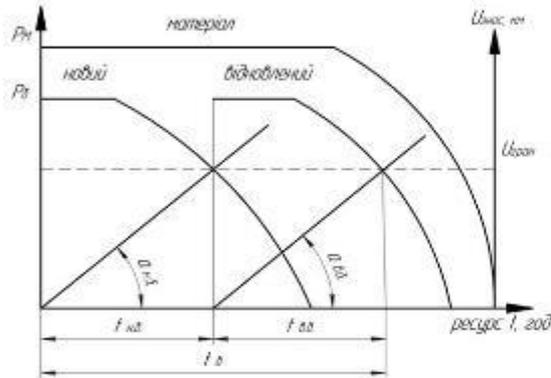


Схема продовження ресурсу гальмового барабана за допомогою відновлення робочої поверхні до номінального діаметра

З наших теоретичних міркувань і припущень, представлених на рисунку, випливає, що ймовірність ресурсу матеріалу барабана багаторазово може перевищувати ймовірність ресурсу внутрішньої робочої поверхні як основного, елемента конструкції барабана, що зношується і визначає ресурс деталі. Практика експлуатації цих деталей у транспортних підприємствах багаторазово підтверджує це припущення. Підставою для такого твердження можуть служити численні приклади розточення гальмових барабанів до діаметрів значно перевищуючих граничні значення.

Також встановлено, що впровадження відновлення барабанів дасть можливість подовжити їх ресурс в 2 рази, що дасть змогу також зменшити вплив на екологію так як на виготовлення нового барабана витрачається 60 кг металу, а на відновлення 4-5 кг. У вигляді дротів для наплавлення.

Критерії вибору раціонального способу відновлення гальмівного барабану

ЛИСТ 7

Технічний критерій

Для кожного вибраного способу дає комплексну, якісну оцінку довговічності, що характеризується коефіцієнтом довговічності (K_d), який визначається за наступним виразом:

$$K_d = K_{zn} \cdot K_b \cdot K_s \cdot K_n,$$

де K_{zn} , K_b і K_s - відповідно коефіцієнти зносостійкості, витривалості та зчеплення покриттів [2];

K_n - поправочний коефіцієнт, враховуючий фактичну робоздатність відновлення деталей в умовах експлуатації ($K_n = 0,8 \dots 0,9$).

Розглянемо найбільш ефективні способи відновлення

- вібродугове наплавлення;
- наплавлення в середовищі CO_2 ;
- металізація.

$$K_d^{ВДН} = 0,85 \cdot 0,62 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 0,47$$

$$K_d^{HCO_2} = 0,85 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 0,77$$

$$K_d^{мет} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 0,9 = 0,77$$

Техніко-економічний критерій

пов'язує вартість відновлення деталі з її довговічністю після усунення дефектів. Умова техніко-економічної ефективності способу відновлення деталі запропонована проф. В.І. Казарцевим і визначається як:

$$K_e = \frac{C_n}{C_d},$$

де C_n - вартість відновлення деталі, грн.;

C_d - вартість нової деталі, грн.;

K_n - коефіцієнт довговічності деталі.

$$K_e^{ВДН} = \frac{1846}{0,47} = 3928 \quad K_e^{CO} = \frac{1662}{0,77} = 2158$$

$$K_e^{EM} = \frac{1846}{0,77} = 1918$$

Таким чином при відновленні поверхні під гальмівну колодку використовуємо металізацію.

Методика експериментальних досліджень

ЛИСТ 8



Удосконалена машина ДМ 38 М:
а – загальний вигляд, б – схема
установки гальмівних колодок



Зразки для випробування

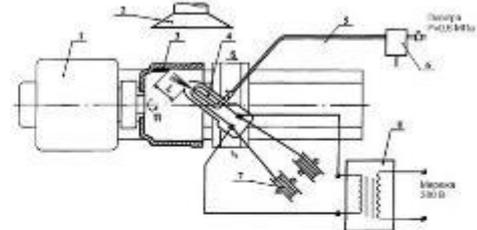


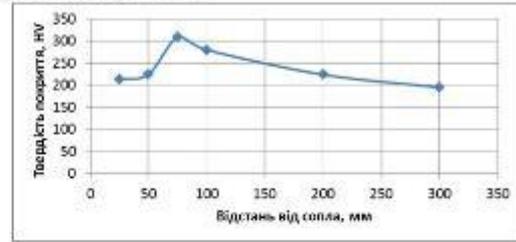
Схема установки для автоматичного наплення деталей електроконтактним способом металізації: 1 – обертач; 2 – витяжний зонд; 3 – гальмівний барабан; 4 – металізаційна головка; 5 – повітропровід; 6 – масловологовідокремлювач; 7 – касета з дротом; 8 – джерело струму ВДУ.



