

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Проектування технічного обслуговування та відновлення маточини
ведучого колеса Peterbilt 379 з дослідженням технології розточування отворів

Виконав: студент 6 курсу, групи МАм-61
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Владислав МЕЛЬНИК

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Керівник

Іван ГЕВКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Нормоконтроль

Михайло ЛЕВКОВИЧ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Зав. кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Рецензент

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Олег ЦЬОНЬ
(підпис) (ім'я та прізвище)
«14» листопада 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Мельнику Владиславу Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування технічного обслуговування та відновлення маточини ведучого колеса Peterbilt 379 з дослідженням технології розточування отворів

Керівник роботи Гевко Іван Богданович., д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 14 » листопада 2025 року № 4/7-972

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 грудня 2025

3. Вихідні дані до роботи Базовий ТП Проектування відновлення маточини ведучого колеса Peterbilt 379

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.
4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Пересувний гідравлічний 12-ти тонний домкрат – 2А1.

Пристрій для зняття ступиці – 2А1.

Патентно-інформаційний пошук – 1А1.

Карта дефектів – 1А1.

Схема установки для напилення – 1А1.

Операційні ескізи – 1А1.

Результати наукових досліджень – 1А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Посада, ім'я та прізвище консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доц. Ткаченко І.Г.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Стручок В.С.		

7. Дата видачі завдання 14.11.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	18.11.25	
2	Технологічний розділ	25.11.25	
3	Конструкторський розділ	02.12.25	
4	Науково-дослідний розділ	09.12.25	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	16.12.25	
6	Оформлення графічної частини	16.12.25	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра		

Студент

(підпис)

Владислав МЕЛЬНИК

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Іван ГЕВКО

(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Проектування технічного обслуговування та відновлення маточини ведучого колеса Peterbilt 379 з дослідженням технології розточування отворів».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра д.т.н. професор Гевко Іван Богданович.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 64 сторінок формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини сторінок додатків.

Ключові слова: відновлення деталей, розточування отворів, дефектація, посадочні поверхні, механічна обробка.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
 1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	 8
1.1 Патентно-інформаційний пошук.....	8
1.1.1 Технологія плазмово-дугового наплавлення.....	8
1.1.2 Пристрій для наплавлення деталей.....	9
1.1.3 Пальник для електродугового наплавлення у середовищі захисних газів.....	10
1.1.4 Струмопідвідний наконечник для наплавлення.....	12
1.1.5 Спосіб дугового широкошарового наплавлення.....	13
1.1.6 Електроліт залізнення.....	15
1.1.7 Пристрій для електродугового металізування.....	16
1.1.8 Установка для електрошлакового наплавлення.....	18
1.2 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра.....	20
 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	 22
2.1 Характеристика деталі.....	22
2.2 Технічні вимоги.....	23
2.3 Карта дефектів.....	24
2.4 Технологічні заходи з відновлення дефектних поверхонь.....	25
2.5 Вибір обладнання та технологічного оснащення.....	28
2.6 Розрахунок норм часу.....	30
 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	 33
3.1 Розрахунок барабанного гальмівного механізму.....	33
3.2 Розрахунок пневматичного підсилювача гальм.....	38
 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....	 46
4.1 Основні аспекти технології розточування.....	46
4.2 Опис експериментальних досліджень та аналіз результатів.....	49

	6
4.3 Аналіз отриманих результатів.....	53
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	55
5.1 Нормування та розрахунок штучного освітлення виробничих приміщень.....	55
5.2 Характеристика зон можливого затоплення.....	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	63
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Розвиток автомобільного транспорту характеризується зростанням інтенсивності вантажоперевезень, збільшенням навантажень на транспортні засоби та підвищенням вимог до їх надійності й безпеки. У сучасних умовах особливої актуальності набувають питання підтримання технічного стану важких вантажних автомобілів, які експлуатуються у складних дорожніх і кліматичних умовах та виконують транспортні перевезення з високим рівнем навантаженості. Одним із таких транспортних засобів є автомобіль Peterbilt 379, який широко використовується у міжнародній логістиці.

Ведуче колесо вантажного автомобіля є ключовим елементом ходової частини, що забезпечує передачу крутного моменту, сприймає радіальні та осьові навантаження, а також визначає стабільність і безпеку руху. Маточина ведучого колеса працює в умовах значних змінних навантажень і впливу абразивного середовища, що призводить до її інтенсивного зношування, виникнення люфтів і пошкоджень посадочних поверхонь під підшипники та кріпильні елементи. Порушення геометрії отворів маточини знижує ресурс вузла та може спричинити аварійну відмову.

Зазначені фактори актуалізують питання удосконалення технологічних процесів технічного обслуговування та ремонтного відновлення маточин, особливо з урахуванням підвищених вимог до точності й надійності після ремонту. До найбільш поширених операцій при відновленні відноситься розточування отворів, яке дозволяє відновити співвісність та геометричні параметри посадочних поверхонь для підшипникових з'єднань.

Магістерська робота спрямована на розроблення технології технічного обслуговування і ремонту маточини ведучого колеса автомобіля Peterbilt 379, а також на дослідження процесу розточування з метою підвищення якості обробки та збільшення ресурсу деталі після відновлення. Практична реалізація результатів дослідження сприятиме зменшенню простоїв автотранспортних засобів, зниженню експлуатаційних витрат та підвищенню ефективності роботи автотранспортних підприємств.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Патентно-інформаційний пошук

1.1.1 Технологія плазмово-дугового наплавлення

Одним із технічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності процесів відновлення деталей наплавленням, є корисна модель, захищена патентом України № 41617. Авторами розробки є В. В. Чигарьов, Н. О. Макаренко, К. О. Кондратов та О. В. Грановський.

Суть винаходу полягає у використанні комбінованої системи електродів: плавкий електрод подається коаксіально всередині неплавкого електрода. Плавкий електрод підключений до джерела живлення зі стабільною (жорсткою) вольт-амперною характеристикою, тоді як неплавкий електрод живиться від джерела з різко спадною характеристикою. Дуга, що формується між неплавким електродом та соплом плазмотрона, створює інтенсивний іонізований факел, який одночасно сприяє стабілізації та підвищенню рухливості дуги плавкого електрода.

Завдяки зниженню напруженості електричного поля у зоні стовпа дуги підвищується її стійкість і забезпечується ініціація обертання дуги за нижчих значень струму. Крім того, виключення активної плями дуги на поверхні металевої ванни сприяє зменшенню теплового навантаження на виріб, обмежує надмірне проплавлення основного матеріалу й підвищує чистоту та однорідність наплавленого шару.

Важливою перевагою є можливість ефективного наплавлення композитних матеріалів, оскільки нижча температура металевої ванни сприяє збереженню твердих включень у її структурі. Конструктивно обмежена відстань між неплавким електродом і соплом забезпечує мінімальне занурення плавкого електрода в зону дії плазмової дуги та запобігає шунтуванню дугового розряду.

У підсумку, технічне рішення дозволяє підвищити стабільність процесу наплавлення, знизити тепловкладення, а також покращити експлуатаційні

характеристики сформованого покриття, що є важливим для відновлення відповідальних елементів автомобільної техніки.

Додатково до плавкого електрода та сопла плазмотрона під'єднують окреме джерело живлення зі спадною вольт-амперною характеристикою. Воно забезпечує горіння допоміжної дуги між соплом та плавким електродом, що інтенсифікує процес розплавлення електродного металу. У результаті збільшується швидкість формування металевої ванни та відповідно підвищується загальна продуктивність наплавлення.

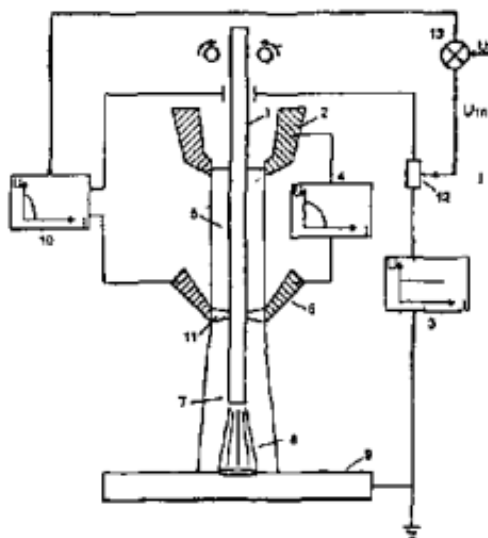


Рис. 1.1. Спосіб плазмодугового наплавлення.

1.1.2 Пристрій для наплавлення деталей

Патент України № 4839 (автори: С. В. Фетісов, В. В. Яблоков, М. В. Грибачов) описує конструкцію пристрою, призначеного для забезпечення високоточної синхронізації процесу наплавлення поверхонь обертових деталей.

Принцип дії пристрою полягає в наступному. Вал 4, що підлягає відновленню, орієнтують у пристосуванні шляхом його повороту навколо поздовжньої осі до моменту, коли ділянки 19–21 займають положення, тотожне просторовій орієнтації відповідних поверхонь 7–10, 8–11, 9–12 допоміжних валів 2 і 3. Такий підхід дозволяє автоматично встановити необхідну геометричну відповідність між зонами наплавлення та наплавлювальними головками 16–18. Після точного позиціонування вал 4 фіксується механізмом 6, а його кінематичне

з'єднання із зірочкою 24 ланцюгової передачі 5 забезпечує передачу обертального руху.

Під час роботи приводу 1 обертання через ланцюгову передачу 5 (із передаточним числом 1) передається на додаткові вали 2, 3 та відновлюваний вал 4, забезпечуючи їхнє однакове значення частоти обертання. Завдяки цьому наплавлувальні головки й поверхні, що наплавляються, переміщуються у просторі синхронно, а відносне положення інструмента та деталі залишається незмінним на всіх етапах формування шару.

Передача крутного моменту здійснюється через взаємодію зубців зірочок 22–24 з ланками ланцюга 25. Залежно від конструктивного виконання, контакт зубців може відбуватися з внутрішньою 41 або зовнішніми поверхнями 42, 43 шарнірних ланок. Під час роботи ланки ланцюга повертаються одна відносно одної, що призводить до зміни ефективної довжини передавального плеча й, відповідно, до зменшення жорсткості передачі та підвищення плавності руху. Це досягається завдяки зміні кривизни взаємодіючих поверхонь у зонах контакту 28–29, 30–31, 32–33. Сама взаємодія ланок відбувається в умовах тертя кочення, що додатково зменшує динамічні навантаження.

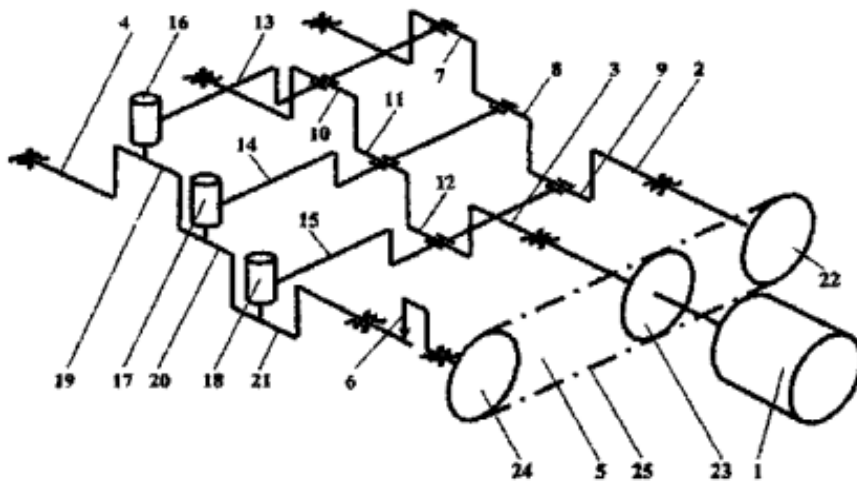


Рис. 1.2. Пристрій для наплавлення деталей.

1.1.3 Пальник для електродугового наплавлення у середовищі захисних газів

Патент України № 7718, авторами якого є Н. Б. Клейно, А. В. Андюк та Д. Е. Жеребчевський, стосується удосконаленого конструктивного виконання

пальника для процесів дугового наплавлення та зварювання плавким електродом.

Конструкція пальника передбачає використання струмопровідного мундштука з міді (позиція 1), у центральному каналі якого встановлено послідовність самоцентрувальних втулок 2 із високоміцного композиційного матеріалу. Ці втулки формують направляючий канал 3, що забезпечує стабільне подавання дротяного електрода без його коливань чи заїдань. Значна частина довжини мундштука (близько 70–80 %) розміщується в кільцевій водоохолоджувальній камері 4, яка споряджена патрубками 5 і 6 для підведення та відведення охолоджувальної рідини, відповідно.

Мундштук монтується у корпусі сопла 8 концентрично завдяки діелектричній центрувальній втулці 7. Корпус сопла має вихідну ділянку у вигляді циліндричного каналу 9. У зоні примикання торця втулки 7 розташовано кільцеву порожнину 10 для подачі захисного газу. Подача здійснюється через трубопровід 11 у два протилежно розташовані отвори в стінках сопла.

Газ потрапляє в робочу зону через регульовану кільцеву щілину 12, яка має звуження у напрямку осі сопла. Ця геометрія сформована за рахунок різного нахилу зовнішньої та внутрішньої поверхонь сопла, що дозволяє краще стабілізувати газовий потік, сприяючи ефективному захисту зони горіння дуги.

Вихідна частина сопла 9 додатково охолоджується за допомогою ще однієї мідної водоохолоджувальної сорочки 13, оснащеної нижнім підвідним патрубком 14 та верхнім 15 для відведення води. Торцева частина цієї камери має скіс 16, сформований у напрямку, протилежному рухові захисного газу, що сприяє оптимізації теплообміну.

У нижній частині мундштука встановлюється змінний наконечник 17 з осьовим отвором, через який подається плавкий електрод, що полегшує обслуговування й дає змогу швидко адаптувати пальник до різних діаметрів дроту.

