

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Проектування технічного обслуговування та відновлення вал

шестерні ведучої частини заднього мосту №5440-240222031 з дослідженням

диференціала та його ефективності

Виконав: студент 6 курсу, групи МАМ-61

спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

	Денис КЛОПОТІВСЬКИЙ (підпис) (ім'я та прізвище)
Керівник	Олег ЛЯШУК (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 Клопотівському Денису Леонідовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування технічного обслуговування та відновлення вал шестерні ведучої частини заднього мосту №5440-240222031 з дослідженням диференціала та його ефективності

Керівник роботи Ляшук Олег Леонтійович., д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 14 » листопада 2025 року № 4/7-970

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 грудня 2025

3. Вихідні дані до роботи Базовий ТП відновлення вал шестерні ведучої частини заднього мосту №5440-240222031

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)
Редуктор заднього мосту – 1А1.

Патентино-інформаційний пошук – 1А1.

Карта дефектів – 1А1.

Оперіційні ескізи – 1А1.

Результати наукових досліджень – 4А1.

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	17.11.25	
2	Технологічний розділ	24.11.25	
3	Конструкторський розділ	01.12.25	
4	Науково-дослідний розділ	08.12.25	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	15.12.25	
6	Оформлення графічної частини	15.12.25	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра		

Студент

(підпис)

Денис КЛОПОТІВСЬКИЙ

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Олег ЛЯШУК

(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Проектування технічного обслуговування та відновлення вал шестерні ведучої частини заднього мосту №5440-240222031 з дослідженням диференціала та його ефективності».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра д.т.н. професор Ляшук Олег Леонтійович.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 65 сторінок формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини і 1 сторінки додатків.

Ключові слова: диференціал, технологія відновлення, передаточне число, ефективність роботи, зношування.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Головка для вібродугового наплавлення.....	7
1.2 Пристрій для вібродугового наплавлення.....	9
1.3 Спосіб зварювання під флюсом.....	11
1.4 Пристрій для наплавлення під флюсом плавким електродом на постійному струмі.....	13
1.5 Спосіб електролітичного відновлення зношених поверхонь деталей.....	14
1.6 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра.....	16
 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	 18
2.1 Характеристика деталі.....	18
2.2 Технічні вимоги.....	19
2.3 Карта дефектів.....	20
2.4 Обґрунтування вибору методу відновлення деталі.....	21
2.5 Обґрунтування вибору технологічних баз.....	23
2.6 Технологічні процеси усунення виявлених дефектів.....	25
2.7 Технологічний маршрут відновлення деталі.....	26
2.8 Вибір обладнання та засобів технологічного оснащення.....	31
 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	 33
3.1 Розрахунок головної передачі.....	33
3.2 Розрахунок диференціалу.....	36
3.3 Розрахунок конічної передачі на міцність.....	37
 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....	 43
4.1 Аналіз втрат крутного моменту.....	43
4.2 Температура стабілізації.....	54
 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ	

	6
СИТУАЦІЯХ.....	56
5.1 Покращення умов виробничого середовища за показником електромагнітного випромінювання.....	56
5.2 Основи теорії горіння та пожеж.....	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	63
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Особливої уваги потребують вузли трансмісії, які забезпечують передавання крутного моменту від силового агрегата до ведучих коліс. Серед них визначальне місце займає задній міст із диференціальним механізмом, надійність якого суттєво впливає на динаміку руху автомобіля, рівномірний розподіл навантажень і стійкість транспортного засобу на дорозі.

Вал-шестерня ведучої частини заднього мосту №5440-240222031 є відповідальним елементом головної передачі, що працює в умовах дії змінних контактних та згинальних навантажень, абразивного зношування та ударних впливів. У процесі експлуатації можливе виникнення дефектів зубчастого профілю, деформацій геометрії або порушення точності посадкових поверхонь, що може призвести до зниження ефективності роботи диференціала, збільшення шумності, втрат потужності та передчасного виходу з ладу трансмісії.

З огляду на високу вартість агрегатів трансмісії важливим є застосування технологій відновлення деталей із урахуванням їх конструктивних особливостей, властивостей матеріалу та реальних умов роботи. Відновлення вал-шестерні дозволяє суттєво скоротити витрати на ремонт, продовжити ресурс транспортного засобу та підвищити його експлуатаційну надійність.

Дослідження ефективності диференціала є невід'ємною частиною оцінювання працездатності відновленої шестерні, оскільки саме диференціальний механізм забезпечує узгоджений рух ведучих коліс у різних режимах руху автомобіля. Комплексний аналіз конструкції, технічного стану та умов експлуатації заднього моста дозволяє сформулювати науково обґрунтовані рекомендації щодо підвищення його надійності.

Таким чином, тема даної магістерської роботи є актуальною як для автотранспортних підприємств, що займаються технічним обслуговуванням вантажних автомобілів, так і для проєктних та ремонтних організацій, які прагнуть удосконалити технології відновлення деталей трансмісії.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Головка для вібродугового наплавлення

Запропонована конструкція головки для вібродугової наплавки розроблена на основі технічного рішення, захищеного патентом України №50290 (автор – Васильєв В. С.). Винахід належить до сфери дугових процесів наплавлення, що виконуються плавким електродом у середовищі захисного газу.

Традиційні системи вібродугового наплавлення використовують механізм, який забезпечує поперечні коливання електродного дроту та перетворює їх на поздовжні. Він складається з трьох напрямних втулок: дві з них встановлені співвісно в корпусі головки, тоді як третя розташована в обертовій обоймі з ексцентриситетом E відносно її осі. Така кінематика дозволяє реалізувати необхідну траєкторію та характер коливань електрода.

У практиці наплавлення застосовуються електродні дроти різних діаметрів, причому для кожного з них існує оптимальна амплітуда коливань, що безпосередньо впливає на якість формування наплавленого шару.

Оновлена конструкція головки передбачає наявність притискного й подавального роликів, а механізм вібрації виконано у вигляді трьох паралельних напрямних втулок. Крайні втулки вирівняні по осі подачі електродного дроту, тоді як середня втулка має зміну положення завдяки встановленню в поворотному диску з ексцентриситетом. Поворотний диск, у свою чергу, розміщений на обоймі, ексцентриситет якої є подвоєним відносно ексцентриситету середньої втулки.

На рисунку 1.1 представлено конструкцію головки для вібродугового наплавлення (поз. 2), у якій реалізовано механізм формування вібрацій електрода. Основними елементами цієї системи є три напрямні втулки (поз. 4–6). Середня втулка (поз. 6) закріплена на поворотному диску (поз. 8) за допомогою монтувальної пластини (поз. 7). Диск, у свою чергу, встановлено в обоймі (поз. 9) і фіксується положенням за допомогою гвинтів (поз. 10 і 11).

Кінематична схема забезпечує можливість зміни амплітуди поперечних коливань електрода завдяки ексцентричному розташуванню осей втулок.

Відстань між віссю крайніх напрямних втулок (4 та 5) й віссю обертання обойми дорівнює $2E$, де E – ексцентриситет системи. Своєю чергою, вісь втулки 6 зміщена відносно осі поворотного диска на E , завдяки чому забезпечується додаткова ступінь регулювання амплітудних характеристик.