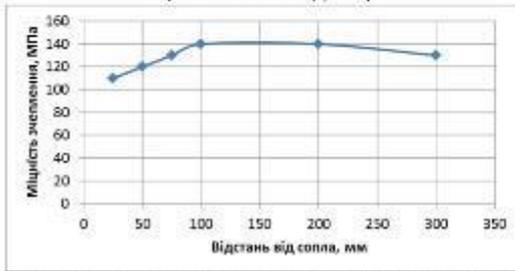
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ



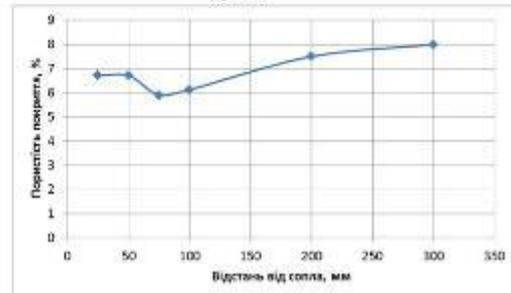
Зміна температури нагрівання й коефіцієнта тертя залежно від часу



Залежність твердості покриттів від відстані від сопла до деталі

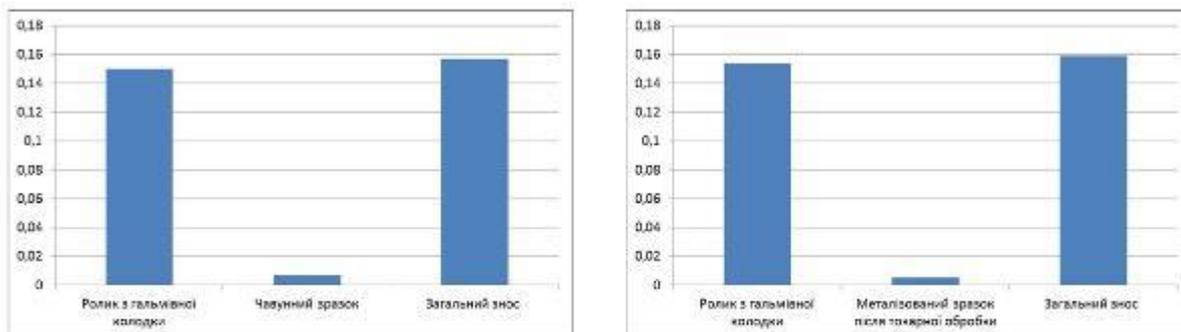


Залежність міцності покриттів від відстані від сопла до деталі



Залежність пористості покриттів від відстані від сопла до деталі

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

ЛИСТ
10

Діаграма зміни швидкості зношування зразків - Vr/год при зусиллі навантаження $P_c = 60$ Н і тривалості випробування $T = 2$ год

На підставі отриманих результатів лабораторних досліджень по зносостійкості відновлених деталей можна зробити висновок, що висловлена передумова про можливе підвищення довговічності відновлених гальмових барабанів і деякому зменшенні швидкості зношування їх підтверджена.

КАРТА НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗОН ТА ВИМОГ БЕЗПЕЧНОЇ РОБОТИ