Робота пальника здійснюється за наступним принципом. До водоохолоджувальних камер 4 та 13 через патрубки 5, 6, 14 і 15 подається охолоджувальна рідина, що забезпечує ефективне відведення тепла від нагріваних елементів конструкції. Після активації джерела живлення

електричний струм подається на струмопровідний мідний мундштук 1 та самоцентрувальні втулки 2, розташовані в його осьовому каналі. Завдяки цьому контактний струм передається на дротяний електрод, який надходить у пальник із подаючого механізму, де він зберігається на бобіні в кількості 12–15 кг високоточного легованого дроту.

Плавкий електрод спрямовується через осьовий канал змінного наконечника 17 безпосередньо в зону наплавлення на поверхню відновлюваного циліндричного штока. Подача відбувається в положення, умовно назване «зенітною зоною», зміщеною на 6–10 мм від поздовжньої осі деталі у напрямку, протилежному до її обертання. Така кінематична схема забезпечує стабільність формування наплавленого шару та зменшує ймовірність дефектів, пов'язаних із надмірним переміщенням металеві ванни.

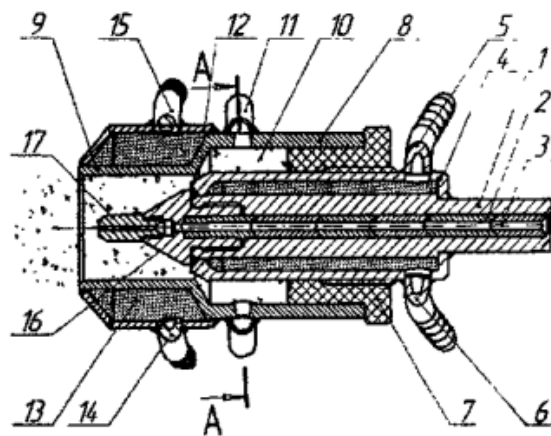


Рис. 1.3. Конструкція пальника.

1.1.4 Струмopідвідний наконечник для наплавлення

Патент України № 10823 Автори: Д. О. Зареченський, Є. Т. Хоровець. Запропонований конструктивний елемент призначений для подавання наплавлювального порошкового дроту та забезпечення надійної передачі електричного струму під час процесу наплавлення. Після встановлення наконечника у тримач дріт пропускається крізь осьовий наскрізний канал 3 корпусу 1 та вкладиша 2 відповідно до заданих параметрів подачі. Особливістю конструкції є те, що навіть при значному нагріванні вкладиша під час робочого режиму його просторове положення залишається стабільним – він не зміщується ні уздовж осі наконечника, ні в радіальному напрямі.

Ця надійність фіксації забезпечується завдяки тому, що зовнішній торець вкладиша охоплений стінкою 4 корпусу 1, яка обмежує переміщення елемента у двох взаємно перпендикулярних площинах. Конструктивний діаметр D колового охоплення перевищує діаметр d наскрізного отвору 3, що унеможливорює потрапляння дуги або розплавленого металу на контактні поверхні корпусу. Вихід дроту в робочу зону відбувається безпосередньо через вкладиш 2, виготовлений із зносостійкого матеріалу з високою температурою плавлення, що запобігає його зварюванню з наплавлювальним дротом.

Рациональне співвідношення розмірів визначається умовою:

$$D = (1,5-1,7) \cdot d$$

За значення $D > 1,7d$ відстань між торцевою ділянкою стінки 4 та отвором 3 надмірно зменшується, що може викликати оплавлення корпусу, утворення напливів і, як наслідок, прилипання електрода. Натомість при $D \leq 1,5d$ фіксація вкладиша стає недостатньою, що може спричинити його зміщення й порушення стабільності процесу наплавлення.

Запропонована технічна реалізація забезпечує:

стабільне струмопідведення,

підвищену зносостійкість робочих поверхонь,

зменшення ризику приварювання дроту до наконечника,

довговічність та надійність експлуатації у важких режимах.

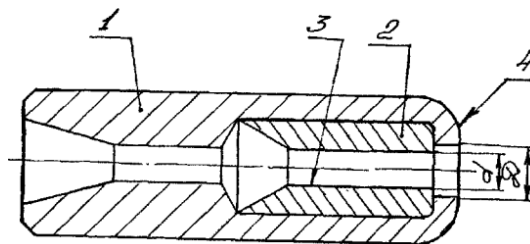


Рис. 1.4. Струмопідвідний наконечник для наплавлення.

1.1.5 Спосіб дугового широкошарового наплавлення

Патент України № 9158, авторами якого є Р. М. Рижов та О. Л. Зімовченко, присвячений удосконаленню технології дугового широкошарового наплавлення шляхом оптимізації теплових процесів у зоні формування шару.

Запропонований спосіб ґрунтується на керованому переміщенні дуги торцем електродної стрічки під дією поперечного магнітного поля. Відмінною особливістю винаходу є циклічний характер процесу наплавлення, коли повний час переміщення дуги від одного краю стрічки до іншого поділяється на повторювані періоди. Кожен такий період містить три послідовні інтервали:

Термічний прогрів поверхні виробу та локальне оплавлення електродної стрічки нерухомою дугою.

Контрольоване охолодження щойно сформованої ділянки наплавленого матеріалу.

Покрокове переміщення дуги на сусідню ділянку стрічки для продовження процесу.

Завдяки такій структурі робочого циклу забезпечується оптимальний розподіл тепла не тільки в наплавлювальній стрічці, але й у металевій основі виробу. Це сприяє формуванню рівномірного за геометрією та структурою наплавленого шару, мінімізації термічних деформацій і зниженню частки змішування з основним металом.

На рис. 1.5, що супроводжує опис, представлено часові залежності роботи джерела живлення, зміни інтенсивності магнітного поля та закономірності просторового розташування дуги протягом сформованих інтервалів.

Для прикладу розглядається варіант використання технології, за якого повний час переміщення дуги поділений на рівні за тривалістю періоди, що спрощує управління процесом і забезпечує високу відтворюваність результатів.

Після активації спеціалізованого пристрою керування електромагнітними впливами (ПКЕМД), розробка якого описана у патенті України №50430А (автори: Рижов Р. М., Малишев О. В., Тітов А. О.), формується керуючий сигнал, що на встановлений проміжок часу t_H вмикає джерело живлення наплавлювальної дуги. У цей період забезпечується протікання струму заданої амплітуди I_H , внаслідок чого відбувається інтенсивне оплавлення електродної стрічки та локальний прогрів поверхні виробу, яка підлягає відновленню.

Після завершення інтервалу нагрівання джерело живлення автоматично переходить у режим очікування на час t_0 . Протягом цього етапу дуга зберігається, проте її струм знижено до величини, недостатньої для додаткового

теплого впливу на метал. Таким чином реалізується кероване охолодження сформованої ділянки наплавленого шару. Цей процес супроводжується завершенням кристалізації металу та вирівнюванням температурного поля як у наплавленому матеріалі, так і в електродній стрічці.



Рис. 1.5. Часові діаграми роботи джерела живлення для наплавлення, індукції керуючого магнітного поля і переміщення дуги.

1.1.6 Електроліт залізнення

Патент України № 8287, авторами якого є М. А. Цудіков і Д. М. Гайдамаченко, присвячений удосконаленню технологічних процесів гальванічного відновлення та зміцнення деталей за допомогою електролітів залізнення. Запропонований склад електроліту забезпечує формування

високотвердого шару заліза на поверхні деталей зі сталей та чавунів незалежно від їхньої марки, що дозволяє ефективно відновлювати зношені поверхні або створювати зміцнювальні покриття на нових елементах машин, значно подовжуючи їхній ресурс.

Процес застосування електроліту передбачає попередню підготовку деталі: її занурюють у ванну пасивування, після чого виконують промивання холодною водою. Далі деталь встановлюють на підвіску та переносять у ванну залізнення, заповнену електролітом відповідного складу. Осадження заліза здійснюється під дією періодичного катодно-анодного струму. При цьому щільність катодного напівперіоду становить $D_k = 18\text{--}22 \text{ А/дм}^2$, а щільність анодного напівперіоду – $D_a = 15,5\text{--}1,6 \text{ А/дм}^2$. Регулювання цих параметрів забезпечує інтенсивне нарощування металевго шару на поверхні деталі.

Після досягнення необхідної товщини покриття деталь вилучають із ванни, послідовно проводять промивання у холодній та гарячій воді, що сприяє стабілізації структури сформованого шару.

Проведені вимірювання мікротвердості наплавленого покриття (із використанням мікротвердометра ПМТ-3 при навантаженні 50 г) продемонстрували підвищені експлуатаційні властивості сформованого шару порівняно з аналогами. Результати досліджень наведено в таблиці, де виконано порівняння основних параметрів запропонованого електроліту з характеристиками відомого прототипу.

1.1.7 Пристрій для електродугового металізування

Патент України № 50451 Автор: В. В. Мороз. Запропонований конструктивний пристрій належить до обладнання для електродугового металізування і призначений для формування металевих покриттів шляхом розпилення дрютяного електрода дугою та перенесення частинок розплавленого металу на поверхню виробу. Пристрій містить два електроди 1 у вигляді металевго дрюту, які подаються до точки їхнього зближення струмопідводами 2. Подача та взаємне позиціонування електродів контролюється регульовальним вузлом 3, встановленим безпосередньо на струмопідводах.

Вздовж центральної осі пристрою розташовано сопло, що складається з вхідної (4) та вихідної (5) ділянок. Конфігурація вихідної частини сопла утворена двома однаковими циліндричними каналами 6, які розміщено паралельно осі вхідної секції 4. Відстань між їхніми осями становить половину діаметра D_{Bx} вхідної частини сопла, що забезпечує оптимальну аеродинаміку потоку газу та частинок металу.

На внутрішній поверхні циліндричних каналів сформовані гвинтові ребра 7. Геометричні параметри ребер підібрані таким чином, щоб їхня висота відповідала залежності:

$$h = 0,0264 \cdot D_{Bx}$$

А діаметр кожного сопла визначений діапазоном:

$$0,447 \cdot D_{Bx} < d < 0,500 \cdot D_{Bx}$$

Точка, у якій замикається електрична дуга між електродами 1, розташована у горизонтальній площині по осі вхідної ділянки 4 та знаходиться за торцем вихідної частини 5 на відстані:

$$1,75 \cdot D_{Bx} < l < 1,80 \cdot D_{Bx}$$

Таке розташування дуги сприяє формуванню спрямованого потоку розплавлених частинок і підвищує ступінь їхнього осадження на поверхні деталі.

Кут зближення електродів 1 задають у межах $43,5^\circ < \alpha < 55,0^\circ$, що забезпечує оптимальні умови для стабільного горіння дуги та рівномірного розпорошення металу. Довжина вхідної ділянки сопла 4 визначається не менш ніж подвоєним значенням її діаметра, що сприяє формуванню ламінарного повітряного потоку перед його прискоренням у зоні вихідного сопла.

Перед запуском оператор за допомогою регулювального механізму 3 встановлює необхідний кут α зближення електродів та перевіряє правильність розташування точки дугового замикання. Ця точка повинна знаходитись у горизонтальній площині, що збігається з віссю вхідної частини сопла 4 та розміщена за межами його вихідної ділянки 5 на відстані, визначеній умовою:

$$1,75D_{Bx} < l < 1,80D_{Bx}$$

Після підтвердження геометричних налаштувань вмикають подачу стисненого повітря, здійснюють підведення напруги до струмопідводів 2 та

активують подачу електродного дроту. У точці їхнього зближення запалюється електрична дуга.

Повітряний потік, проходячи крізь циліндричні канали 6 із гвинтовими ребрами, зазнає турбулізації. Виникаючі пульсації у приграничному шарі створюють посилений масо- та енергообмін між повітряним струменем і навколишнім середовищем. Це підвищує кінетичну енергію транспортованих частинок металу і зменшує опір їх руху.

У результаті:

збільшується довжина стабільної частини металоповітряного струменя,
кут його розкриття становить лише $7^\circ - 9^\circ$,
зберігається необхідна щільність потоку на відстані від сопла,
частинки металу набувають швидкості 100–150 м/с,
розмір їх становить менше ніж 50 мкм.

Ці частинки осідають на поверхні деталі, формуючи рівномірне покриття з пористістю лише 3–4 %, що є важливою перевагою для підвищення адгезії й експлуатаційних характеристик відновлених елементів.

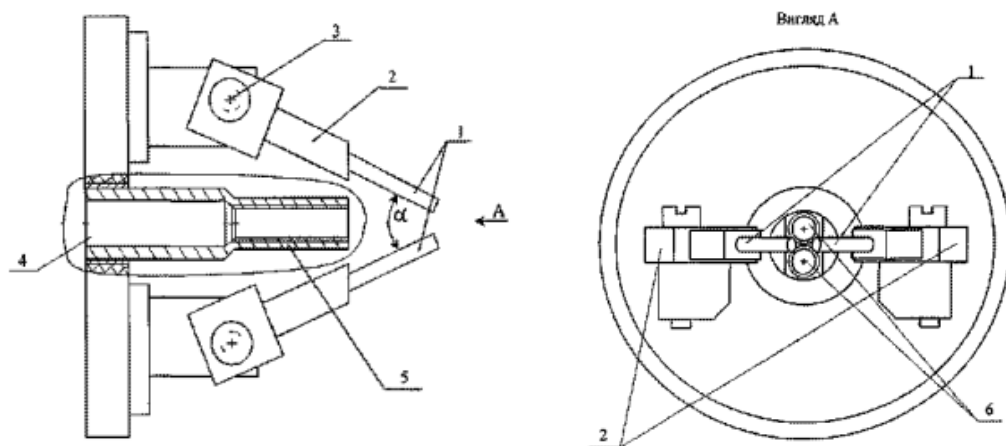


Рис. 1.6. Пропонований пристрій.

1.1.8 Установка для электрошлакового наплавления

Патент України № 2808 Авторами розробки є: І. Г. Моргачев, В. М. Попов, Г. М. Рудевич, В. П. Стойко, С. С. Солодилов.

Функціонування установки ґрунтується на забезпеченні контрольованого рівня рідкого шлаку в кристалізаторі 4 відповідно до геометричних параметрів

деталі, що відновлюється. На початковому етапі технологічного процесу за допомогою вимірювального інструмента (лінійки, рулетки тощо) визначають необхідну висоту дзеркала розплавленого шлаку. Після цього здійснюють візуальне налаштування пристрою контролю рівня 9 таким чином, щоб через світловод 18 у поле зору спостерігача потрапляла верхня гранична відмітка U_1 , яка відповідає встановленому технологічному рівню шлаку.