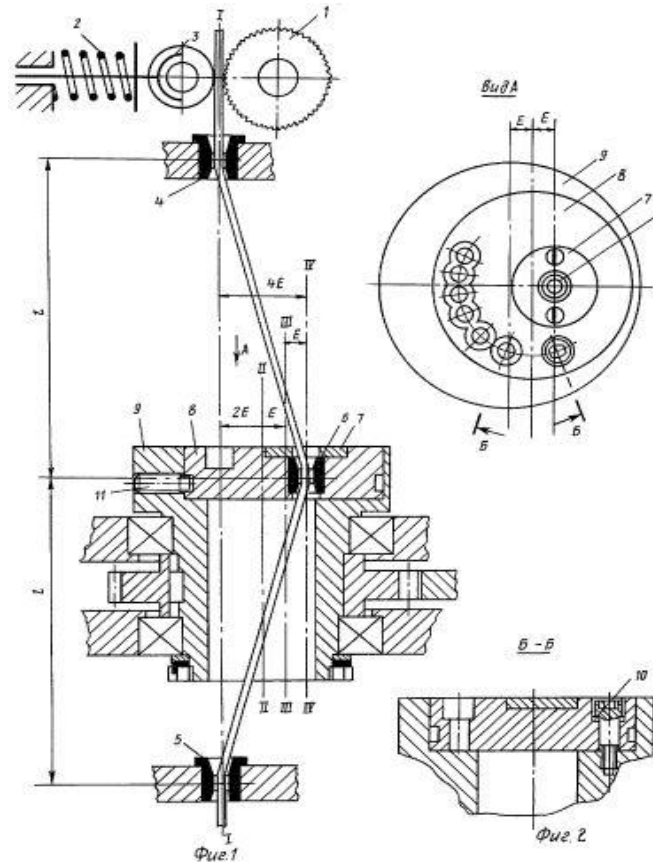


Рис1.1. Головка для вібродугової наплавки.

Поворот диска 8 змінює просторове положення втулки 6, а разом із цим – і величину амплітуди А віброколивань електродного дроту. Для прикладу: за умови міжосьової відстані втулок $h = 100\text{мм}$ та амплітуди $A = 2\text{мм}$ ексцентриситет становить $E = 5\text{мм}$.

У диску передбачено низку фіксованих монтажних отворів для гвинта (поз. 10), що відповідають різним амплітудам коливань: 2; 1,75; 1,5; 1,25; 1; 0,75; 0,5 мм. Таким чином, регулювання амплітуди здійснюється кроково залежно від технологічних вимог наплавлення.

1.2 Пристрій для вібродугового наплавлення

Технічне рішення, захищене патентом України №20957 (автор – Пастух І. С.), належить до засобів механізації та автоматизації процесів відновлення

деталей методами вібродугового наплавлення. Його конструкція забезпечує стабільну подачу матеріалу та раціональне формування наплавленого шару на поверхні деталей різного призначення.

Основний функціонал пристрою реалізується завдяки застосуванню системи важільно-ексцентрикового типу. Подавання електродного дроту здійснюється стрижнем, привод якого побудований на взаємодії рейкової передачі та храповикового механізму. Така конструкція дає можливість реалізувати дискретну, але контрольовану подачу електрода в зону дуги.

Для внесення порошкового присадного матеріалу застосовано дозувальну систему, розташовану над поверхнею деталі, що підлягає відновленню. У її складі передбачена вібруюча трубка, механічно пов'язана з двоплечим важелем. Завдяки цьому, під дією вібрацій забезпечується рівномірне надходження порошку в зону наплавлення. Процес охолодження виконується подачею піни через окремий підвідний канал, що сприяє одночасній стабілізації теплового режиму та підвищенню якості формованого шару.

На рисунку 1.2 наведено кінематичну схему пристрою. Він складається з таких основних елементів: графітовий електрод – поз. 1; двоплечий важіль – поз. 2; електродвигун із встановленим ексцентриком – поз. 3; пружинний тримач електрода – поз. 4; подаючий стрижень – поз. 5; неприводний ролик – поз. 6; пружина для повернення важеля у вихідне положення – поз. 7; приводний ролик – поз. 8; рейкова шестерня – поз. 9; храповик – поз. 10; напрямна рейка – поз. 11; трубка подачі охолоджувальної піни – поз. 12; бункер із порошковим матеріалом – поз. 13; вібраційна трубка дозатора – поз. 14; деталь, що відновлюється – поз. 15.

Узгоджена робота цих вузлів забезпечує рівномірне перенесення металу з електрода і порошкового матеріалу в зону дуги, покращує формування наплавленого шару, підвищує продуктивність процесу та забезпечує можливість автоматизації операції.

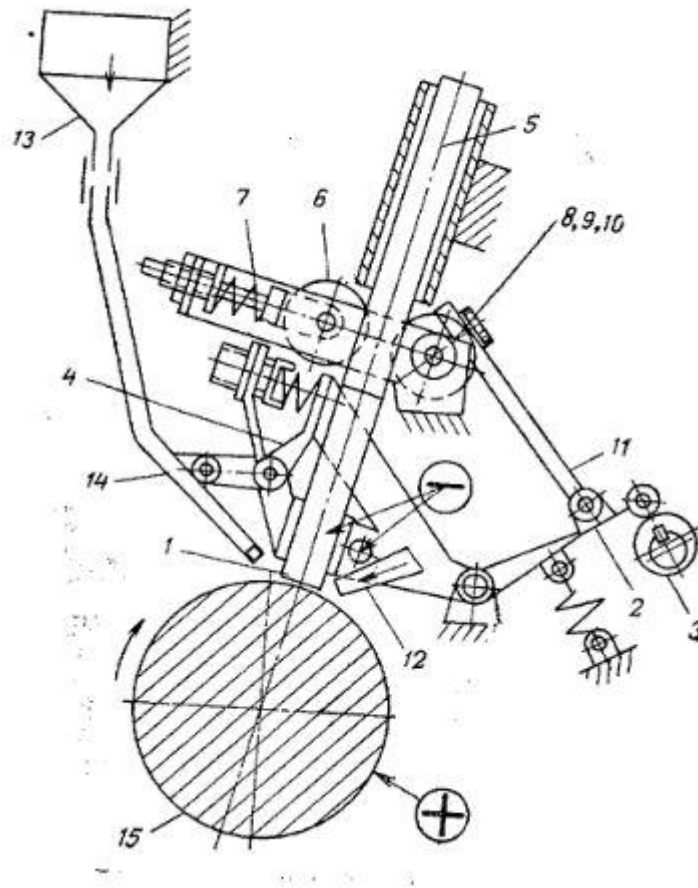


Рис. 1.2. Пістолет для ручного вібродугового зварювання.

1.3 Спосіб зварювання під флюсом

Запатентований технологічний процес (патент України №4221, автори: Пікман Б. А., Демченко Ю. В., Веселов В. А., Ліптуга І. В.) стосується багатопрохідного зварювання стикових з'єднань сталей підвищеної міцності під шаром флюсу. В основу винаходу покладено удосконалення газового супроводу в зоні зварювання з метою покращення експлуатаційних характеристик отриманих з'єднань.

Особливістю способу є подача в область флюсу спеціально сформованої газової суміші на основі аргону з додаванням кисню. Це забезпечує формування плавного переходу між наплавленим металом та основою, сприяє зростанню пластичності металу в зоні термічного впливу, а також підвищує стійкість шва до динамічних навантажень при знижених температурах. Крім того, запропоноване рішення суттєво спрощує технологічну схему процесу виготовлення зварних конструкцій.