ЛИСТ 11

№ п/п	Небезпечна зона	Небезпечний фактор	Вимоги безпечної роботи
1	Зона наплавлення	Ураження електричним струмом, ураження очей та шкіри зварювальною дугою та краплями металу, ураження шкідливими випаровуваннями	1. Забороняється обслуговувати верстат якщо він увімкнений в мережу; 2. Не допускати роботу без захисної маски чи спеціального щита з захисним шоломом. 3. Верстат повинен бути заземлений. 4. Забороняється робити будь які маніпуляції з дугою під час наплавлення. 5. Робоче місце повинно бути оснащено місцевою вентиляцією.
2	Деталь, що оброблюється	Травмування кінцівок, та органів зору	1. Барабан повинен бути надійно закріплений у патроні. 2. Обов'язково барабан повинен подаватись на верстат кран балкою. 3. При наплавленні деталей довжина яких перевищує 1 м використовувати люнет.
3	Наплавлювальна головка	Травмування кінцівок, органів зору та ураження електричним струмом	1. Заправляти касету дротом з використанням спеціальних пристосувань та рукавиць. 2. Головку надійно кріпити до установочник плит токарно-гвинторізного верстату. 3. Зміну швидкості подачі дроту проводити при вимкненому верстаті. 4. Не допускати зменшення зазору між мундштуком і валом менше 7 мм.
4	Зварювальний трансформатор	Ураження електричним струмом	1. Забороняється вмикати трансформатор при непрацюючій системі охолодження. 2. Контактні кабелі повинні надійно кріпитись до відповідних виходів "+, -". 3. Обслуговування трансформатора проводити при відключенні від мережі.
5	Вентиляція	Ураження дихальних шляхів	1. Перед пуском установки перевірити справність вентиляції. 2. Слідкувати за проходженням повітря та відсмоктуванням продуктів згорання. 3. Перед початком роботи ввімкнути привід вентиляції. 4. Забороняється працювати при несправній вентиляції.
6	Шланги та кабелі	Ураження кінцівок та електричним струмом	1. Шланги для подачі повітря повинні бути цілими і надійно закріпленими на вологовідокремлювачі та на вхідному парубку в мундштук. 2. Електрокабелі повинні бути надійно закріплені, не мати оголених частин. 3. Кабелі та шланги повинні бути прокладені у безпечному місці, потрапляння крапель металу на них не допускається.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОБОТИ

ЛИСТ 12

Найменування	Кількість	Значення
Вартість придбання нового гальмівного барабана, грн	1	9000
Вартість відновлення барабана електроконтактним способом, грн/шт.	1	1800
Кількість барабанів, що відновлюються за рік, шт.	-	100
Річний обсяг виробництва або ремонту, шт	-	100
Енергоспоживання процесу (кВт-год на один барабан)	3,8	3,8
Вартість електроенергії, грн/кВт-год.	1	11,0
Заробітна плата працівників, грн/рік	2	585600
Капітальні витрати на модернізацію, грн	-	250000
Річна собівартість відновлення, грн	-	769780
Річна економія, грн	-	130220
Термін окупності капіталовкладень, років		1,92

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

ЛИСТ 13

Проведено дослідження можливих способів відновлення гальмівних барабанів навантажених автомобілів з якого встановлено, що найбільш ефективним є спосіб електроконтактною металізації. Перевагою способу є можливість використання спеціальних дрітів для наплавлення чавунних деталей.

Також спостереження вказали на те, що знос колодок та барабанів відбувається не рівномірно по осям так найменший знос отримали гальма передніх мостів. Деяко більший знос відбувається на середньому мості і найбільший знос на задньому мості і сягає 50 % від загальної кількості.

Визначено, що застосування відновлення гальмівних барабанів в декілька разів підвищує ресурс гальмівного барабану і може багаторазово відшкодуватись.

Обґрунтовано час відновлення одного гальмівного барабану, який становить 77,39 хв., а собівартість відновлення дасть змогу заощадити на одному диску близько 1800 грн.

У результаті досліджень в'ясовано, що під час гальмування при навантаженні 0,55 МПа температура чавунного диска протягом 300 секунд досягає приблизно 220 °С. Початковий етап випробувань (до 150 с) характеризується майже лінійним підвищенням температури зі швидкістю близько 1 °С/с. Коли температура наближається до 200 °С, інтенсивність нагрівання поступово знижується до 0,3–0,35 °С/с. У цей період спостерігаються значні коливання температури у поверхневому шарі зразка під час його обертання, які в окремих випадках сягають 30 °С.

Для випробувань пропонується застосування модернізованої установки ІМ-12-67М для якої використовується дріт порошковий ПП-ММ2 або ПП-ПП1, стиснене повітря з тиском 0,55...0,60 МПа. Встановлено найбільш ефективну відстань від сопла установки до деталі, яка рівна 75 - 100 мм, так як при цій відстані найбільш міцне покриття, при даній відстані покриття набуває найбільшої твердості та найменшої пористості.