Допускається також нанесення орієнтовної мітки безпосередньо на внутрішню поверхню стінки кристалізатора 4, що спрощує процес швидкого встановлення висоти робочого шару шлаку при повторних операціях.

Після завершення регулювання вимірювальний модуль фіксують на стояку 10, що гарантує сталість положення контрольного пристрою протягом усього циклу наплавлення та усуває похибки, пов'язані з випадковим зміщенням обладнання.

Плавкий електрод 5 встановлюють усередині кристалізатора 4. За допомогою опускання нагрівального електрода 2 у шлакову ванну здійснюється подавання розплавленого шлаку до кристалізатора. У процесі заповнення об'єму рідким шлаком плавкий електрод починає частково відкриватися, відбиваючи світловий потік від власної поверхні та внутрішніх стінок кристалізатора. Через світловоди 13 відбитий світловий сигнал надходить одночасно на фоторезистори 14 і 15.

На початковому етапі інтенсивність сигналів із двох світловодів практично однакова, тому операційний підсилювач 20 не змінює свого стану й керуючий сигнал не формується. Проте, коли рівень розплавленого шлаку досягає встановленої позначки U_1 , ситуація змінюється: нижній світловод починає передавати на фоторезистор 15 не відбитий, а прямий світловий потік, інтенсивність якого суттєво вища. Верхній світловод, як і раніше, подає лише відбиту частину світла на фоторезистор 14.

Отримана різниця світлових інтенсивностей, перетворена фоторезисторами в електричні сигнали, зумовлює спрацювання операційного підсилювача 20, який переходить у активний режим роботи. У цей момент транзистор 32 відкривається й надсилає сигнал до системи керування приводом нагрівального електрода 8. Внаслідок цього привід виконує зупинку опускання

розрахунку пневматичного підсилювача та аналізу технології механічної обробки при розточуванні.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

Проаналізувати конструкцію деталі, що підлягає відновленню, надати її функціональне призначення й оцінити умови експлуатації. Встановити технічні вимоги до відновленої поверхні та параметрів точності. Розробити карту дефектів, визначивши види ушкоджень, можливі причини їх виникнення та вплив на працездатність механізму. Запропонувати раціональні технологічні заходи для усунення виявлених дефектів. Виконати вибір обладнання та технологічного оснащення, необхідного для здійснення операцій відновлення. Провести розрахунок норм часу на виконання технологічних операцій.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

Розрахувати барабанний гальмівний механізм з урахуванням кінематичних та силових параметрів, що визначають ефективність гальмування. Виконати інженерні розрахунки пневматичного підсилювача гальм, обґрунтувати вибір конструктивних параметрів і передаточних чисел.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

Висвітлити теоретичні основи технології розточування та оцінити її значущість у процесах відновлення деталей. Провести експериментальні дослідження, спрямовані на покращення якісних показників механічної обробки. Виконати детальний аналіз отриманих експериментальних результатів і сформулювати висновки щодо ефективності обраної технології.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Розрахувати систему штучного освітлення виробничих приміщень, що забезпечує нормативні умови праці персоналу. Оцінити можливі наслідки гідродинамічних аварій та надати характеристику зон потенційного катастрофічного затоплення.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Характеристика деталі

Маточина є ключовим елементом ходової частини автомобіля, оскільки забезпечує встановлення колеса на цапфу поворотного кулака або балку ведучого моста шляхом використання підшипникових опор. Вона бере участь у сприйнятті зовнішніх сил і моментів, які виникають під час руху транспортного засобу. Зокрема, при конструкції напіврозвантажених півосей передавання крутного моменту, а також сприйняття радіальних і осьових навантажень здійснюється через жорстке з'єднання маточини з фланцем півосі за допомогою різьбових з'єднань (болтів або шпильок).

Маточини, що застосовуються для дискових коліс, зазвичай виготовляють із зовнішнім фланцем. На ньому здійснюється кріплення колісного диска, а також елементів гальмівної системи – барабана або гальмівного диска залежно від типу гальмового механізму.

У конструкціях бездискових коліс маточина виконується у вигляді монолітної деталі з п'ятьма або шістьма спицями, що формують опорну поверхню для встановлення обода. По периферії цієї поверхні передбачено оброблену посадкову зону для точного позиціонування обода. На маточині виконують різьбові отвори для кріплення притискних елементів, які забезпечують фіксацію обода в осьовому напрямку, а також для монтажу гальмівного барабана.

Для забезпечення надійної роботи вузла колісної маточини підшипникові опори розміщують таким чином, щоб між їхніми середніми площинами була максимально можлива відстань. Таке конструктивне рішення спрямоване на зниження згинальних моментів, що виникають під впливом бокових навантажень, і відповідно – на зменшення контактних напружень у підшипниках. Центром підшипника прийнято вважати точку на його осі, через яку проходять результуючі сили, що передаються елементами кочення.

У більшості випадків внутрішній підшипник виконує функцію основного навантаженого елемента, оскільки має більшу вантажну спроможність порівняно

із зовнішнім. Тому його розташовують максимально наближено до центральної площини одинарного колеса або середньої площини здвоєних коліс для оптимального розподілу навантажень.

Одним із важливих конструкторських критеріїв є забезпечення захищеності маточини під час експлуатації. Зокрема, її геометрична форма має бути такою, щоб деталь не виступала за межі зовнішньої поверхні шини, що запобігає можливим механічним ушкодженням при русі. Це ж правило враховують і при встановленні декоративних ковпаків, характерних для легкових автомобілів.

Матеріалом для виготовлення маточин найчастіше слугують ковкі чавуни марок КЧ 35-10, КЧ 37-12 або ливарні конструкційні сталі типу 35Л і 40Л, що поєднують достатню міцність із хорошими технологічними показниками. Як опорні елементи застосовують здебільшого роликові конічні або кулькові радіально-упорні підшипники, здатні одночасно сприймати значні радіальні та осьові навантаження.

2.2 Технічні вимоги

Під час відновлення маточини необхідно забезпечити низку технологічних вимог, які гарантують її функціональну придатність та довговічність у подальшій експлуатації. До основних критеріїв точності та якості оброблення належать:

Параметри шорсткості робочих поверхонь А та Ж повинні відповідати значенню $R_a = 0,63$ мкм, що забезпечує оптимальні умови для посадки підшипникових кілець і стабільну роботу вузла.

Конусність поверхонь Д та Ж допускається в межах не більше 0,035 мм, оскільки перевищення цього показника може призвести до порушення концентрації навантаження на елементи кочення та передчасного спрацювання підшипникових опор.

Шорсткість поверхонь Б, В, Г та Д повинна бути не гіршою за $R_a = 1,25$ мкм, що відповідає вимогам щодо забезпечення необхідної точності сполучень та їхнього зносостійкого контакту в межах механізму.

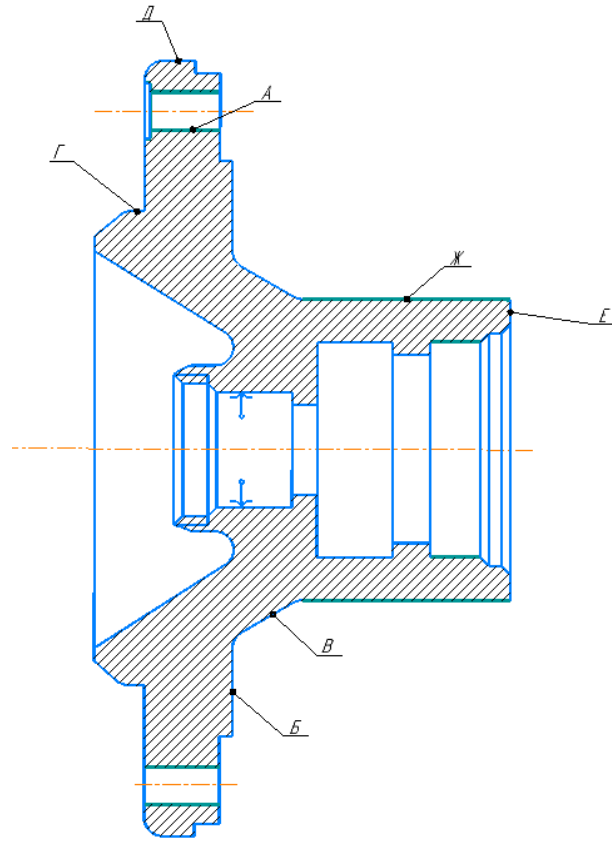


Рис. 2.1 – Маточина ведучого колеса Peterbilt 379.

2.3 Карта дефектів

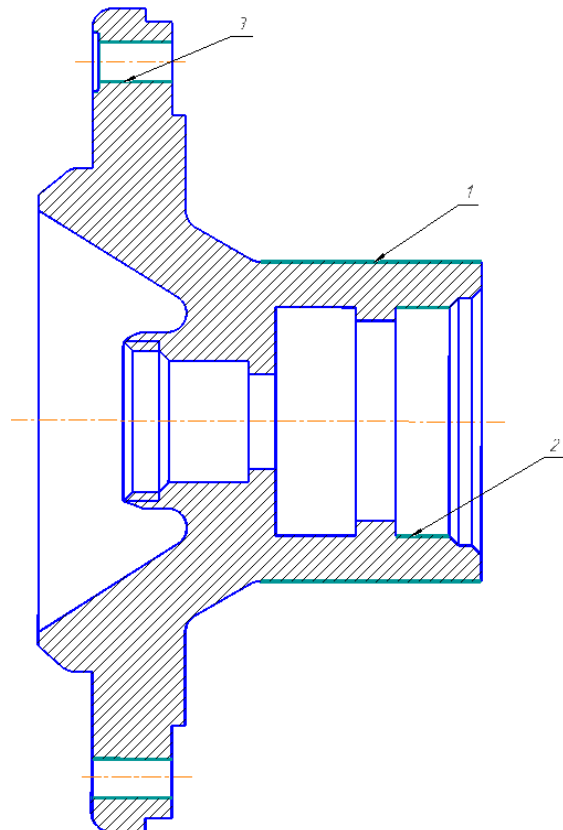


Рис. 2.2. Дефекти маточини.

Матеріал: сталь 40Л; Твердість: НВ 220

Таблиця 2.1. Дефекти маточини.

№ деф.	Назва дефекту	Метод чи пристрій контролю	Розміри		Висновок
			Номін.	Гран.	
1	Знос або тріщина поверхні отвору під зовнішнє кільце	Візуально, мікромір	3,5 _{-0,07}	3,54	Вібродугове наплавлення, наплавлення в СО ₂ .
2	Зношування отвору під кільце внутрішнього підшипника	Калібр -пробка НЕ 71,99 або нутромір НИ 50-100-1	100 ^{-0.024}	99,99	Відновлення електролізом
3	Знос різі М18х1,5 кл. 2	Візуально, різьбовий шагомір	18 ^{+0.065}		Вібродугове наплавлення, хромування, залізнення

2.4 Технологічні заходи з відновлення дефектних поверхонь

Для усунення встановлених дефектів передбачено поетапне виконання ремонтно-відновлювальних операцій із забезпеченням необхідних параметрів точності та якості поверхонь.

Дефект №1 – Зношення або наявність тріщин на поверхні отвору під встановлення зовнішнього кільця підшипника

(Вимоги до твердості після відновлення: HRC_э 48...56)

Послідовність технологічних операцій:

Попереднє шліфування. Здійснюється обробка внутрішньої поверхні отвору з метою видалення пошкодженого шару та вирівнювання геометрії.

Допуск після операції:

$$d = 159,7^{-0,042} \text{ мм}$$

Гальванічне відновлення методом залізнення. Виконується нарощування металу на поверхню отвору для компенсації втрати розміру та відновлення посадкового діаметра.

Після формування покриття забезпечують:

$$d = 160,4^{+0,36} \text{ мм}$$

Проміжне шліфування. Проводиться корегування розміру після залізнення для забезпечення необхідного припуску на завершальну обробку.

Розмір після операції:

$$d = 160,1^{-0,038} \text{ мм}$$

Чистове (фінішне) шліфування. Забезпечується остаточна точність та параметри шорсткості поверхні, необхідні для надійної посадки зовнішнього кільця підшипника.

Завершальний розмір:

$$d = 160^{-0,026} \text{ мм}$$

Результат відновлення. Отвір під зовнішнє підшипникове кільце відновлено до номінального розміру з необхідним посадковим допуском та твердістю, що гарантує надійність з'єднання під час експлуатації.

Дефект №2. Зношення поверхні отвору під встановлення внутрішнього кільця підшипника (Після відновлювальна твердість: HRC 48...56)

Для забезпечення можливості подальшої надійної експлуатації вузла передбачена наступна технологічна послідовність обробки:

Токарна операція – попереднє оброблення. Проводиться обточування отвору з метою усунення слідів зношення та дефектів поверхні, формування правильної геометричної форми.

Забезпечуваний розмір:

$$d = 99,9^{-0,048} \text{ мм}$$

Відновлення розміру методом наплавлення. Виконується нарощування металу на внутрішню поверхню отвору до величини з гарантованими припусками для заключного шліфування.

Після наплавлення встановлюється:

$$d = 100^{+1,1} \text{ мм}$$

Під час операції необхідно здійснювати своєчасне видалення шлаку, не допускаючи його прикріплення до металу після охолодження.

Фінішне шліфування. Забезпечує досягнення остаточного точного розміру, необхідних параметрів шорсткості та якості поверхні, що відповідають посадочним вимогам підшипника. Кінцевий розмір:

$$d = 100^{-0,036} \text{ мм}$$

Результат виконаних операцій. Отвір під внутрішнє кільце підшипника відновлено до нормативних параметрів якості й точності, що забезпечує правильне розміщення та функціонування підшипникової опори.

Дефект №3 – Зношення різьбової поверхні M18×1,5.

Для відновлення працездатності різьбового з'єднання виконується корекція геометричних параметрів отвору та нанесення нової різі збільшеного типорозміру. Технологічна послідовність передбачає такі операції:

Свердління із забезпеченням точності отвору. Видалення пошкодженої ділянки різі та формування отвору під розгортання.