Запропонований винахід належить до галузі дугового зварювання конструкційних матеріалів під флюсом, зокрема сталей низьколегованого класу з підвищеними міцнісними властивостями. Рішення орієнтоване на використання у випадках, коли зварні з'єднання зазнають циклічних, ударних та змінних динамічних навантажень у середовищах з негативними температурами.

Основна мета винаходу полягає у забезпеченні підвищеної надійності та витривалості зварних швів завдяки:

- формуванню плавного геометричного переходу від металу шва до основного матеріалу;

- інтенсифікації змочування поверхні основного металу рідким металом ванни;

- збільшенню в'язкісних властивостей металу у зоні термічного впливу;

- спрощенню виробничого процесу виготовлення зварних конструкцій.

Технологічна новизна запропонованого способу полягає у введенні під флюс під час наплавлення заключного шару спеціальної газової суміші, що складається з аргону та кисню.

Газову суміш у зоні зварювання подають у напрямку під кутом 30–60° відносно осі пальника у площині, що є перпендикулярною до вектора його переміщення. Така орієнтація потоку забезпечує найбільш ефективну взаємодію газових компонентів із поверхнею зварювальної ванни.

Механізм впливу суміші полягає в тому, що атомарний кисень активно взаємодіє з поверхневими незв'язаними електронними зв'язками рідкого металу, внаслідок чого істотно зменшується поверхневий натяг. Під дією цього ефекту підвищується змочуваність основного металу розплавом, що забезпечує плавний перехід наплавленого шару та знижує ризик утворення геометричних концентрацій напружень у зварному з'єднанні.

Одночасно зі зменшенням поверхневого натягу відбувається активне проникнення аргону у глибину ванни, що сприяє покращенню її циркуляції завдяки діянню газового струменя. Таке перемішування позитивно впливає на металургійний процес:

- кількість крупних неметалічних включень ($>2,3\text{--}2,6\text{ мкм}$) знижується;

- морфологія включень трансформується у більш сприятливу – глобулярну;

зменшується рівень локальних напружень у зонах їх концентрації.

Додатковий механічний вплив струменя газу на рідкий метал також відіграє роль у формуванні згладженого профілю переходу від шва до основи.

У результаті ступінь концентрації напружень у зоні стику може знижуватися до значень 1,0–1,1, а інтенсивне охолодження газовим потоком металу зони термічного впливу сприяє підвищенню його в'язкісних властивостей, що є критично важливим при роботі зварних конструкцій у холодному кліматі.

Наведені залежності та технологічні параметри підтверджені під час автоматичного зварювання під флюсом АН-348-А у поєднанні з дротом Св-08М, зокрема при з'єднанні високоміцної сталі типу 09Г2С. Зниження вмісту аргону нижче рекомендованої межі при одночасному збільшенні частки кисню призводить до прискореного вигорання легувальних елементів у металі шва, що робить неможливим досягнення необхідного рівня механічних характеристик при використанні стандартних марок зварювального дроту.

1.4 Пристрій для наплавлення під флюсом плавким електродом на постійному струмі

Запатентований пристрій (патент України №20393, автори: Делі О. А., Міронова М. В., Размишляєв О. Д.) призначений для виконання наплавлення під шаром флюсу з використанням плавкого електрода на постійному зварювальному струмі. Технічне рішення забезпечує формування стабільного магнітного поля в зоні дуги, що сприяє покращенню якості наплавленого шару.

Конструктивно пристрій включає електромагніт, утворений струмопровідною трубкою у поєднанні з індукційною обмоткою, а також струмопровідний мундштук. Відмінною особливістю є наявність додаткової струмопровідної планки, встановленої безпосередньо на трубці та електрично об'єднаної з обмоткою. Таке компонування дає змогу більш раціонально використовувати зварювальний струм для створення поздовжнього магнітного поля.

На рисунку 1.3 подано принцип роботи пристрою. Після підключення позитивного полюса до одного з виводів обмотки, струм наплавлення проходить крізь витки обмотки, потім – через струмопровідну планку, жорстко приварену до струмопровідної трубки. Далі електричний ланцюг продовжується через трубку та мундштук, потім – по виступаючій частині електродного дроту, через дуговий проміжок і повертається в джерело живлення через наплавлювану деталь, до якої під'єднано негативний полюс випрямляча.

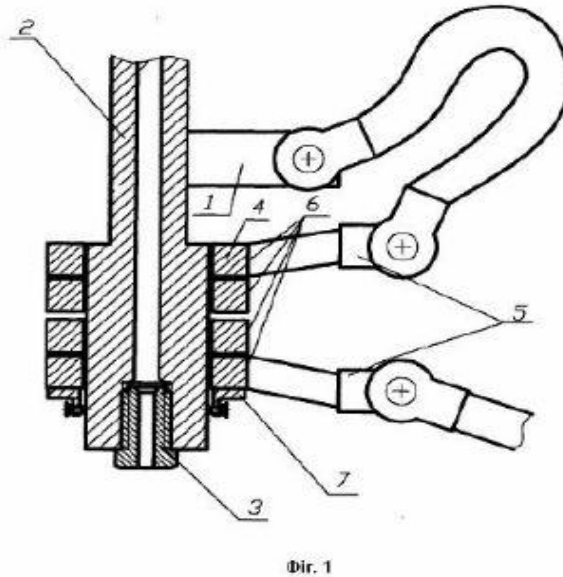


Рис. 1.3. Пристрій для наплавлення під флюсом плавким електродом постійним струмом.

Протікання постійного зварювального струму через обмотку забезпечує утворення стабільного поздовжнього магнітного поля в зоні дуги, що оптимізує перенесення електродного металу, покращує формування валка та знижує ймовірність дефектоутворення.

1.5 Спосіб електролітичного відновлення зношених поверхонь деталей

Запропонований у патенті України №86923 (автори: Ломако Н. П., Ляшенко М. В.) технічний підхід належить до технологій нанесення гальванічних покриттів, зокрема залізовмісних, які широко застосовуються під час ремонту та відновлення поверхонь деталей, що зазнали зношування в процесі експлуатації.

Класичні методи електролітичного залізнення передбачають використання електролітів на основі хлоридів заліза та нікелю. Процес зазвичай включає попереднє витримування деталі в електролітичному середовищі без подачі струму, далі – обробку змінним струмом та завершальну стадію електролізу з використанням асиметричного струму. Незважаючи на свою функціональність, ці технологічні схеми характеризуються підвищеним рівнем енергоспоживання, а також обмеженою швидкістю осадження заліза, що негативно впливає на продуктивність процесу.

Найбільш близьким за принципом дії до запропонованого рішення є метод отримання залізних покриттів з електролітів на основі хлоридного заліза з додаванням модифікуючих компонентів – йодистого калію та сірчаної кислоти. Склад електроліту при цьому має такі концентраційні співвідношення (г/л):

хлористе залізо – 200–220;

йодистий калій – 15–25;

сірчана кислота (густина 1,84) – 0,6–0,8;

соляна кислота – до встановлення рівня кислотності $\text{pH} = 1,5\text{--}1,7$.