Досліджено інтенсивності зносу зразків і встановлено, що швидкість зношування ролика (гальмової колодки) збільшилась певною на 2...2,5%, а швидкість зношування напоячених зразків як після механічної обробки, зменшилась до 30%. Це можна пояснити не тільки за рахунок деякого збільшення середньої твердості напояченого шару в порівнянні із чавуном, але й деякими змінами коефіцієнта тертя в сполученні колодки - напоячений шар. Істотної різниці по швидкості зношування й коефіцієнту тертя між напояченими зразками й обробленими механічним різанням і способом ЕКО не виявлено.

Провівши аналіз діяльності підприємства було визначено стан охорони праці на СТО як задовільний. Добре налагоджена служба охорони праці дає можливість уникати травмвань робітників. Керівництво СТО дбає про працівників і контролює їх стан та час роботи (щоб працівники не працювали більше норми). Результати техніко-економічного аналізу свідчать, що за бажаного підходу проекти економічно доцільний: окупність складає трохи менше двох років.

Міністерство освіти і науки України
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет



**ІНЖИНІРИНГ ТЕХНОЛОГІЙ І
ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
АГРОПРОМИСЛОВОГО
КОМПЛЕКСУ**

ЗБІРНИК ТЕЗ
IV Всеукраїнської науково-практичної конференції
молодих вчених
Частина 1. Інжиніринг технічних систем агропромислового
виробництва

21 листопада 2025 р.

Дніпро • 2025

УДК 63

*Рекомендовано до друку вченою радою
Інженерно-технологічного факультету
Дніпровського державного аграрно-економічного університету
(протокол № 3 від 25 листопада 2025 р.)*

*Захід внесено в реєстр УкрІНТЕІ
(посвідчення № 729 від 20 жовтня 2025 р.)*

Інжиніринг технологій і технічних систем агропромислового комплексу. Збірник тез IV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених (21 листопада 2025 р.). Частина 1. Інжиніринг технічних систем агропромислового виробництва. Дніпро. ДДАЕУ, 2025. – 286 с.

Викладено матеріали наукових досліджень, виконаних вченими науково-дослідних установ та закладів вищої освіти з питань впровадження сучасного інжинірингу технологій і технічних систем агропромислового комплексу України. Видання представляє інтерес для науковців, викладачів, аспірантів, студентів аграрних і біологічних вузів та сільгоспвиробників.

Автори опублікованих тез доповідей відповідальні за патентну чистоту і точність наведених фактів, цитат, власних імен, географічних назв, а також за розголошення даних, які не підлягають публікації у відкритих засобах масової інформації.

УДК 629.113.5:621.891:620.193

Мирошник А.В., здобувач вищої освіти СВО Магістр, ОПП Агроінженерія¹²

dsau_npm@ukr.net

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ БАРАБАННИХ ГАЛЬМ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ЗА ЕНЕРГЕТИЧНИМ КРИТЕРІЄМ РУЙНУВАННЯ

Надійність гальмівних систем автомобілів і машин є ключовим фактором безпеки під час експлуатації техніки. Зношування деталей гальмівних механізмів - одна з основних причин поступових вімов, які можна діагностувати та прогнозувати завчасно. Найбільш вразливими до ресурсних вімов є гальмівні колодки, диски та барабани, а їх фактичний стан безпосередньо впливає на безпечність руху.

Сучасний транспорт використовує два основні типи гальм - дискові та барабанні. У легкових автомобілях бюджетного сегмента традиційно послують обидві системи: попереду встановлюють дискові гальма, ззаду - барабанні з метою удешевлення конструкції. На вантажній техніці також багато компаній застосовують барабанні гальма, як правило на передній осі дискові бо краще охолодження, а на інших і особливо на потурничетах барабанні так як вони дешевші в обслуговуванні і більш захищені від бруду. Аналіз вімов показує, що попри вищу ефективність дискових гальм, значна частка вімов (до 60 %) спричинена саме їхнім зношуванням. У вантажних автомобілів домінує проблема зносу колодок і барабанів. Польові дослідження, проведені на автомобілях КрАЗ, що експлуатуються в умовах Дніпропетровської області, показали середній ресурс гальмівних механізмів становить близько 56 тис. км, що загалом відповідає даним виробників. Однак фіксувалися випадки передчасних вімов, переважно на середніх мостах, пов'язані з перегрівом накладок та використанням неякісних матеріалів (Рис. 1). Встановлено також нерівномірний характер зносу: найменший - на передніх мостах, найбільший - на задніх.