Допуски після операції:

$$d_1 = 18,7^{+0,12} \text{ мм}, L = 12 \text{ мм}$$

Розгортання для забезпечення потрібної геометрії. Завершення формування внутрішнього отвору з підвищенням точності й чистоти поверхні.

Післяопераційний розмір:

$$d_1 = 18,7 \text{ мм}$$

Зняття фаски. Обробка входу отвору для запобігання заусенцям і полегшення подальшого нарізання різі:

$$c = 0,5 \times 45^\circ$$

Нанесення нової різі. Формування різьбового профілю збільшеного діаметра для відновлення надійного з'єднання:

$$M19 \times 1,5 - 6g$$

Підсумковий технічний ефект. Після виконання всіх етапів отримується якісно відновлене різьбове з'єднання з підвищеною міцністю та зносостійкістю, що повністю компенсує втрати робочих параметрів вихідної різі M18×1,5.

2.5 Вибір обладнання та технологічного оснащення

Для реалізації запроєктованого технологічного маршруту відновлення деталі передбачене застосування відповідних верстатів, інструментів та контрольно-вимірювальних засобів. Перелік обладнання визначено залежно від специфіки кожної операції:

Операція 005 – Шліфування (4130)

круглошліфувальний верстат моделі ЗУ142;

повідковий патрон;

обертовий центр верстатний типу «75»;

абразивний шліфувальний круг ПП 500×50×305, марка 25А 40Н СМ2 4 К1;

індикаторна скоба С1-50 для контролю діаметра.

Операція 010 – Залізнення (7144)

установка для електролітичного залізнення;

гальванічний електроліт відповідного складу;

спеціальне технологічне пристосування для фіксації деталі;

штангенциркуль типу ЩЦ-1-125-0,05 для контролю відновленого розміру.

Операція 015 – Шліфування (4130)

верстат ЗУ142, комплектуваний:

повідковим патроном,

обертовим заднім центром;

шліфувальний круг ПП 500×50×305 15А 40Н СТ1 6 К1;

індикаторна скоба С1-50.

Операція 020 – Чистове шліфування (4130)

круглошліфувальний верстат ЗУ142;

повідкове захоплення;

обертовий центр;

шліфувальний круг ПП 500×50×305 24А 25Н СМ2 4 К1;

індикаторна скоба С1-50.

Операція 025 – Токарна обробка (4110)

токарно-гвинторізний верстат 16К20;

трикулачковий самоцентруючий патрон;

нерухомий люнет для підтримки деталі;

розточувальний різець T15K6.

Операція 030 – Токарна обробка (4110)

верстат 16K20;

повідковий патрон;

обертовий задній центр;

прохідний упорний різець T15K6;

штангенциркуль ЩЦ-1-125-0,05.

Операція 035 – Наплавлення (9300)

універсальний дуговий наплавлювальний верстат У-653 (під флюсом);

повідковий патрон та обертовий задній центр;

гак для видалення шлаку;

штангенциркуль ЩЦ-1-125-0,1;

електродний дріт Нп-30ХГСА;

флюс АН-20.

Операція 040 – Фінішне шліфування (4130)

круглий шліфувальний верстат ЗУ142;

повідковий патрон та центр;

шліфувальний круг ПП 500×50×305 24А 25Н СМ2 4 К1;

індикаторна скоба С1-50.

Операція 045 – Свердлильна (4120)

вертикально-свердлильний верстат 2Н118;

свердло Ø18,7 мм зі швидкорізальної сталі Р6М5;

розвертка Р6М5;

зенківка $\alpha = 45^\circ$ Р6М5;

мітчик різьбовий Р6М5;

різьбовий калібр;

гладкий калібр-пробка 10,7 мм.

Застосування вищезазначеного обладнання та оснащення гарантує досягнення необхідних параметрів точності, шорсткості й механічних характеристик відновлюваних поверхонь, забезпечуючи високу ефективність технологічного процесу.

2.6 Розрахунок норм часу

Нормування тривалості виконання кожної технологічної операції здійснюється на основі визначення **штучного часу**, який обчислюється за формулою:

$$t_{\text{шт}} = t_o + t_b + t_{\text{обс}} + t_{\text{от}}$$

де $t_o(t_{\text{маш}})$ – основний (технологічний) час, протягом якого відбувається безпосередня зміна стану або параметрів відновлюваної деталі;

t_b – допоміжний час, що включає дії зі встановлення та знімання деталі, підведення та відведення інструменту, виконання вимірювань у процесі оброблення;

$t_{\text{обс}}$ – час на організаційно-технічне обслуговування: коригування положення деталі, заміна або переналаштування інструменту, підготовка верстата до роботи та прибирання робочого місця після завершення операцій;

$t_{\text{от}}$ – регламентовані перерви, що необхідні для відпочинку робітника та задоволення фізіологічних потреб.

Допоміжний час розкладається на складові:

$$t_b = t_{\text{уст}} + t_{\text{пер}} + t_{\text{кн}}$$

де $t_{\text{уст}}$ – час на установлення та зняття деталі із закріплювального пристрою;

$t_{\text{пер}}$ – затрати часу, пов'язані з виконанням переходу або окремого етапу технологічної операції;

$t_{\text{кн}}$ – час перевірки точності розмірів і контролю параметрів якості оброблення.

Для оцінки продуктивності окремої операції використовується показник оперативного часу:

Усі витрати часу, що не пов'язані безпосередньо з різанням чи видаленням припуску, нормуються у відсотковому співвідношенні до оперативного часу. Так, тривалість організаційно-технічного обслуговування робочого місця приймають на рівні 2–4 % від значення $t_{\text{опер}}$. Аналогічно, у великосерійному

виробництві час на відпочинок працівника та задоволення фізіологічних потреб регламентується величиною 6–8 % від оперативного часу.

Розрахунок часу для допоміжних процесів

Миття деталі перед наступними операціями:

$$t_{\text{шт (мийка)}} = 2,38 \text{ хв/дет.}$$

Нормування свердлильних операцій

Основний та допоміжний час визначаються:

$$t_{\text{шт (свердл.)}} = 0,18 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,93 \text{ хв}$$

$$t_{\text{опер}} = t_o + t_{\text{доп}} = 0,18 + 0,93 = 1,11 \text{ хв}$$

Нормування зенкерування

$$t_{\text{шт (зенкер.)}} = 0,13 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,93 \text{ хв}$$

$$t_{\text{опер}} = 0,13 + 0,93 = 1,06 \text{ хв}$$

Електролітичне залізнення:

Тривалість процесу електролізу залежить від необхідної товщини відновленого шару та властивостей покриття. Для відновлення поверхні деталі приймається:

$$t_{\text{ел}} = 37,4 \text{ хв}$$

Шліфувальні операції.

До складу витрат часу під час шліфування входять:

допоміжний час – на підведення інструменту, установлення деталі та проміри:

$$t_{\text{доп}} = 0,45 \text{ хв}$$

основний (машинний) час – безпосереднє формування поверхні:

$$t_o = 1,90 \text{ хв}$$

регламентовані перерви та час на відновлення працездатності оператора:

$$t_{\text{відп}} = 0,17 \text{ хв}$$

Розрахунок штучного часу для шліфування:

$$t_{\text{шт}} = t_o + t_{\text{відп}} = 1,90 + 0,17 = 2,07 \text{ хв}$$

Розраховані значення норм часу виступають ключовими планово-обліковими параметрами, що дають змогу:

визначити загальну трудомісткість усього технологічного маршруту відновлення деталі;

оптимізувати завантаження обладнання з урахуванням фактичної продуктивності робочих місць;

розробити виробничу програму ремонтного підрозділу з прогнозуванням випуску відновленої продукції у плановому періоді;

провести нормування чисельності персоналу, включаючи кваліфікаційний склад виконавців;

оцінити економічний ефект від запровадження технології, порівнюючи фактичні витрати часу з нормативними й аналізуючи альтернативні варіанти ремонту або заміни деталей;

забезпечити контроль якості та ритмічності виробничого процесу, оскільки нормативи часу безпосередньо впливають на своєчасність виконання ремонтних робіт.

Таким чином, отримані результати є не лише елементом технологічних розрахунків, а й важливою складовою економічного планування та підвищення ефективності функціонування підприємства. Системний облік та аналіз даних нормування дозволяє підвищити продуктивність праці, мінімізувати простой й досягти раціонального використання виробничих ресурсів.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок барабанного гальмівного механізму

Гальмівна система автомобіля є ключовим елементом забезпечення активної безпеки транспорту, оскільки відповідає за плавне зменшення швидкості руху й повну зупинку транспортного засобу, а також за утримання його в нерухомому стані під час стоянки незалежно від дорожніх умов та рельєфу місцевості.

Конструктивно кожен сучасний автомобіль оснащується щонайменше трьома функціональними гальмівними системами:

робочою, що використовується під час руху для гальмування й зупинки транспортного засобу;

стояночною, яка запобігає самовільному переміщенню автомобіля на стоянці;

запасною, роль якої, у разі виникнення несправності одного з контурів робочої системи, виконує інший контур або у поєднанні з механізмом стоянкового гальма.

Будь-яка гальмівна система включає два основні конструктивні компоненти: гальмівний привід та гальмівні механізми, що створюють необхідну силу тертя в зоні контакту робочих поверхонь.

За геометрією елементів, між якими реалізується тертя, гальма поділяються на стрічкові, барабанні та дискові. На транспортних засобах масового призначення найбільш широке застосування отримали колісні гальмівні механізми, які входять до складу робочої гальмівної системи, тоді як механізми стоянкового гальма можуть бути як центрального, так і колісного типу.

Одним з найпоширеніших варіантів є барабанний гальмівний механізм, конструкція якого передбачає наявність гальмівного барабана, що обертається синхронно з колесом (рисунок 3.1). У процесі гальмування гальмівні колодки розтискаються всередині барабана, створюючи нормальну силу притискання до

його робочої поверхні, внаслідок чого виникає гальмівний момент, який зменшує обертання колеса.

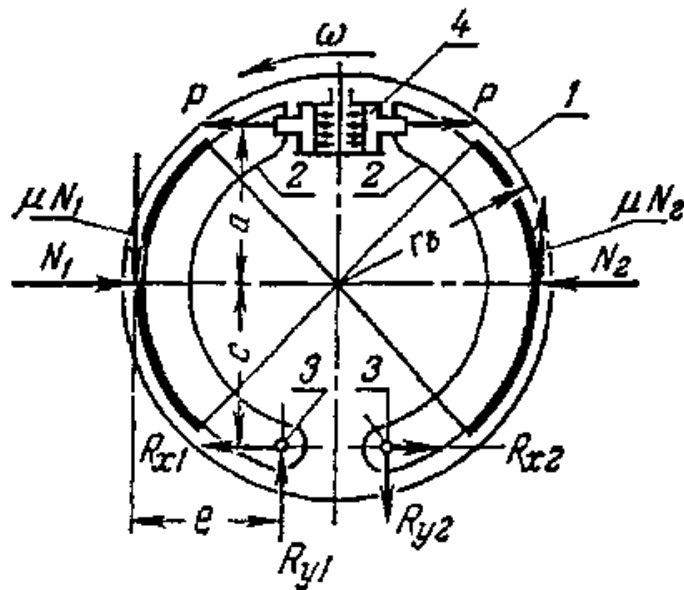


Рис. 3.1. Схема барабанного гальмівного механізму.

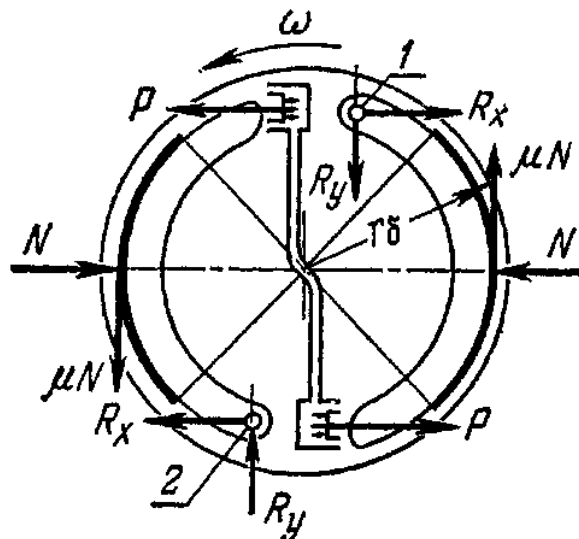


Рис. 3.2. Схема барабанного гальма з двома активними колодками.

У середині порожнини гальмівного барабана розміщено пару гальмівних колодок 2 (рисунок 3.1), оснащених фрикційними накладками. Вони шарнірно встановлені на опорному диску, який жорстко приєднаний до картера заднього моста. Під час натискання на педаль гальмування у гідравлічному приводі створюється тиск робочої рідини, внаслідок чого поршні 4 робочого циліндра починають рухатися у протилежні боки, розтискаючи верхні кінці колодок і притискаючи їх до внутрішньої поверхні барабана.

Утворений у зоні контакту колодок і барабана гальмівний момент виникає завдяки силам тертя, які чинять опір обертанню колеса та поступово знижують

швидкість транспортного засобу. Після припинення зусилля на педалі пружинні елементи автоматично повертають колодки у вихідне положення, усуваючи їх контакт із робочою поверхнею барабана та відновлюючи вільне обертання колеса.

Для задніх коліс автомобіля, обладнаних барабанними механізмами із гідравлічним приводом, розрахунковий максимальний гальмівний момент визначають за наступною залежністю:

$$M_k \frac{G_a}{2 \cdot L} (a - \phi \cdot h)_{T2max}$$

де r_k – приведений кінематичний радіус колеса, величину якого для подальших розрахунків приймаємо $r_k = 0,48$ м;

ϕ – коефіцієнт зчеплення шини з опорною поверхнею, що залежить від дорожніх умов і типу протектора, у даному випадку прийнято $\phi = 0,8$;

G_a – експлуатаційна маса автомобіля з урахуванням повного навантаження;

a , h , L – відповідно: горизонтальна відстань від осі передніх коліс до проєкції центра мас автомобіля на поверхню дороги, висота розташування центра мас над опорною поверхнею та колісна база транспортного засобу.