Процес електролітичного осадження у відомих технологіях здійснюється при температурі електроліту 18–20°С та щільності струму в межах 5–40 А/дм², з використанням ступінчастого режиму подачі струму. Незважаючи на сформовану технологічну базу, основними недоліками таких процесів залишаються значні енергетичні витрати та обмежена швидкість накопичення металу на поверхні деталі.

Метою запатентованого рішення є усунення зазначених технологічних обмежень. Очікуваний технічний ефект полягає у зниженні споживання електроенергії при одночасному збільшенні швидкості осадження заліза, що безпосередньо підвищує продуктивність ремонту та рентабельність процесу.

Запропонована технологія передбачає модернізацію режиму електролізу: відновлення поверхонь здійснюють за рахунок подачі на електроди змінного асиметричного струму з частотою 20 Гц та щільністю у межах 2,5–25 А/дм². На початковій стадії процесу встановлюють мінімальне значення катодно-анодного показника, після чого його поступово збільшують до максимально допустимого

рівня. Осадження продовжують до досягнення необхідної товщини покриття без порушення цілісності захисного шару.

Регульована зміна співвідношення фаз струму дозволяє контролювати кінетику осаження та структуру осаду, що сприяє покращенню адгезії, зниженню внутрішніх напружень та формуванню рівномірного залізного покриття із заданими експлуатаційними властивостями.

Катодно-анодний показник у процесі електроосаження поступово змінюють у напрямку від мінімального значення до максимального – у діапазоні від 1:2 до 1:0 (коефіцієнт катодного імпульсу зростає). Початковий етап здійснюється за мінімального відношення протягом приблизно 0,5 хвилини для стабілізації електрохімічних умов та активації поверхні деталі.

Для формування покриття використовують електроліт на основі хлоридного заліза з додаванням бромиду калію, сірчаної та соляної кислот. Компонентний склад електроліту становить (г/л):

хлористе залізо – 390,0–430,0;

бромід калію – 1,5–2,0;

сірчана кислота – 0,7–1,1;

соляна кислота – 1,0–1,1.

Процес електролітичного залізнення виконують при температурі електроліту в межах 18–25°С протягом 1,0–1,5 години – залежно від необхідної товщини відновлювального шару.

1.6 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра

Метою даної кваліфікаційної роботи є розроблення технологічного процесу відновлення деталі трансмісії автомобіля та виконання конструкторських і науково-дослідних розрахунків, що забезпечують підвищення її експлуатаційної надійності.

У межах технологічного розділу необхідно. Провести детальний аналіз конструкції та функціонального призначення деталі, визначити її основні геометричні параметри, матеріал та характерні умови експлуатації. Встановити

технічні вимоги до якості відновлення з урахуванням нормативної документації та допустимих відхилень параметрів. Скласти карту дефектів із зазначенням видів, причин та зон їхнього виникнення, а також допустимих меж пошкоджень. На основі аналізу характеру спрацювання обґрунтувати раціональний метод відновлення, який забезпечує необхідні механічні властивості та ресурс деталі. Вибрати технологічні бази для забезпечення точності обробки та відновлення геометричних параметрів. Розробити технологічні процеси усунення кожного з виявлених дефектів, включаючи необхідні операції механічної, відновлювальної та термічної обробки. Сформувати технологічний маршрут відновлення деталі із чітким визначенням послідовності операцій та їх параметрів. Виконати вибір обладнання, оснащення та контрольно-вимірювальних засобів, необхідних для реалізації розробленого технологічного процесу.

У межах конструкторського розділу необхідно. Виконати розрахунок головної передачі для визначення її силового навантаження і необхідних умов міцності. Провести розрахунок диференціалу з урахуванням робочих навантажень і характеристики взаємодії його елементів. Здійснити перевірний розрахунок конічної передачі на міцність для підтвердження її довговічності після відновлення.

У межах науково-дослідного розділу необхідно. Проаналізувати втрати крутного моменту у вузлі трансмісії до та після проведення відновлення з метою підтвердження ефективності застосованої технології. Визначити температуру стабілізації мастильного матеріалу або вузла в експлуатаційних умовах та дослідити її вплив на показники роботи механізму.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Характеристика деталі

Ведучий вал-шестерня головної передачі заднього моста виготовляється із конструкційної легованої сталі марки 40Х. Дана деталь працює у взаємодії з механізмом диференціала та забезпечує передавання крутного моменту від карданного валу до чашки диференціала, відіграючи ключову роль у функціонуванні трансмісії.

Робочі поверхні опорних шийок повинні характеризуватися підвищеною зносостійкістю та міцністю, що досягається шляхом поверхневого загартування високочастотним струмом (СВЧ) на глибину не менше ніж 0,5 мм із подальшим низьким відпуском. У результаті твердість поверхні повинна становити не менше HRC 56, що забезпечує надійну роботу вала-шестерні в умовах високих змінних навантажень.

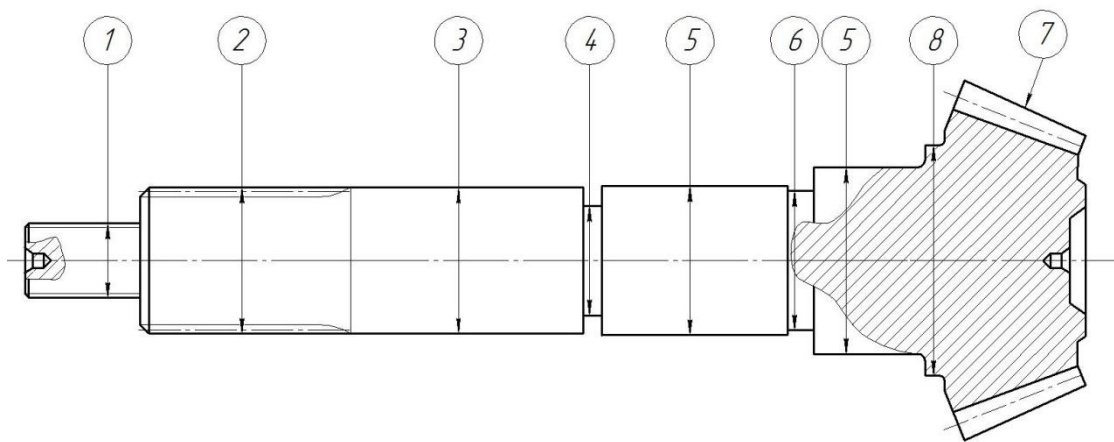


Рис. 2.1. Схема вала шестерні ведучої частини заднього мосту з дефектами.

Вал-шестерня ведучої частини головної передачі заднього моста має низку відповідальних робочих поверхонь, серед яких циліндричні шийки під підшипники кочення, виконані з точністю 7-го квалітету та шорсткістю поверхні $R_a = 1,25$. Крім того, деталь оснащена зубчастими та шліцьовими поверхнями зовнішнього зачеплення, які зазнають найбільш інтенсивного зношування через безпосереднє передавання навантаження в агрегаті трансмісії.

На торцевих частинах вала виконано центрові отвори, що використовуються як технологічні бази під час виготовлення, а також у разі відновлення деталі під час ремонту.

На рисунку 2.1 наведено типові пошкодження елементів вала-шестерні. Відповідно до виданого завдання, у досліджуваному екземплярі виявлено такі дефекти: пошкодження різьбової ділянки (позиція 6); знос шліцевої поверхні по ширині (позиція 2); підвищений знос опорної шийки (позиція 5).