¹² Науковий керівник – Толстенко О.В., кандидат технічних наук, доцент кафедри інженірингу технічних систем

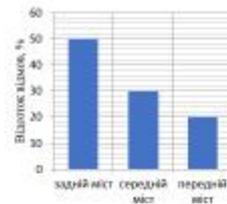


Рисунок 1 – Відмови гальм по їх розташуванню

Характер зношування деталей гальма комбінований і включає абразивний, тепловий та втомний компоненти (Рис. 2). В умовах гальмування температура в зоні контакту може досягати 600 °С, що пришвидшує руйнування матеріалу накладки. У зв'язку з цим для оцінювання довговічності доцільно використовувати енергетичні критерії руйнування.



Рисунок 2 – Стан гальмівної колодки і барабану КрАЗ пробіг 42467 км

Експериментальні дослідження виконано на модернізованій установці МП-2. Зразки колодок і барабанів були відібрані з реальних деталей, що відпрацювали експлуатаційний ресурс. Під час випробувань реєстрували силу тертя, температуру, кількість обертів, швидкість стирання та зміну геометричних параметрів. Контроль температури здійснювався термопарами, фіксація зносу - індикатором годинникового типу.

У процесі стирання зразків були отримані окремі фрагменти азбесту, середній розмір яких становив близько 0,42 мкм. Більшість частинок мали

характерну прямокутну форму типу «хлоп'їв» розмірами приблизно $0,47 \times 0,43$ мм та містили значну кількість тріщин і надламів. Кількість утворених частинок зносу становила $n = 6300$. Геометричні параметри та форма частинок визначалися за допомогою інструментального мікроскопа. З урахуванням об'єму однієї частки було встановлено, що їх концентрація в одному кубічному метрі сягає $n^* = 21,4 \cdot 10^9$ 1/м³. За таких умов енергія руйнування окремого фрагмента азбесту (тобто енергія його відокремлення від матеріалу матриці) становить:

$$U_0 = \frac{F \cdot V \cdot t}{n} = \frac{41 \cdot 0,35 \cdot 54}{6300} = 0,123 \text{ Дж} \quad (1)$$

Щільність енергії руйнування від абразивного зносу, буде

$$\Delta U_m = U_0 \cdot n^* = 0,123 \cdot 21,4 \cdot 10^9 = 2,6 \cdot 10^9 \text{ Дж/м}^3. \quad (2)$$

У результаті встановлено характеристики частинок зносу та визначено питомі значення енергії руйнування матеріалу фризійної накладки. Отримані енергетичні параметри дали змогу розрахувати ресурс роботи гальмівної колодки за енергетичним критерієм. Для досліджуваної накладки КрАЗ 5511-3501105-01Б розрахунковий строк служби склав близько 48 тис. км, що добре узгоджується з фактичними експлуатаційними даними (50 – 60 тис. км).

Проведений аналіз підтвердив, що основними причинами відмов барабанних гальм є абразивно-теплого-втомний знос та використання неякісних матеріалів. Встановлено реальну довговічність колодок вантажних автомобілів та доведено ефективність використання енергетичного критерію для прогнозування ресурсу гальмівних деталей.

Список літератури

1. Cherny, A. A., & Kalgankov, E. V. (2022). *Studies of the wear resistance of modern materials for protecting machine parts from abrasive wear*. In *Modern research in world science*. SPC "Sci-conf.com.ua". Lviv, Ukraine, 57–63.
2. Kalhankov, Ye. V. (2013), "Calculation of the durability of rubber linings of ball ore grinding mills, taking into account the aging of rubber", *Geo-Technical Mechanics*, no. 113, pp. 181-202.

Наукове видання

**ІНЖИНІРИНГ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ**

Збірник тез IV Всеукраїнської науково-практичної конференції
молодих вчених

Частина 1. Інжиніринг технічних систем агропромислового виробництва
(21 листопада 2025 р.)

Мови: українська, англійська

Редактор: Ельчин АЛЄВ
Комп'ютерна верстка: Ілля БЛОУС

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
49600, м. Дніпро, вул. Сергія Єфремова, 25

Тел.: (056) 371-08-21
E-mail: technologyengineeringdsau@gmail.com
dsau.dp.ua
133phd.dsau.dp.ua