Для розрахункового автомобіля прийнято:

$a = 4,942$ м; $h = 1,0$ м; $L = 6,24$ м.

$$M_{T2max} = 0.48 \cdot 0.8 \cdot \frac{36000 \cdot 9.8}{2 \cdot 6.24} (4.942 - 0.8 \cdot 1) = 44960 \text{ Н}$$

Оптимальне значення тиску в контурі гідравлічного приводу гальмівної системи визначається розрахунковим шляхом, виходячи з умов забезпечення необхідного гальмівного зусилля на колісних механізмах. Аналітична залежність для визначення цього параметра має такий вигляд:

$$p_2 = \frac{M_{T2max}}{\frac{\pi \cdot d_{p2}^2}{4} \cdot r_0 \left(\frac{\mu \cdot h}{k_0 \cdot a - \mu \cdot r_0} \right)}$$

де d_{p2} – діаметр поршня робочого циліндра, що передає зусилля на колодку барабанного гальмівного механізму; для умов розрахунку легкового автомобіля прийнято $d_{p2} = 0,02$ м;

r_β – робочий радіус колодки, тобто відстань від центра обертання барабана до середньої лінії накладки; у розрахунку використано значення $r_\beta = 0,1$ м;

μ – коефіцієнт тертя між фрикційною накладкою та поверхнею барабана, що залежить від матеріалу, стану поверхонь і температурних режимів; для даного механізму прийнято $\mu = 0,3$;

k_0 – поправний коефіцієнт, який ураховує реальний кут охоплення барабаном гальмівної колодки та вплив цього чинника на зміну гальмівного моменту; значення $k_0 = 0,84$ є типовим для задніх гальм легкового автомобіля.

$$p_2 = \frac{44960}{\frac{3.14 \cdot 0.02^2}{4} \cdot 0.1 \left(\frac{0.3 \cdot 1}{0.84 \cdot 4.942 - 0.3 \cdot 0.1} \right)} = 17 \text{ МПа}$$

Радіальне навантаження, яке передається на опорний елемент колеса під час інтенсивного гальмування, визначають розрахунковим шляхом. Аналітичний вираз для встановлення величини цієї сили має такий загальний вигляд:

$$P_p = P \cdot \left(\frac{h}{k_0 \cdot a - \mu \cdot r_0} - \frac{h}{k_0 \cdot a + \mu \cdot r_0} \right),$$

$$\text{де } P = \frac{\pi \cdot d_{p2}^2}{4} \cdot p_2$$

$$P = \frac{\pi \cdot 0.02^2}{4} \cdot 17 \cdot 10^6 = 5338 \text{ Н}$$

$$P_p = 5338 \cdot \left(\frac{1}{0.84 \cdot 4.942 - 0.3 \cdot 0.1} - \frac{1}{0.84 \cdot 4.942 + 0.3 \cdot 0.1} \right) = 18.6 \text{ Н}$$

Гальмівний момент, що виникає внаслідок тертя між внутрішньою поверхнею гальмівного барабана та фрикційними накладками колодок, визначають із використанням залежності:

$$M_\tau = \mu \cdot r \cdot (N_1 + N_2) = P \cdot \mu \cdot r \cdot (a + c) \cdot \left(\frac{1}{c - \mu \cdot e} + \frac{1}{c + \mu \cdot e} \right)$$

де a , c , e – відповідні плечі прикладання сил, які діють на гальмівні колодки (див. рисунок 3.1), м;

r – робочий радіус гальмівного барабана, м;

μ – коефіцієнт тертя між накладками колодок та внутрішньою поверхнею барабана;

P – притискальна сила, завдяки якій колодки контактують із барабаном під час гальмування, Н.

$$M_{\tau} = 5338 \cdot 0.3 \cdot 0.1 \cdot (0.07 + 0.08) \cdot \left(\frac{1}{0.08 - 0.3 \cdot 0.1} + \frac{1}{0.08 + 0.3 \cdot 0.1} \right) \\ = 698.8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для випадку, коли гальмівні колодки мають симетричну конструкцію та рівномірне охоплення поверхні барабана, розрахункові залежності спрощуються. Така умова забезпечує однакові плечі прикладання сили тертя на обох колодках, що дозволяє подати гальмівний момент у більш компактному вигляді

$$M_{\tau} = 2 \cdot P \cdot \mu \cdot r \cdot \left(\frac{a + c}{c - \mu \cdot e} \right) \\ M_{\tau} = 2 \cdot 5338 \cdot 0.3 \cdot 0.1 \cdot \left(\frac{0.07 + 0.08}{0.08 - 0.3 \cdot 0.1} \right) = 960.8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальне значення питомого тиску, що передається фрикційною накладкою колодки на внутрішню поверхню барабана, позначене як $q_{\max}$, визначають із урахуванням відомої притискальної сили. За умови, що реакція від гідроприводу на колодку дорівнює $N_1 = P$, розрахункова залежність набуває такого вигляду:

$$q \frac{N_1}{r \cdot \alpha \cdot B_{\max}}$$

де B – номінальна ширина фрикційної накладки, яка безпосередньо визначає площу контакту з гальмівним барабаном; у розрахунковому прикладі прийнято $B = 30 \text{ мм}$;

α – кут охоплення накладкою внутрішньої поверхні барабана, виражений у радіанах; для заданої конструкції $\alpha = 2,2 \text{ рад}$.

$$q_{\max} = \frac{5338}{0.1 \cdot 2.2 \cdot 0.03} = 0.8 \text{ МПа}$$

У практиці проєктування барабанних гальм максимальне допустиме значення питомого тиску в зоні контакту колодки з барабаном приймається в межах $q_{\max} = 0,5 \dots 2,0 \text{ МПа}$, що забезпечує надійну роботу фрикційної пари без надмірного зношування та перегріву елементів механізму.

3.2 Розрахунок пневматичного підсилювача гальм

Для зменшення фізичного навантаження на водія під час керування процесом гальмування в конструкцію гідравлічного приводу гальмівної системи впроваджують додаткові енергетичні пристрої – підсилювачі. Їх застосування забезпечує часткову або повну компенсацію зусилля, яке водій прикладає до педалі, шляхом використання зовнішнього джерела енергії.

Залежно від принципу дії підсилювачі, інтегровані у гальмівний привід, можуть реалізовувати перетворення:

енергії стисненого повітря – у пневматичних підсилювачах, що особливо поширені на вантажних автомобілях і автобусах;

розрідження у впускному тракті двигуна або вакуумного насоса – у вакуумних підсилювачах, які є базовим рішенням для легкових транспортних засобів;

тиску робочої рідини від гідросистеми високого тиску – у гідравлічних підсилювачах, що застосовуються в спеціальній та важкій техніці.

У сучасному автомобілебудуванні також упроваджуються електропідсилювачі, що використовують електромеханічні виконавчі елементи та забезпечують розширені можливості інтеграції зі системами активної безпеки.

Підсилювач гальм істотно покращує керованість транспортного засобу, знижує втому водія та сприяє підвищенню ефективності гальмування. При цьому у разі відмови підсилювача гальмівна система зберігає працездатність – гальмування здійснюється за рахунок зусилля від педалі без зовнішнього підсилення.

Пневматичний підсилювач включає в себе резервуар із запасом стисненого повітря, керуючий клапан та силовий циліндр, оснащений поршнем або еластичною діафрагмою. Робота підсилювача ґрунтується на використанні енергії стисненого повітря для збільшення зусилля, що передається на головний гальмівний циліндр.

У момент натискання на педаль водій створює початкове зусилля, яке через штовхач передається одночасно на шток силового циліндра та на стежний клапан. Внаслідок цього клапан відкриває доступ стисненому повітрю з балона

в порожнину силового циліндра. Під дією підвищеного тиску поршень (або діафрагма) зміщується, додатково підсилюючи зусилля на поршень головного гальмівного циліндра та збільшуючи тиск робочої рідини у колісних механізмах.

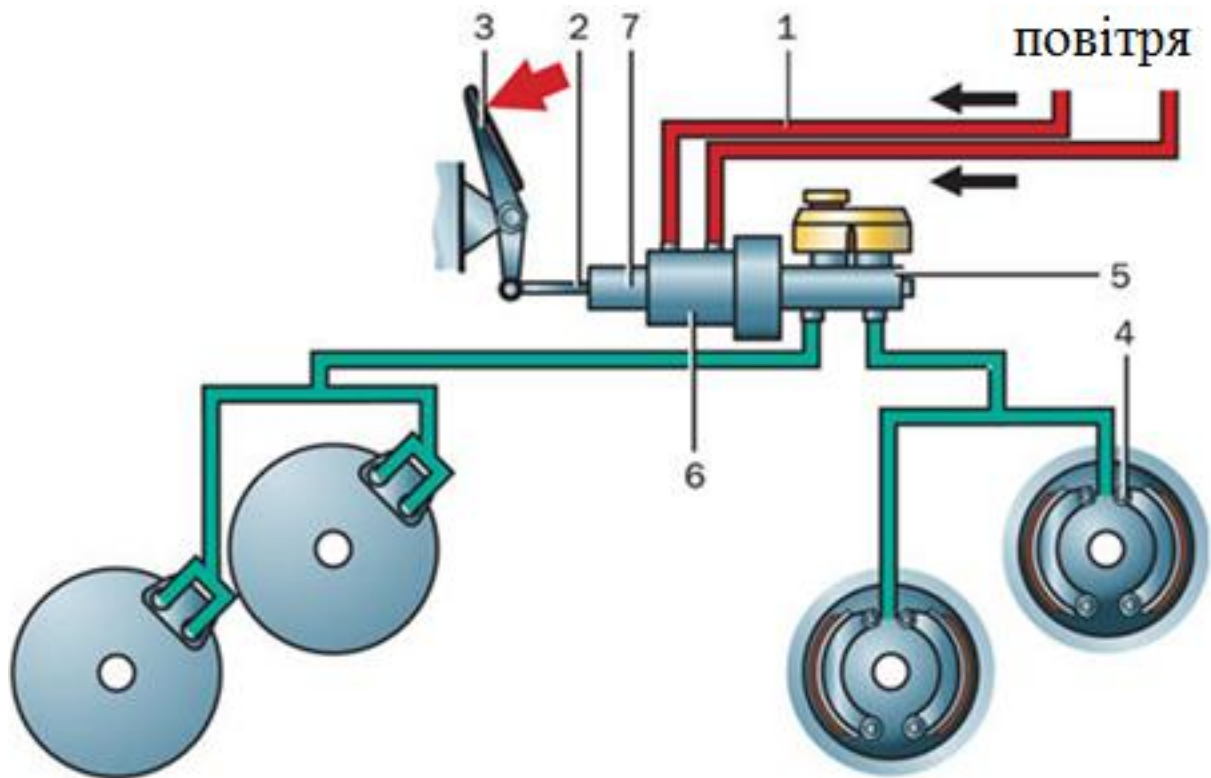


Рис. 3.3. Принципова схема гідравлічного гальмівного приводу з пневматичним підсилювачем:

1 – магістраль подачі стисненого повітря; 2 – шток приводу; 3 – педаль гальмування; 4 – гальмівні механізми коліс; 5 – головний гальмівний циліндр; 6 – силовий пневмоциліндр; 7 – стежний (керувальний) клапан.

У режимі відсутності гальмування робоча рідина, що нагнітається насосом, вільно проходить через канали розподільника і повертається у бачок, не створюючи надлишкового тиску в системі. Коли водій натискає на педаль гальма, у розподільнику автоматично перекривається канал зливу в бачок, і відкривається шлях для подачі рідини у робочу порожнину силового циліндра. Унаслідок цього зусилля від педалі та сила, створена тиском рідини на поршень силового циліндра, сумуються і далі передаються на поршень головного гальмівного циліндра, підвищуючи тиск у гідравлічній системі колісних механізмів.

Під час інтенсивного гальмування спостерігається характерний динамічний перерозподіл навантаження між осями автомобіля: частка

навантаження на передні колеса зростає, тоді як задні колеса розвантажуються. Такий процес може спричинити ситуації, коли гальмівні сили на задній осі перевищують сили зчеплення шин із дорожнім покриттям, що призводить до блокування коліс та їх ковзання. Це негативно впливає на курсову стійкість і керованість транспортного засобу.

Для усунення зазначеного недоліку у систему вводиться регулятор тиску, який автоматично обмежує тиск у контурі задніх гальм залежно від ступеня навантаження на осі.

Регулятор гальмівних сил призначений для автоматичного коригування тиску робочої рідини в контурі задніх гальм залежно від фактичного навантаження на задню вісь. Його робота спрямована на обмеження надмірного збільшення гальмівних зусиль на задніх колесах у випадках часткової завантаженості автомобіля, що дозволяє забезпечити раціональну послідовність їхнього блокування. З точки зору безпеки руху, найбільш сприятливим є сценарій, коли першими до критичного стану зупинки наближаються передні колеса, тоді як задні продовжують обертання, зберігаючи курсову стійкість автомобіля.

Зменшення імовірності передчасного блокування задніх коліс позитивно впливає на стабільність поведінки транспортного засобу під час уповільнення, особливо на слизьких або нерівних дорожніх покриттях. Значення тиску для заднього контуру встановлюється пропорційно величині завантаження підвіски задньої осі, що дає змогу регулятору адаптуватися до змін маси вантажу або кількості пасажирів.

Водночас, навіть за наявності регулятора, повного виключення можливості блокування та початку ковзання задніх коліс досягти неможливо. Ефективність пристрою залежить від багатьох чинників – зчеплення шин із дорогою, стану гальмівних механізмів, швидкості руху та інтенсивності гальмування. Тому регулятор розглядається як засіб підвищення безпеки, але не як абсолютний механізм запобігання аварійним ситуаціям.

Переваги пневматичного приводу.

Пневматичні системи приводу мають низку суттєвих техніко-експлуатаційних переваг, що зумовлюють їх широке застосування в різних галузях техніки:

Відсутність необхідності повернення робочого середовища до джерела енергії, оскільки повітря після виконання роботи вільно виходить в атмосферу, що спрощує конструкцію та обслуговування приводу.

Низька густина робочого середовища, що забезпечує меншу масу системи на відміну від гідроприводів, що є критичним для авіакосмічної техніки та транспорту.

Компактність та менша маса пневматичних виконавчих елементів порівняно з електричними приводами аналогічної потужності.