Аналіз конструктивних та технологічних особливостей досліджуваної деталі дозволяє сформулювати такі висновки:

Відновлення геометрії опорної шийки потребує проведення шліфувальних операцій, оскільки поверхневий шар має підвищену твердість. Процес шліфування доцільно виконувати поетапно, з поступовим видаленням матеріалу для забезпечення необхідної точності та мінімізації термічних дефектів.

Центрові отвори, виконані на торцях вала, можуть бути застосовані як основні технологічні бази під час ремонту, що забезпечує відтворення заводської схеми базування та підвищує точність відновлювальних операцій.

Деталь має ступінчасту форму з різкими переходами діаметрів, що допускає локальне коригування зазначених ділянок шліфуванням у разі наявності геометричних відхилень.

Конструкція вала-шестерні забезпечує можливість застосування традиційних методів механічної обробки, що робить процес відновлення технологічно доцільним та економічно обґрунтованим.

Деталь класифікується як круглий стержень за формою.

Основні технічні характеристики: маса деталі – 5,893 кг; габаритні розміри: довжина – 401 мм; найбільший діаметр – $176 \pm 0,12$ мм.

2.2 Технічні вимоги

Під час виконання відновлювальних робіт валу-шестерні ведучої частини головної передачі із наявними дефектами необхідно дотримуватися таких ключових вимог до оброблення поверхонь:

Центрові отвори повинні мати шорсткість не гіршу за $Ra = 1,25$, що забезпечує надійність їх використання як технологічних баз.

Циліндричні робочі поверхні (позначені на кресленні літерами В, Г, Д, Є, Ж) мають відповідати показнику шорсткості $Ra = 0,63$, що гарантує коректну посадку підшипників і мінімізує зношування в процесі експлуатації.

Конусоподібні ділянки (А, В, Г, Д, Є) повинні мати відхилення по конусності не більше $0,012$ мм, що забезпечує стабільність геометрії та правильне розташування деталей у складі механізму.

Шліцьова зона (поверхня З) повинна відповідати вимогам прямолінійності, тобто виключати перекус або деформацію профілю шліців, які можуть спричинити спотворення передавання крутного моменту.

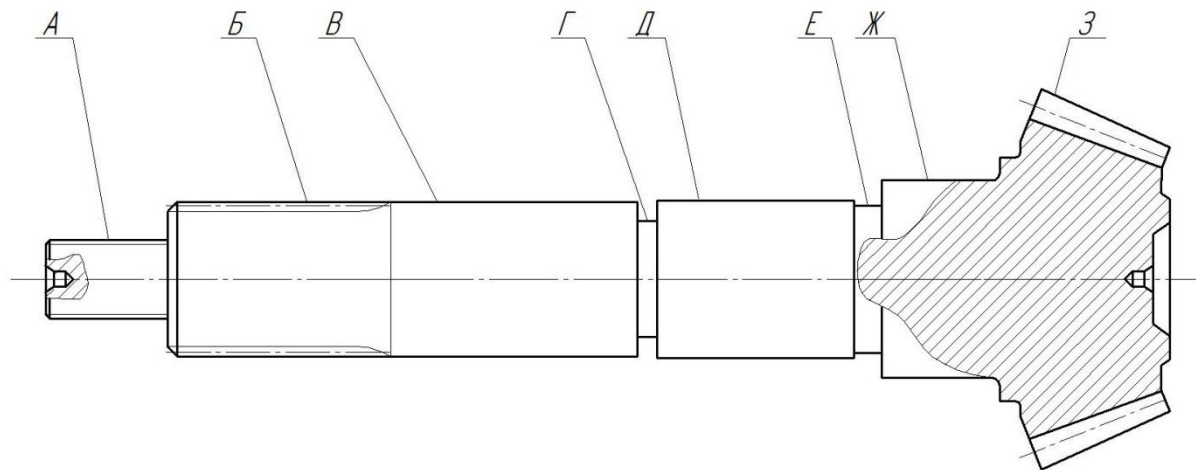
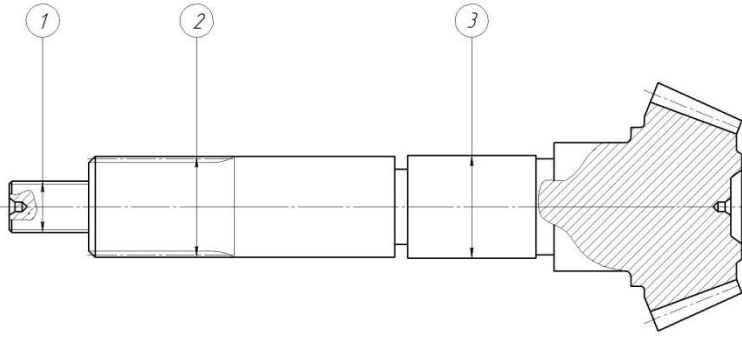


Рис. 2.2. Схема вала шестерні ведучої частини заднього мосту.

2.3 Карта дефектів

Для систематизації виявлених пошкоджень та визначення необхідних заходів з відновлення деталі формується карта дефектів, у якій наводяться допустимі параметри технічного стану та вимоги до контролю поверхонь. Така таблиця слугує основою для прийняття технологічних рішень щодо подальшої обробки.

Таблиця 2.1. Перелік технічних вимог для контролю та дефектування вала-шестерні.

Деталь (складальна одиниця): Вал шестерні ведучої частини заднього мосту					
				№ деталі (складальної одиниці):	
				Матеріал: Сталь 40Х	
				Твердість: HRC 52	
Позиція на ескізі	Можливий дефект	Спосіб виявлення дефекту і засоби контролю	Розмір, мм		Висновок
			за робочим кресленням (номінальний)	допустимий без ремонту	
1	Пошкодження різьби	Огляд. Різьбове кільце або спряжена деталь	M40×1,5-6g	Зрив не більше двох ниток	Вібродугове наплавлення, наплавлення в CO ₂ .
2	Знос шліців по ширині	Шліцевий калібр 3,54 мм або штангельзубомір	3,585-0,07	3,54	Наплавлення під флюсом
3	Знос поверхні шийки	Скоба 81,95мм або мікрометр 80-85мм	82-0,24	81,95	Вібродугове наплавлення, хромування, залізнення.

2.4 Обґрунтування вибору методу відновлення деталі

Для забезпечення надійного відновлення первинного валу шестерні ведучої частини заднього мосту необхідно визначити оптимальний технологічний спосіб усунення виявлених експлуатаційних дефектів. Відповідно до технічного завдання, одним із основних пошкоджень є:

Дефект №1 – порушення цілісності різьбової поверхні.

Серед доступних технологій ремонту різьбових ділянок можуть бути використані такі процеси наплавлення:

вібродугове наплавлення;

дугове наплавлення у середовищі вуглекислого газу (CO_2).

Для визначення раціонального методу проведено порівняльний аналіз цих способів за критеріями довговічності відновленої поверхні та загальної техніко-економічної доцільності. Значення коефіцієнтів довговічності відновленої зони становлять:

вібродугове наплавлення – 0,98;

наплавлення в середовищі CO_2 – 0,63.

Отримані значення свідчать, що вібродугове наплавлення забезпечує значно вищий рівень відновлення експлуатаційних властивостей різьби у порівнянні з традиційним наплавленням у вуглекислому газі.

Дефект №2 – знос шліцьової частини за шириною ($d = 3,585_{-0,06}$ мм; фактичний знос – 0,155 мм).

Характер зношування шліцьового профілю свідчить про локальне перевищення контактних навантажень і втрату початкової геометрії, що унеможливорює надійне передавання крутного моменту. Серед технологічних процесів відновлення таких поверхонь лише **наплавлення під флюсом** здатне забезпечити необхідну якість і точність відтворення профілю.

Дефект №3 – знос посадкової шийки під роликовий підшипник ($d = 82_{-0,048}$ мм; величина зносу – 0,14 мм).

Порушення розмірної точності та мікрогеометрії посадкової поверхні негативно впливає на роботу підшипника, збільшує рівень вібрацій і тепловиділення. Для відновлення геометрії шийки можуть бути застосовані такі технології:

вібродугове наплавлення;

хромування;

залізнення.

Для визначення найбільш раціонального способу проведено порівняльний аналіз за показниками довговічності та техніко-економічної раціональності.

Коефіцієнт довговічності (K_d):

вібродугове наплавлення – 0,98;

хромування – 1,72;

залізнення – 0,91.

Усі перелічені методи забезпечують відновлення поверхні з гарантованим міжремонтним ресурсом не менше 80 %, що свідчить про їх повну придатність з точки зору експлуатаційної надійності.

Коефіцієнт техніко-економічної ефективності (K_e):

вібродугове наплавлення – 0,256;

хромування – 0,087;

залізнення – 0,837.

Порівняльний аналіз демонструє, що максимальний рівень техніко-економічної переваги має саме процес залізнення, оскільки він поєднує прийнятну довговічність відновленого шару з низькою собівартістю та високою продуктивністю.

2.5 Обґрунтування вибору технологічних баз

У процесі відновлення центрових отворів первинного валу шестерні ведучої частини заднього моста важливим є забезпечення правильної та стабільної фіксації деталі в ході механічної обробки. З цією метою як технологічні бази обрано циліндричну опорну поверхню шийки валу та торець деталі, що забезпечує необхідну точність орієнтації.

Схематичне розташування деталі у пристрої наведено на рисунках 2.3 і 2.4.

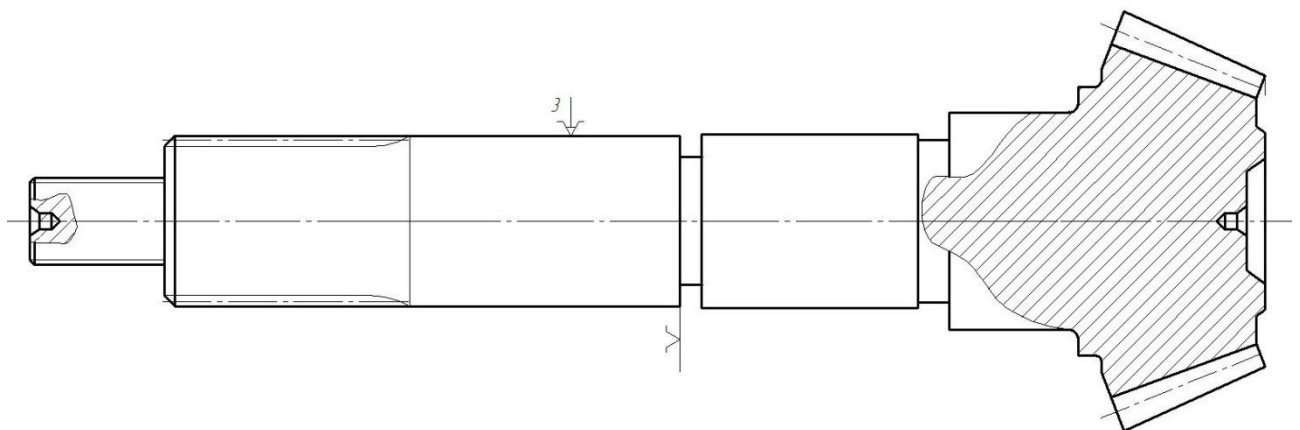


Рис. 2.3. Схема вала шестерні ведучої частини заднього мосту при відновленні центрових отворів.

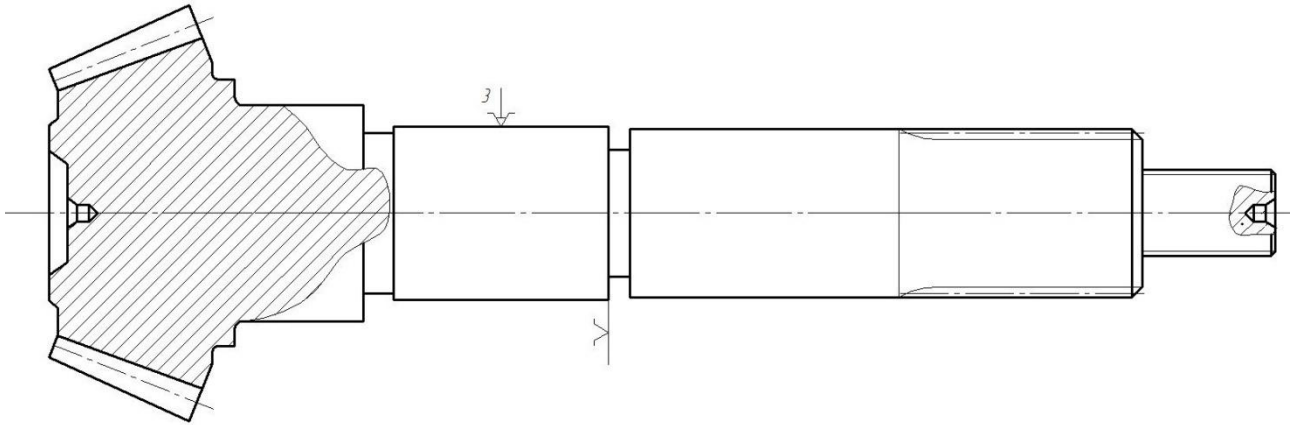


Рис. 2.4. Схема вала шестерні ведучої частини заднього мосту при відновленні центрових отворів.

Під час виконання операцій шліфування опорних шийок деталі як основні технологічні бази застосовуються центрові отвори, які були попередньо відновлені та механічно оброблені з дотриманням вимог точності. Схематичний принцип встановлення показано на рисунках 2.5 і 2.6.

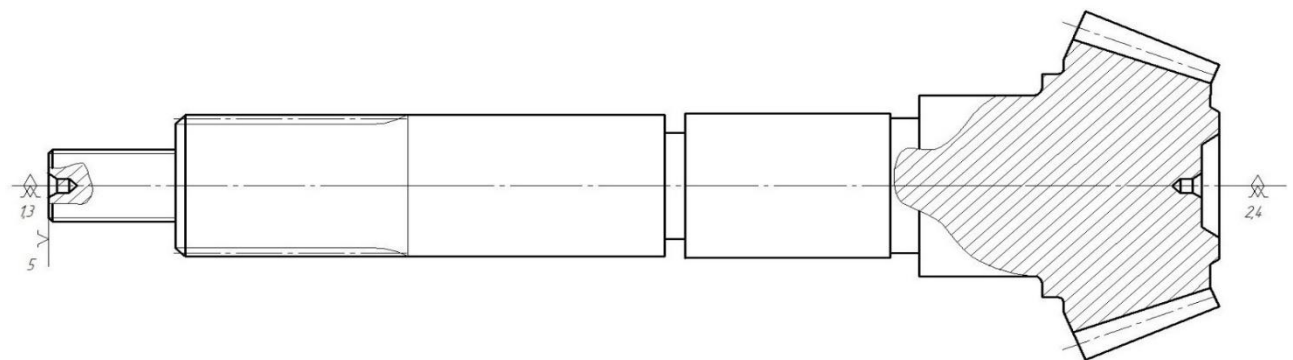


Рис. 2.5. Схема вала шестерні ведучої частини заднього мосту при шліфуванні шийки.