Спрощена конструкція енергетичного забезпечення, оскільки як джерело енергії може використовуватися балон зі стисненим газом; у спеціальних системах тиск у таких балонах може досягати 500 МПа, що інколи дає змогу замінювати піротехнічні виконавчі пристрої.

Висока економічність експлуатації, пов'язана з доступністю та низькою вартістю робочого середовища – повітря.

Швидкодія та висока частота обертання пневмомоторів, яка може сягати десятків тисяч об/хв, що робить їх ефективними в динамічних технологічних системах.

Високий рівень пожежної та вибухонебезпечної безпеки, оскільки повітря є нейтральним середовищем, що дозволяє застосовувати пневмоприводи у вибухонебезпечних умовах – у шахтах, на підприємствах хімічної промисловості тощо.

Можливість передавання енергії на значні відстані (до кількох кілометрів), що надає змогу використовувати пневмережі як магістральні у рудниках та підземних виробничих комплексах.

Низька чутливість до коливань температури навколишнього середовища, завдяки чому зміна в'язкості газу чи зазорів між елементами приводної системи практично не впливає на ККД пневмоприводу. Це робить його ефективним у високотемпературних робочих зонах, зокрема металургійних цехах.

Недоліки пневматичного приводу.

Попри значний перелік переваг, пневматичні приводи характеризуються низкою обмежень, що необхідно враховувати при їх проєктуванні та експлуатації:

Теплові втрати при стисканні та розширенні газу, які є наслідком термодинамічних процесів у компресорах і виконавчих пневмодвигунах. Це може призводити до:

обмерзання елементів магістралей і арматури за рахунок інтенсивного охолодження газу під час дроселювання;

утворення конденсату, що вимагає застосування осушувачів та фільтрувального обладнання для підтримання працездатності системи.

Висока собівартість пневматичної енергії, що у 3–4 рази перевищує витрати на електричну, особливо у випадках безперервної роботи приводів, наприклад у підземних гірничих комплексах.

Порівняно низький коефіцієнт корисної дії, нижчий, ніж у гідроприводу, що пов'язано з додатковими втратами під час перетворення енергії.

Обмежена точність регулювання та плавність руху виконавчих механізмів, що ускладнює використання таких приводів у прецизійних системах керування.

Потенційна небезпека розривів трубопроводів та елементів системи під тиском, що потребує обмеження робочого тиску у промислових пневмережах рівнем близько 1 МПа. В окремих високонадійних системах (наприклад, на АЕС) допускається тиск до 7 МПа, а в авіакосмічній техніці – понад 20 МПа.

Необхідність застосування дорогих регулювальних приладів, зокрема позиціонерів, для точного контролю переміщення штоків і налаштування їх робочих ходів.

Розрахунок пневматичного підсилювача гальм. Вибір та технічне обґрунтування конструкції гальмівного приводу здійснюється з урахуванням комплексу вимог, серед яких ключовими є: мінімальний час спрацювання, плавність наростання гальмівного зусилля, раціональний розподіл гальмівних сил між колесами, зручність керування, висока довговічність і конструктивна простота.

Гальмівний привід робочої системи має забезпечувати стабільну та безвідмовну роботу в експлуатації, тому доцільним є застосування роздільного

керування гальмами коліс різних осей, що підвищує безпеку руху у разі виходу з ладу одного з контурів. Стоянкова гальмівна система повинна мати механічний привід на колісні механізми, що дозволяє використовувати її як аварійний або запасний засіб гальмування.

Після остаточного визначення типу приводу здійснюють розроблення конструкції основних його функціональних вузлів: головного гальмівного циліндра, робочих циліндрів коліс, гальмового крана чи клапана, пневмокамери або пневмоциліндра, а також енергоакумулятора зі стислим пружинним елементом тощо.

На подальшому етапі розрахунків визначають кінематичні U_k та силові U_p передаточні числа приводу, що встановлюють співвідношення між переміщеннями та зусиллями в елементах системи й дозволяють оцінити ефективність передавання енергії від педального механізму до виконавчих органів

$$U_k = \frac{S_{пед.роб}}{\sum S_k}$$

де $S_{пед.роб}$ — робочий хід педалі або важеля керування гальмами, величина якого визначається конструкцією транспортного засобу й для вантажних автомобілів зазвичай становить 80...100 мм;

$\sum S_k$ — загальне переміщення верхніх кінців гальмівних колодок у точках їх взаємодії з поршнями або гальмівним кулаком. Для барабанних гальмівних механізмів ця величина, як правило, лежить у межах 3...6 мм.

$$U_k = \frac{0.080}{0.005} = 16$$

Силове передаточне число гальмівного приводу U_p визначають на основі умови рівності тисків, що формуються у приводі під дією зусилля водія на педаль гальма або під дією тиску стисненого повітря у магістралі (для пневматичних систем), із силами, які створюють розтискання гальмівних колодок у колісному механізмі (рисунки 3.5). Величина U_p характеризує здатність приводу перетворювати зусилля від органу керування у необхідний рівень силової дії на виконавчі елементи гальмівної системи та є ключовим параметром при оцінюванні її ефективності.

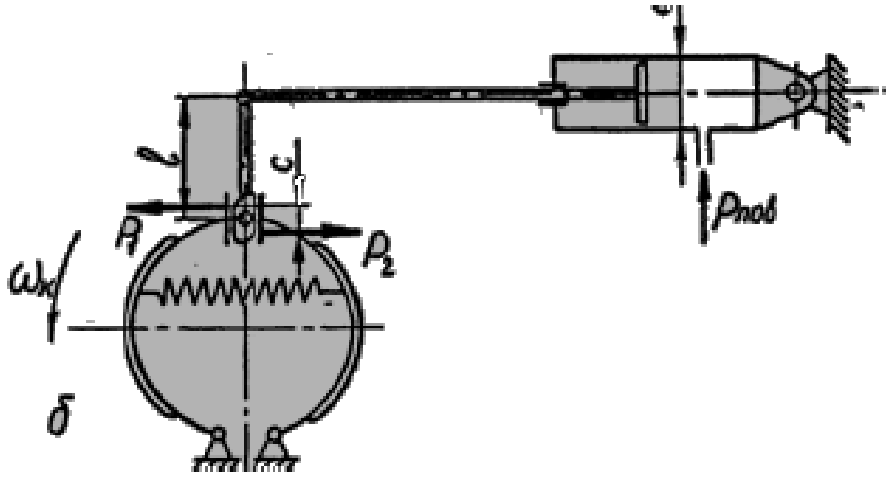


Рис. 3.5. Розрахункова схема визначення силового передаточного числа приводу гальмівної системи з пневматичним підсилювачем.

Зусилля на педалі $P_{\text{пед}}$, яке водій має прикласти для створення необхідного гальмівного ефекту, залежить від характеристик приводу, параметрів пневматичного підсилювача та вимог до інтенсивності уповільнення транспортного засобу

$$P_{\text{пед}} = \frac{\sum R_t}{U_p \cdot \eta_{\text{пр}}}$$

$\sum R_t$ — сумарне гальмівне зусилля, що реалізується всіма колесами транспортного засобу при уповільненні;

$\eta_{\text{пр}}$ — коефіцієнт корисної дії механічної частини пневматичного приводу гальмівної системи, який у більшості конструкцій становить $0,92 \dots 0,95$ і враховує втрати енергії в кінематичних з'єднаннях, шарнірах та деталях передавання руху.

$$P_{\text{пед}} = \frac{10000}{100 \cdot 0,95} = 105 \text{ Н}$$

У гальмівних системах, обладнаних пневматичним приводом, формування гальмівного зусилля на виконавчих механізмах відбувається за рахунок енергії стисненого повітря, що подається з пневмосистеми транспортного засобу

$$U_p = \frac{2 \cdot l}{c \cdot \eta_{\text{пр}}}$$

Для пневматичних гальмівних приводів характерні значно вищі значення силового передаточного числа порівняно з гідравлічними системами. Зазвичай величина U_p для таких приводів перебуває у діапазоні $U_p = 100 \dots 300$, що

забезпечує істотне підсилення зусилля, яке водій прикладає до педалі, за рахунок використання енергії стисненого повітря.

$$U_P = \frac{2 \cdot 190}{4 \cdot 0.95} = 100$$

У результаті виконаної модернізації гальмівної системи вдалося істотно знизити фізичне навантаження на водія під час натискання на педаль гальма. До впровадження пневматичного підсилювача величина зусилля на педальному механізмі становила близько 348 Н, що вимагало значних зусиль при інтенсивному гальмуванні. Після встановлення підсилювача необхідне зусилля зменшилося до 105 Н, тобто більш ніж утричі, що суттєво підвищує ергономічність керування та комфорт водія, а також позитивно впливає на оперативність реакції в екстрених ситуаціях.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Основні аспекти технології розточування

Одним із ключових етапів підготовки маточини колеса до встановлення на вісь є високоточне розточування її внутрішнього отвору. Ця операція забезпечує необхідні параметри посадки та створює умови для надійної фіксації деталі під час подальшої запресовки. При виконанні механічної обробки особлива увага приділяється точності геометрії та чистоті обробленої поверхні, оскільки від цих факторів безпосередньо залежить рівень контактних напружень у посадці та довговічність вузла у процесі експлуатації.

Нормативні документи встановлюють граничні значення зусиль запресовування залежно від діаметра підматочинної ділянки осі та класу шорсткості поверхні.

Матеріали для виготовлення маточин характеризуються підвищеною зносостійкістю та міцністю, що досягається шляхом використання легованих конструкційних сталей із регламентованим хімічним складом. Приклади таких сталей, що дозволяє забезпечити надійність з'єднання та необхідні механічні властивості під час експлуатації.

Матеріали, що використовуються для виготовлення маточин, належать до групи середньовуглецевих низьколегованих сталей, які мають достатньо високу технологічність і добре піддаються механічній обробці різанням.

Параметри чистоти та геометричної точності обробленої поверхні внутрішнього отвору маточини значною мірою залежать від вибору інструментального оснащення та оптимізації режимів різання. Операція розточування може реалізовуватися як на токарно-карусельних верстатах типу КС12, КС112, 1401М, 1516, КС412, що використовують стандартні різці з твердосплавними непереточуваними пластинами, так і на високотехнологічних спеціалізованих розточувальних верстатах, зокрема моделі КРС2791М-Н1, оснащених прецизійними розточувальними головками. Використання другого типу обладнання забезпечує суттєве підвищення ефективності обробки, стабільно високу якість поверхонь та зменшення витрат часу на операцію.

Технічні характеристики верстата КРС2791М-Н1, що застосовувався під час дослідження процесу відновлювальної обробки, наведено у таблиці 4.1. Конструкція шпиндельного вузла базується на використанні високоточних роликів підшипників, що забезпечує необхідну жорсткість системи. Механізм радіальної подачі інтегрований у шпиндель та функціонує шляхом повороту додаткового інструментального шпинделя навколо осі обертання. Різання здійснюється за допомогою продуктивного інструмента зі змінними твердосплавними пластинами, що не потребують переточування.

Таблиця 4.1. Основні технічні характеристики розточувального верстата КРС2791М-Н1.

Найменування основних параметрів верстата	Значення
Діапазон діаметрів коліс за колом кочення, мм	860...964
Діапазон оброблюваних внутрішніх діаметрів, мм:	182...198
• перший робочий діапазон	204 ... 218
• другий робочий діапазон	
Максимальна довжина маточини, що підлягає обробці, мм	190+10, 195+10
Межі осьового ходу ползуна, мм	300
Значення радіального переміщення інструмента, мм	±16
Частота обертання шпиндельного вузла, хв^{-1}	150...540
Потужність електричного приводу шпинделя, кВт	30
Швидкість осьової подачі ползуна, мм/хв	1...7000
Швидкість радіальної подачі інструмента, мм/хв	0,25...250
Дискретність відліку осьового переміщення ползуна, мм	0,01
Гранична похибка формування розточеного розміру, мм	0,01
Розрахункова продуктивність під час автоматизованого навантаження, шт./хв	7
Маса верстата, кг	7500
Габаритні розміри обладнання, мм	2700 × 2000 × 2000

На рисунку 4.1 представлено конструктивне виконання спеціальної розточувальної головки, яка застосовується на зазначеному верстаті. Її

особливістю є асиметричне розміщення ріжучих елементів та можливість комбінованого використання багатогранних пластин для чорнового і чистового проходів. Таке інженерне рішення забезпечує високу точність формування внутрішніх поверхонь, оскільки діаметр розточеного отвору використовується як вихідна база для визначення параметрів посадкової ділянки осі.

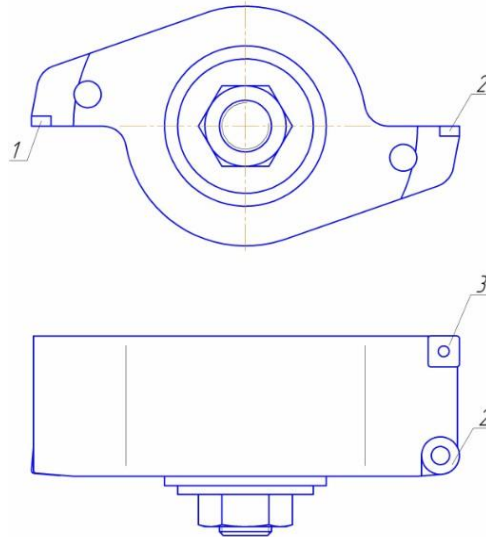


Рис. 4.1. Конструкція розточувальної головки верстата KPC2791M-N1:

1 – змінна багатогранна пластина для чорнкової обробки; 2 – змінна багатогранна пластина для чистового проходу; 3 – ріжучий елемент для формування зовнішньої галтелі.

Під час застосування традиційного розточувального різця можливі пружні деформації державки, викликані одностороннім впливом сили різання, що провокує коливання та нестабільність розмірів отвору. Використання розточувальних головок із двостороннім розташуванням ріжучих елементів сприяє частковому або повному зрівноваженню сил різання, що позитивно впливає на точність та повторюваність результатів механічної обробки.