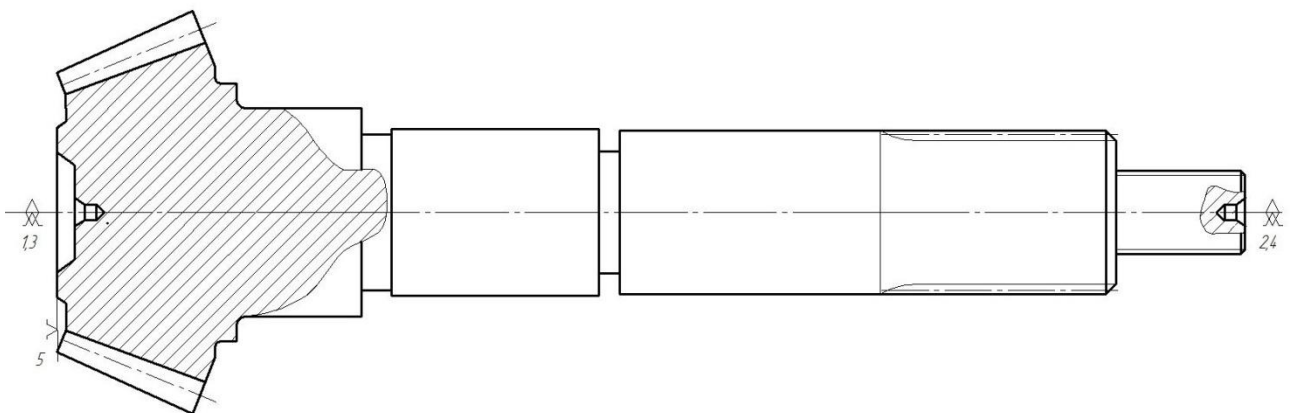


Рис. 2.6. Схема вала шестерні ведучої частини заднього мосту при шліфуванні шийки.

2.6 Технологічні процеси усунення виявлених дефектів

Для відновлення працездатності відновлюваного первинного валу шестерні ведучої частини заднього моста розроблено послідовні технологічні маршрути усунення кожного з трьох дефектів.

Дефект №1 – пошкодження різьби ($HRC \approx 56$). Порушення профілю різьби унеможливило надійне з'єднання, тому ремонт виконується методом наплавлення з наступним відновленням геометрії:

Токарна операція. Чистове розточування центрових отворів з повним усуненням пошкоджених зон.

Токарна операція. Зрізання залишків зношеної різьби та формування циліндричної базової поверхні до розміру $d = 38 - 0,29$ мм.

Операція наплавлення. Формування припуску під нарізання нової різьби, забезпечуючи діаметр $d = 43,0^{+0,4}$ мм.

Чистове точіння та нарізання різьби. Відновлення точного профілю різьби $M40 \times 1,5-6g$ та обробка фаски $c = 1,5 \times 45^\circ$.

Дефект №2 – знос шліцьової частини за шириною ($d = 3,585 - 0,06$ мм; $HRC \approx 56$)

Відновлення здійснюється з урахуванням необхідності забезпечення високої точності профілю та зносостійкості:

Токарна обробка. Відновлення центрових отворів до чистової якості.

Токарна обробка. Повне видалення зношених шліців з отриманням базового діаметра $d = 76 - 0,31$ мм.

Наплавлення під флюсом. Поетапне заварювання впадин шліців – спочатку поздовжніми, далі кільцевими валиками.

Формується діаметр $d = 81^{+1,1}$ мм, при цьому регулярно усувається шлак відразу після формування шва.

Токарна операція.

Чорнове точіння до розміру $d = 80,2 - 0,042$ мм.

Фрезерування шліців. Відновлення ширини профілю шліця $b = 3,585 - 0,07$ мм.

Гартування ТВО (індукційне). Нагрів шліцьової поверхні до $t = 920^{\circ}\text{C}$ з наступним охолодженням у масляній ванні.

Відпуск. Нагрів до $t = 250^{\circ}\text{C}$ та охолодження на повітрі для зняття внутрішніх напружень.

Шліфування. Фінішне шліфування зовнішнього діаметра шліцьового профілю $d = 80_{-0,024} \text{ мм}$.

Дефект №3 – знос посадкової шийки під роликовий підшипник ($d = 82_{-0,026} \text{ мм}$; $\text{HRC} \approx 56$)

Оптимальним процесом відновлення обрано залізнення, що гарантує високу зносостійкість:

Токарна операція. Чистове відновлення центрових отворів.

Шліфування. Зменшення діаметра до базового для нанесення покриття: $d = 81,7_{-0,052} \text{ мм}$.

Залізнення.

Формування захисно-відновного шару з припуском $d = 82,4_{+0,26} \text{ мм}$.

Проміжне шліфування до діаметра $d = 82,1_{-0,032} \text{ мм}$.

Фінішне шліфування до кінцевого розміру $d = 82_{-0,024} \text{ мм}$.

Застосовані технологічні рішення забезпечують відновлення геометричних характеристик та відповідність міцнісним вимогам, що дозволить збільшити ресурс деталі до нормативних значень міжремонтної довговічності.

2.7 Технологічний маршрут відновлення деталі

На основі результатів аналізу дефектів та методів їх усунення сформовано раціональну послідовність технологічних операцій для забезпечення максимальної точності та надійності відновленої деталі.

Операція 005 – Токарна. Виконується чистове оброблення центрових отворів з повним усуненням пошкоджених ділянок для забезпечення високої точності подальшого базування.

Установлення: схема А

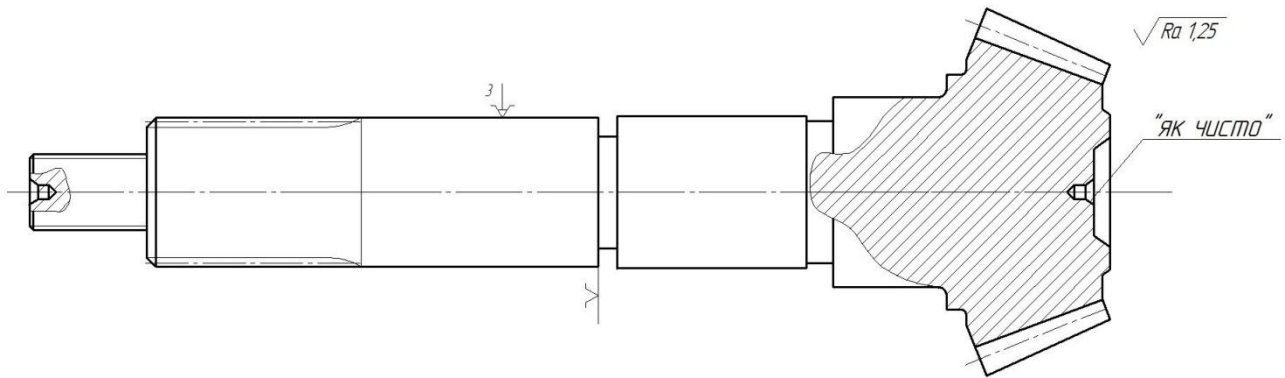


Рис. 2.7. Схема вала шестерні ведучої частини заднього мосту при точінні центрових отворів.