Під час розточування маточин різальні елементи, призначені для чорнового та чистового проходів (за винятком інструмента для формування галтелі), функціонують у тотожних умовах різання. Тому поліпшення параметрів точності та шорсткості поверхні при чистовій обробці досягається передусім завдяки оптимізованій геометрії відповідної ріжучої пластини. Хоча схема розташування пластин у розточувальній головці є асиметричною, що формально призводить до часткової розбалансованості, цей чинник не справляє істотного впливу на роботу обладнання через порівняно невелику максимальну частоту

обертання шпинделя – 540 об/хв. Застосування круглих чашкових пластин для чистового оброблення забезпечує нижчі показники шорсткості порівняно з пластинами призматичної форми.

Висока жорсткість конструкції верстата KPC2791M-H1 сприяє досягненню стабільної геометричної точності: допустиме радіальне биття обробленого отвору не перевищує $\pm 0,005$ мм, відхилення від круглості обмежується величиною 0,01 мм, а порушення циліндричності також утримується в межах 0,01 мм. Такі параметри підтверджують придатність обладнання для відновлення деталей, що працюють у навантажених з'єднаннях.

У процесі чорнового розточування застосовується квадратна пластина SNMM 1506 24-MR із негативною передньою поверхнею та довжиною сторони 15,8 мм. Для чистових операцій використовується пластина RCMT 1606 00-MO – кругла чашкова, діаметром 16 мм, що забезпечує формування поверхонь підвищеної чистоти.

4.2 Опис експериментальних досліджень та аналіз результатів

У рамках дослідження процесу відновного розточування було проведено серію експериментів із використанням маточин, виготовлених із низьколегованої сталі. Для кількісної оцінки параметрів мікронерівностей внутрішніх поверхонь застосовували портативний профілометр Mitutoyo SJ-210. Вимірювальна головка приладу оснащена алмазним наконечником радіусом 2 мм, з кутом вершини 60° , робочою силою натиску 0,75 мН і швидкістю лінійного сканування 0,5 мм/с. Похибка визначення параметра шорсткості відповідно до технічного паспорта приладу не перевищує ± 2 %.

Вимірювання проводилися вздовж траєкторії подачі ріжучого інструмента, у триразовій повторюваності для кожного режиму різання при стабільних температурних умовах. Аналіз отриманих даних засвідчив, що відносне відхилення результатів повторних вимірів не перевищувало 2...4 %, що свідчить про високу відтворюваність експерименту.

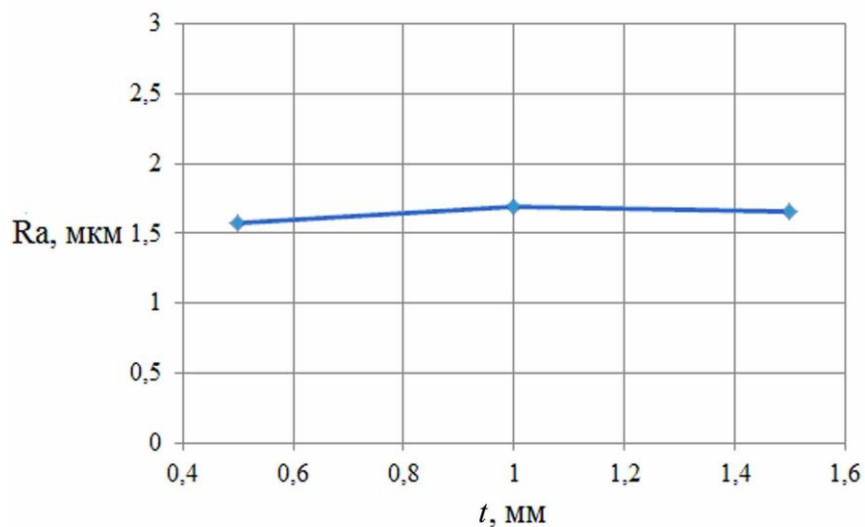
Оскільки параметри шорсткості визначають працездатність посадкових поверхонь, одним із завдань було встановлення оптимальних режимів різання

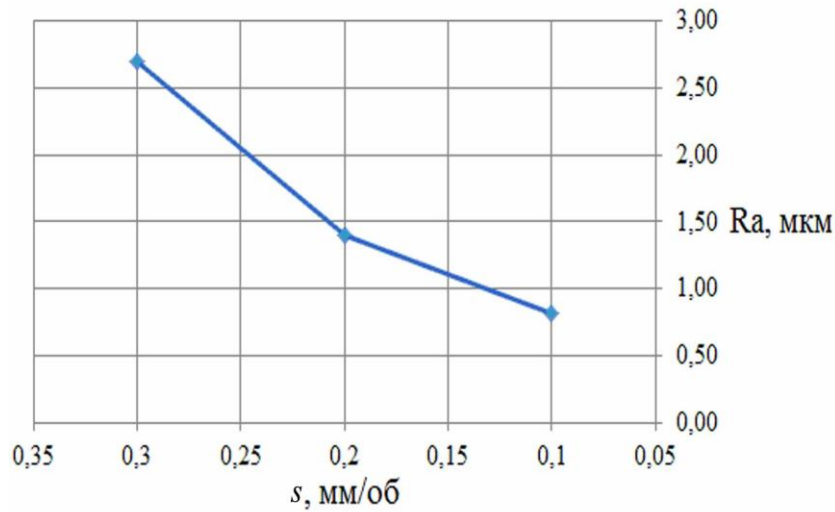
для забезпечення як технологічних, так і експлуатаційних вимог. З урахуванням рекомендацій з довідкових джерел було реалізовано комплекс дослідів із варіацією частоти обертання шпинделя, подачі та глибини різання у допустимих діапазонах. Зведені результати та їх порівняльний аналіз наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Результати вимірювань параметрів шорсткості внутрішньої поверхні маточини при зміні режимів різання.

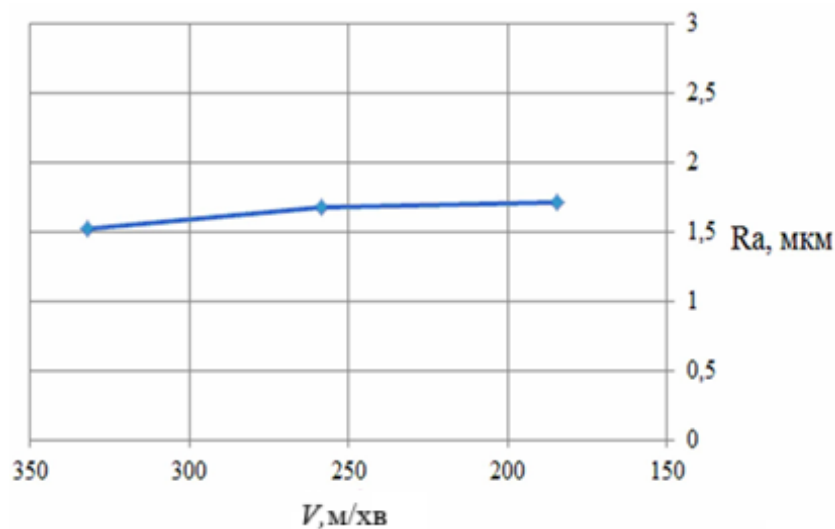
№	Глибина різання, мм	Подача, мм/об	Швидкість різання, м/хв	Шорсткість, Ra, мкм		
				1	2	3
1	0,5	0,1	184	1,036	0,951	1,011
2	0,5	0,2	258	1,351	1,461	1,512
3	0,5	0,3	322	2,252	2,331	2,243
4	1,0	0,1	258	0,627	0,700	0,703
5	1,0	0,2	322	1,638	1,494	1,414
6	1,0	0,3	184	2,891	2,894	2,884
7	1,5	0,1	322	0,720	0,794	0,803
8	1,5	0,2	184	1,281	1,154	1,319
9	1,5	0,3	258	2,966	2,887	2,914

Графічне представлення отриманих експериментальних даних наведено на рисунку 4.2, діаграми а, б, в, що ілюструють залежності параметрів шорсткості від зміни режимів різання.





б



в

Рис 4.2. Графічне відображення зміни параметрів шорсткості внутрішньої поверхні маточини за різних режимів різання при її розточуванні: а – вплив збільшення глибини різання на якість обробленої поверхні; б – характер зміни шорсткості залежно від подачі інструмента; в – залежність параметрів шорсткості від швидкості різання.

Аналічна оцінка впливу режимів різання на параметри шорсткості. Опрацювання результатів досліджень засвідчило, що вирішальним фактором, який формує якість внутрішньої поверхні отвору маточини під час розточування, є величина подачі інструмента. Саме цей параметр найбільш суттєво впливає на величину мікронерівностей. Другим за значущістю параметром виступає швидкість різання. Встановлено, що підвищення швидкості різання до значення близько 320 м/хв дає можливість зменшити вплив вібрацій і, відповідно, покращити параметри шорсткості.

Зростання швидкості обертання скорочує тривалість контакту ріжучої кромки з матеріалом, що позитивно відображається на формуванні мікропрофілю поверхні (рис. 4.2, б). Однак для сталей використовуваної марки характерна поява наросту на ріжучій кромці при значно вищих швидкостях, що, навпаки, здатне спричинити погіршення стану поверхні.

Вплив глибини різання виявився найменшим серед досліджуваних факторів. При збільшенні її значення в діапазоні 0,5–1,0 мм спостерігалось незначне зростання параметрів шорсткості. Подальше збільшення цього параметра практично не впливає на якість обробленої поверхні, що пояснюється достатньою жорсткістю ріжучого інструмента та достатнім запасом потужності приводу верстата. За умов забезпечення цих критеріїв зміни глибини різання практично не провокують деградації мікрогеометрії.

З метою визначення оптимальних параметрів обробки було реалізовано планування експерименту відповідно до схеми Бокса–Бенкіна другого порядку для трифакторної системи. Рівні та інтервали зміни технологічних параметрів подано у таблиці 4.3, а матриця експериментів наведена в таблиці 4.4.

Таблиця 4.3. Рівні зміни та інтервали варіювання технологічних факторів.

Фактори	Кодоване значення x_i	Інтервали варіювання I_i	Уровні факторів	
			–1	0
Глибина різання t , мм	x_1	0,5	0,5	1,0
Подача s , мм/об	x_2	0,1	0,1	0,2
Швидкість різання v , м/хв	x_3	74	184	258

На основі оброблення експериментальних даних та подальшого статистичного аналізу, під час якого було відсіяно коефіцієнти, що не впливають на модель з довірчою ймовірністю за критерієм Стюдента, сформовано кінцевий вигляд регресійного рівняння, що описує залежність параметрів шорсткості від технологічних факторів

$$Ra = 3,07125 + 0,03875t + 0,94875s - 0,095V_{\text{рез}} + 0,0025ts - 0,01207t^2 - 0,01207s^2 - 0,00975V^2 .$$

Таблиця 4.4. Матриця планування експерименту за методом Бокса–Бенкіна.

№ досліду	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	y
1	+	+	+	0	+	0	0	+	+	0	2,62
2	+	+	–	0	–	0	0	+	+	0	0,72
3	+	–	+	0	–	0	0	+	+	0	2,54
4	+	–	–	0	+	0	0	+	+	0	0,65
5	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,63
6	+	+	0	+	0	+	0	+	0	+	1,58
7	+	+	0	–	0	–	0	+	0	+	1,77
8	+	–	0	+	0	–	0	+	0	+	1,5
9	+	–	0	–	0	+	0	+	0	+	1,69
10	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,66
11	+	0	+	+	0	0	+	0	+	+	2,49
12	+	0	+	–	0	0	–	0	+	+	2,68
13	+	0	–	+	0	0	–	0	+	+	0,59
14	+	0	–	–	0	0	+	0	+	+	0,78
15	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,61

4.3 Аналіз отриманих результатів

Підсумовуючи результати дослідження, встановлено, що всі випробувані режими механічної обробки забезпечують необхідний рівень параметрів шорсткості поверхні, передбачений технічними вимогами до маточин. Водночас створена математична модель має важливе практичне значення, оскільки дає можливість оцінити закономірності формування мікрогеометрії внутрішніх поверхонь при розточуванні та прогнозувати їхній стан за зміни технологічних параметрів. Застосування моделі можливе й для оптимізації режимів оброблення деталей аналогічного функціонального призначення, зокрема елементів трубопровідної арматури або компонентів високошвидкісних транспортних систем, де вимоги до чистоти поверхні значно жорсткіші.

Планування експериментів дозволило побудувати регресійну залежність параметра R_a від глибини різання t , подачі s та швидкості різання V , причому всі

включені в рівняння коефіцієнти виявилися статистично вагомими ($p < 0,04$).

Коефіцієнт детермінації, що дорівнює 0,97, свідчить про високу адекватність моделі та її здатність описувати до 97 % варіації досліджуваного показника.

Детальніший аналіз впливів засвідчив, що ключову роль у формуванні параметрів шорсткості відіграє подача інструмента, на другому місці за впливом – глибина різання, а найменше на значення Ra впливає швидкість різання у дослідженому діапазоні.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Нормування та розрахунок штучного освітлення виробничих приміщень

Проектування системи штучного освітлення в приміщеннях транспортних підприємств виконується поетапно з урахуванням вимог безпеки праці, ергономіки робочого середовища та енергоефективності. Основна послідовність робіт охоплює такі стадії:

Аналіз умов функціонування об'єкта: здійснюється оцінювання характеру та точності зорових операцій на кожному робочому місці. Визначаються:

- роль зорового контролю в технологічному процесі;
- габарити об'єктів розпізнавання та дистанція до очей працівника;
- відбивні властивості поверхонь робочої зони;
- просторове розташування робочих площин і вимоги до напрямленості світлового потоку.

Додатково враховують можливість руху об'єктів, ризики виникнення травмонебезпечних умов, стробоскопічні ефекти, а також перевіряють можливості розміщення світильників і наявність потенційних зон утворення тіней.

Обґрунтування вибору системи освітлення, що базується на вимогах до рівномірності освітленості, надійності та економічності світлотехнічної установки.

Добір типу джерел світла відповідно до ДБН В.2.5-28:2006. Враховуються спектральні характеристики випромінювання, світлова віддача, номінальна потужність ламп та рівень пульсацій світлового потоку.

Установлення нормативних параметрів освітленості згідно з категорією точності виконуваних робіт, умовами освітлення і типом обраних джерел світла.

Вибір світильників за їх конструктивним виконанням, світлорозподільними характеристиками, коефіцієнтом корисної дії, ступенем захисту та рівнем дискомфорту від блиску.

Визначення висоти монтажу світильників відповідно до просторової організації робочої зони та архітектурних параметрів приміщення.

Після формування набору вихідних даних – нормованої освітленості, типу освітлювальних приладів, схеми їх розташування – виконують світлотехнічні розрахунки.

У проєктній практиці застосовують різні методи визначення параметрів освітлювальних установок, що базуються переважно на методі світлового потоку та точковому методі. Найбільш поширеним є метод коефіцієнта використання світлового потоку, який використовується для розрахунку систем загального рівномірного освітлення. Він дозволяє обчислити необхідний світловий потік від джерел світла для забезпечення нормативної освітленості горизонтальної робочої площини з урахуванням як прямої компоненти освітлення, так і світла, відбитого від стін, стелі та підлоги.

Світловий потік F , який повинні забезпечувати джерела світла в кожному світильнику, розраховується за такою залежністю:

$$F = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta \cdot \gamma},$$

де E – нормована мінімальна освітленість робочої зони, лк. Для виробничих приміщень автотранспортних підприємств;

k – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в процесі експлуатації світильників. Приймається у межах $1,2-2,0$ залежно від запиленості середовища, типу джерела світла та періодичності очищення обладнання (2–18 разів на рік);

S – площа освітлюваної поверхні, м^2 ;

$z = E_{\text{ср}}/E_{\text{мін}}$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення. У практиці проєктування приймають:

$z = 1,0$ – для розрахунку за середньою освітленістю або систем відбитого світла;

$z = 1,15$ – для ламп розжарювання і ДРЛ;

$z = 1,1$ – для люмінесцентного освітлення;

N – кількість світильників, попередньо визначена за співвідношенням відстані між ними до висоти підвісу ($L:h$);

η – коефіцієнт використання світлового потоку, що визначається за довідниковими таблицями з урахуванням типу світильника, коефіцієнтів відбиття поверхонь та індексу приміщення;

γ – коефіцієнт затінення, що вводиться у випадку фіксованого розташування працівників відносно світильників; для виробничих приміщень найчастіше приймають $\gamma = 0,8$.

Індекс приміщення i для підбору коефіцієнта використання світлового потоку розраховують за формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)},$$

де A і B – геометричні розміри приміщення в плані, м;

h – висота від робочої поверхні до світильника, м.

Розрахований світловий потік світильника або однієї лампи порівнюють із регламентованими стандартами на джерела світла. Під час добору допускається відхилення фактичного значення в межах:

$$-10\% \leq \Delta F \leq +20\%.$$

Це дає можливість обрати тип лампи, максимально наближений до розрахункової потреби системи освітлення, із забезпеченням нормативної освітленості на робочих місцях.

Одним із різновидів методу коефіцієнта використання світлового потоку є метод питомої потужності, який застосовують для орієнтовного проєктування освітлювальних установок. Питома потужність характеризує відношення сумарної встановленої потужності освітлення до площі приміщення і використовується для попереднього добору джерел світла.

Потужність однієї лампи визначають за формулою:

$$P = \frac{\omega \cdot S}{N},$$

де ω – питома потужність освітлювальної системи, Вт/м²,

S – площа приміщення, м²,

N – кількість джерел світла у приміщенні.

Значення ω добирають за довідковими таблицями залежно від нормованої освітленості, висоти підвісу світильників, типу джерел світла, а також

коефіцієнта запасу. Метод використовується виключно для попередньої оцінки параметрів освітлення, оскільки не враховує в повному обсязі оптичні властивості поверхонь.

Для точніших розрахунків застосовується точковий метод, який дозволяє визначити освітленість у будь-якій точці простору від одного або кількох світильників, у тому числі для негоризонтальних робочих площин та великих виробничих територій. Основним недоліком методу є складність точного врахування відбитих складових світлового потоку.

Розрахункова залежність точкового методу має вигляд:

$$E_A = \frac{I_A \cdot \cos \alpha}{r^2},$$

де E_A — освітленість у точці A , лк;

I_A — сила світла у напрямку на точку A , кд (визначається за кривою світлорозподілу світильника);

α — кут між нормаллю до робочої площини та напрямком світлового потоку;

r — відстань між світильником і точкою розрахунку, м.

У разі, коли освітлення формується кількома світильниками, освітленість від кожного розраховується окремо, а потім результати підсумовуються:

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N E_{Ai}.$$

Таким чином, точковий метод дозволяє сформувати найбільш достовірну картину світлорозподілу в робочій зоні, що особливо важливо для локалізованого або спеціалізованого освітлення.

5.2 Характеристика зон можливого затоплення

Гідродинамічні аварії належать до небезпечних техногенних явищ, що виникають унаслідок порушення цілісності або пошкодження гідротехнічних споруд, коли значні об'єми води починають рухатися некеровано та з високою швидкістю. Такий водний потік здатен спричинити масштабні руйнування

територій, інженерної інфраструктури та об'єктів господарювання, формуючи надзвичайну ситуацію техногенного характеру.

Гідродинамічна аварія — це подія, яка супроводжується виходом із ладу (частковим або повним руйнуванням) гідротехнічної споруди та подальшим неконтрольованим переміщенням великих мас води, що веде до затоплення, розмиву ґрунтів і значних матеріальних збитків.

Гідродинамічно небезпечний об'єкт — природне або штучно створене утворення, що забезпечує різницю рівнів води у водотоці, до і після нього, і під час аварії може спричинити прорив води.

Гідротехнічні споруди — це об'єкти, розташовані на водних ресурсах або поблизу водних систем і призначені для виконання низки функцій, зокрема: акумулювання та перетворення енергії потоку води; охолодження технічних систем ТЕС та АЕС; захист прибережних територій від затоплення; забезпечення водозабору для господарських потреб і зрошення; осушення заболочених ділянок; захист водних ресурсів від потрапляння риби в технічні системи; регулювання рівнів води в річках і водосховищах; забезпечення функціонування портів, суднобудівних і судноремонтних об'єктів; підтримка та розвиток річкового і морського судноплавства; видобування, транспортування та зберігання корисних копалин на шельфі.

Причинами руйнування або прориву гідротехнічних споруд можуть бути як природні чинники (сейсмічна активність, урагани, ерозійні процеси), так і антропогенні, зокрема помилки під час проєктування, будівництва, зношення матеріалів чи порушення правил експлуатації.

До основних типів гідротехнічних споруд відносяться: греблі, водоскидні та водозабірні споруди, загати. Комплекс гідротехнічних об'єктів, об'єднаних єдиною гідрологічною схемою та режимом експлуатації водосховищ, утворює гідровузол.

Гребля — це споруда, призначена для створення водосховищ, регулювання стоку та забезпечення перепаду рівнів води на ділянці річки.

Ділянку річки між двома суміжними греблями або шлюзами називають б'єфом.

Верхній б'єф — частина водотоку, розташована вище греблі чи підпірної споруди.

Нижній б'єф — ділянка річки нижче цієї споруди.

Маса води, яка пропускається у нижній б'єф гідротехнічної споруди в одиницю часу, визначається як сток, тоді як притоком називають об'єм води, що надходить у верхній б'єф. Різниця між притоком і стоком формує величину водоперетіку, яка характеризує баланс водних ресурсів.

Водосховища можуть формуватися як унаслідок будівництва гідротехнічних споруд (довготривалі водосховища), так і в результаті природних процесів, таких як зсуви, селеві потоки, обвали, лавини або землетруси, що обумовлює їх короткочасний характер.

Прорив гідроспоруди — це руйнування або значне пошкодження тіла дамби чи греблі, що виникає внаслідок їх розмиву або перевантаження конструкції та супроводжується утворенням високошвидкісної хвилі прориву, яка здатна спричинити катастрофічне затоплення територій. Аналогічний ефект може спостерігатися при аварійному скиданні води зі сховищ гідроелектростанцій задля попередження руйнування споруд.

Хвиля прориву формується під дією двох взаємопов'язаних процесів:

стрімким падінням води з водосховища у нижній б'єф під впливом перепаду рівнів;

миттєвим збільшенням об'єму води в зоні падіння, що спричиняє інтенсивне переміщення водної маси вниз за течією.

У процесі руху хвиля прориву змінює геометричні параметри — швидкість, висоту, ширину фронту, формуючи зони підвищення та зниження рівня води. Її характеристики залежать від ширини прориву, різниці рівнів води у б'єфах, а також гідрологічних і морфологічних властивостей річища.

Зазвичай швидкість хвилі прориву становить 3–25 км/год, а висота — 2–50 м, що зумовлює надзвичайну небезпеку для населення і матеріальних ресурсів.

Основним наслідком прориву гідротехнічної споруди є катастрофічне затоплення, яке проявляється у швидкому zalиванні територій, розташованих нижче за течією, та формуванні проривного паводка.

Такий тип затоплення характеризується:

максимальною величиною висоти та швидкості хвилі прориву;
розрахунковим часом досягнення гребеня та фронту хвилі до контрольних створів;
межами територій, що потенційно підлягають затопленню;
максимальною глибиною водного потоку на окремих ділянках;
тривалістю перебування території під водою.

Територія, що зазнає впливу водної маси внаслідок руйнування гідроспоруди, трактується як зона можливого затоплення. Найнебезпечніша частина цієї території — зона катастрофічного затоплення, де хвиля прориву призводить до масових людських втрат, руйнування інфраструктури та масштабного знищення матеріальних цінностей.

Тривалість затоплення може становити від 4 годин до кількох діб, що потребує оперативного реагування. Евакуаційні заходи в першу чергу здійснюють у населених пунктах, які розташовані в безпосередній близькості до гребель і де хвиля прориву здатна досягти небезпечної межі менш ніж за 4 години. Інші території підлягають евакуації за умов підтвердженої загрози затоплення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи було проведено комплекс теоретичних, конструкторських, технологічних та науково-дослідних заходів, спрямованих на підвищення ефективності технічного обслуговування та відновлення деталей барабанного гальмівного механізму автомобіля, а також забезпечення надійності його функціонування в умовах інтенсивної експлуатації.

У технологічному розділі здійснено аналіз конструкції маточини та визначено технічні вимоги до її відновлення. На основі дефектації сформовано карту дефектів і запропоновано раціональну технологію усунення зношування посадкових поверхонь. Виконано вибір сучасного технологічного обладнання та оснащення, а також проведено розрахунок норм часу на відновлювальні операції, що підтверджує можливість впровадження запропонованого процесу у виробничих умовах.

Конструкторський розділ включає інженерні розрахунки ключових елементів гальмівної системи — барабанного гальма та пневматичного підсилювача. Встановлено, що застосування пневмопідсилювача дозволяє суттєво знизити зусилля, необхідне для натискання на педаль гальма, що підвищує комфорт і безпеку керування автомобілем. Отримані результати розрахунків підтверджують відповідність конструкції нормативним вимогам та параметрам працездатності.

У науково-дослідному розділі виконано теоретичний та експериментальний аналіз технології розточування поверхонь, що підлягають відновленню. Встановлено закономірності впливу режимів механічної обробки на шорсткість і точність посадочних ділянок, що дозволило визначити оптимальні параметри різання. Експериментально підтверджено, що впровадження рекомендованих режимів забезпечує підвищення ресурсу та надійності відновленої деталі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. О.Л. Ляшук, М.Г. Левкович, Д.В. Міронов, В.О. Тесля. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт» галузі знань 27 «Транспорт». – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2023. – 60 с.
2. Коробочка О.М. Основи розрахунків, проектування і експлуатації технологічного обладнання для автомобільного транспорту: Навч. посібник / Коробочка О.М., Скорняков Е.С., Сасов О.О. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007 – 252 с.
3. Кукурудзяк, Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР навчальний посібник / Ю. Ю. Кукурудзяк, В. В. Біліченко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 198 с.
4. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К.: Мінтранс України, 1998. – 16 с. – (Нормативний документ Мінтрансу України).
5. Андрусенко С. І. Технологічне проектування автотранспортних підприємств: навч. посіб. / Андрусенко С. І., Білецький В. О., Бортницький П. І.; за ред. проф. С. І. Андрусенка. – К. : Каравела, 2009. – 368 с.
6. Законодавство України про автомобільний транспорт: збірник законодавчих актів : станом на 1 травня 2005 р. / Верховна Рада України. – К.: Парламентське видавництво, 2005. – 140 с. – (Нормативні директивні правові документи).
7. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 1 :теоретичні основи. Технологія: підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К. : "Вища школа", 1994. – 342 с.
8. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 2: організація, планування і управління : підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К.: "Вища школа", 1994. – 383 с.
9. Курніков І. П. Технологічне проектування підприємств автомобільного транспорту : навчальний посібник / І. П. Курніков, М. К. Корольов, В. М. Токаренко. – К. : Вища школа, 1993. – 191 с.

10. Автомобілі. Теорія : навч. посіб. / В.П. Сахно, В.І. Сирота, В.М. Поляков, В. Г. Головань, О.В. Лисий; Військ. акад. - Одеса: Військ. акад., 2017. - 412 с.
11. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. — 8-те вид. - К.: Либідь, 2018. — 400 с.
12. Кисликов В.Ф. Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів. — К.: Либідь, 2016. — 400 с. 5. Ю.А.
13. О.П. Строков, М.Г. Макаренко, В.Ф.Фролов Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Підручник: У 2 кн. К.: Грамота, 2005.
14. Ляшук, О., Гевко, І., Гупка, А., Слободян, Л., Гевко, Б., & Хорошун, Р. (2023). Розробка моделі узагальненого діагностичного показника технічного стану ходової частини автомобіля з використанням математичних методів теорії планування експерименту. сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, 2(21), 135-144.
15. Практикум з охорони праці. Навчальний посібник / За ред.. В.Ц. Жидецького. — Львів: Афіша, 2000. — 352 с.
16. Стручок В.С. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»: навчальний посібник / В.С. Стручок.— Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. — 156 с.
17. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108.
18. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
19. Дикань С.А., Зима О.Є. Безпека в галузі та надзвичайних ситуаціях. Університетський курс [Текст]: підручник для студ. вищ. навч. закл. С.А. Дикань, О.Є. Зима. — Полтава: ТОВ «АСМІ», 2015. — 273 с.: табл., іл.