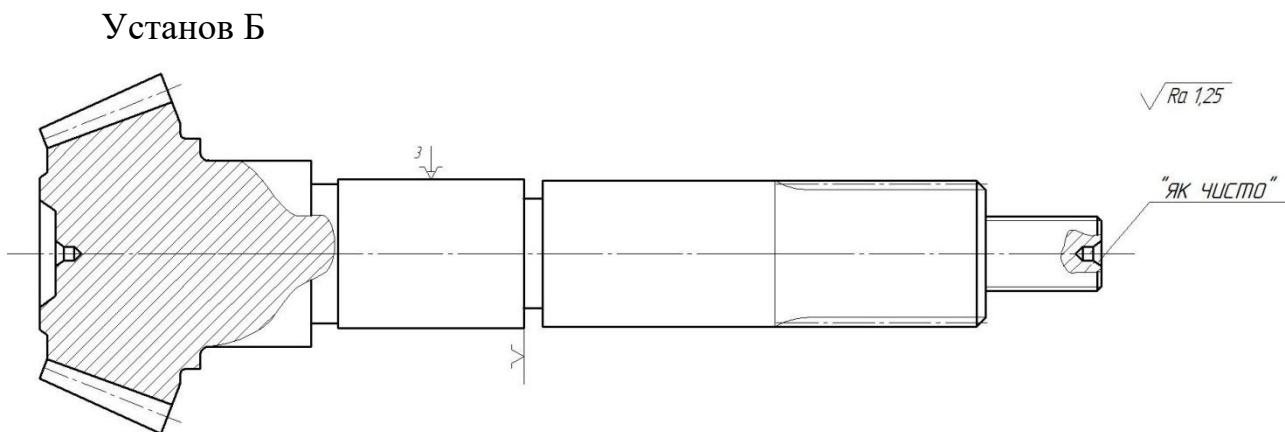


Рис. 2.8. Схема вала шестерні ведучої частини заднього мосту при точінні центрових отворів.

Операція 010 – Токарна. Видалення залишків пошкодженої різьбової ділянки шляхом точіння до отримання циліндричної поверхні розміром $d = 38,0_{-0,29}^{0}$ мм, що створює необхідну базу для подальшого наплавлення та формування нового різьбового профілю.

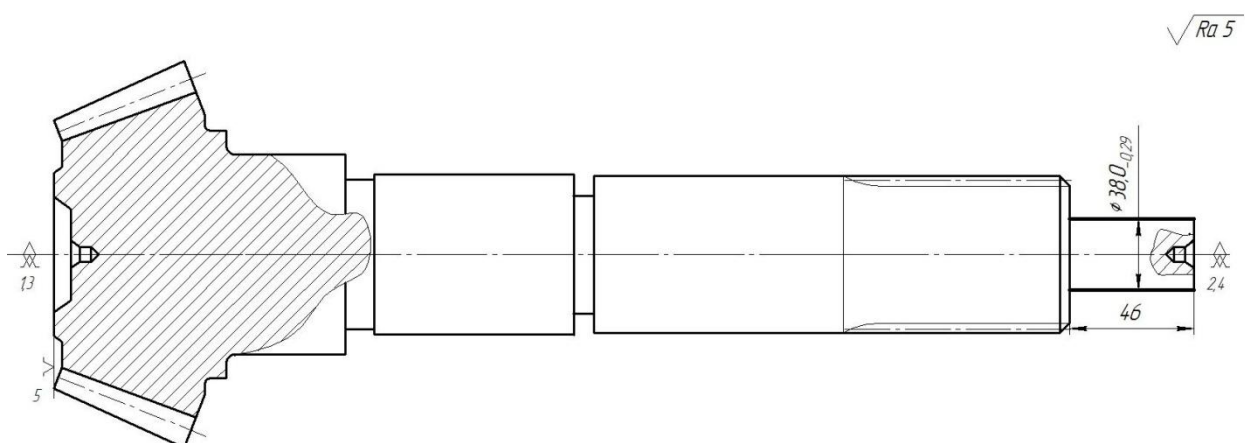


Рис. 2.9. Схема вала шестерні ведучої частини заднього мосту при токарній обробці різби.

Операція 015 – Наплавлення. Формування відновленої поверхні під подальше нарізання різьби шляхом нанесення наплавленого шару на циліндричну ділянку. Забезпечити діаметр $d = 43,0^{+0,4}$ мм, що надає необхідний припуск для фінішної механічної обробки.

Операція 020 – Токарна (код 4110)

Чистове точіння наплавленої поверхні з відновленням її геометричної точності, формуванням фаски $s = 1,5 \times 45^\circ$ та нарізанням різьбового профілю $M40 \times 1,5-6g$ відповідно до технічних вимог.

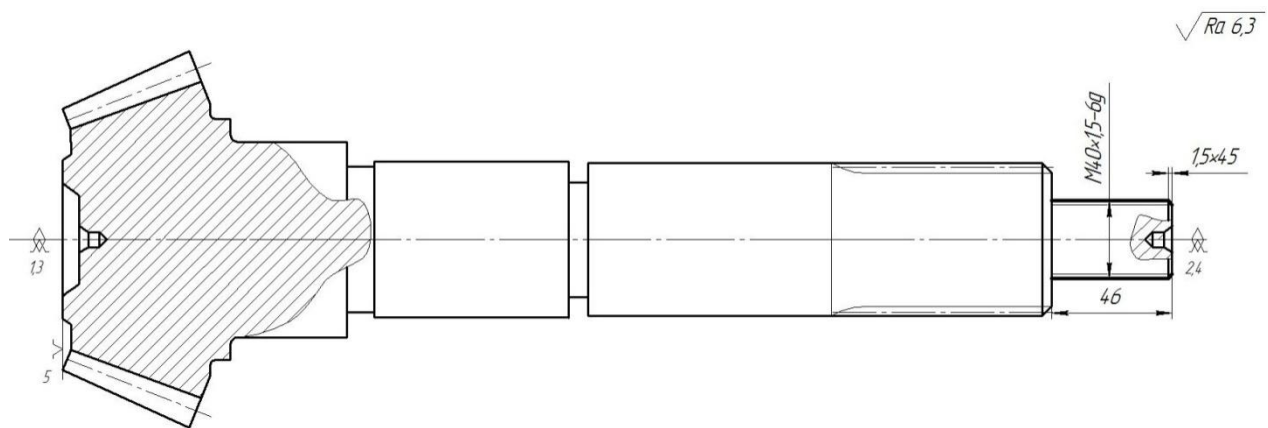


Рис. 2.10. Схема вала шестерні ведучої частини заднього мосту при токарній обробці різьби.

Операція 025 – Токарна. Механічне видалення зношеного шліцевого профілю з формуванням рівномірної циліндричної поверхні до встановленого розміру $d = 76_{-0,31}$ мм.

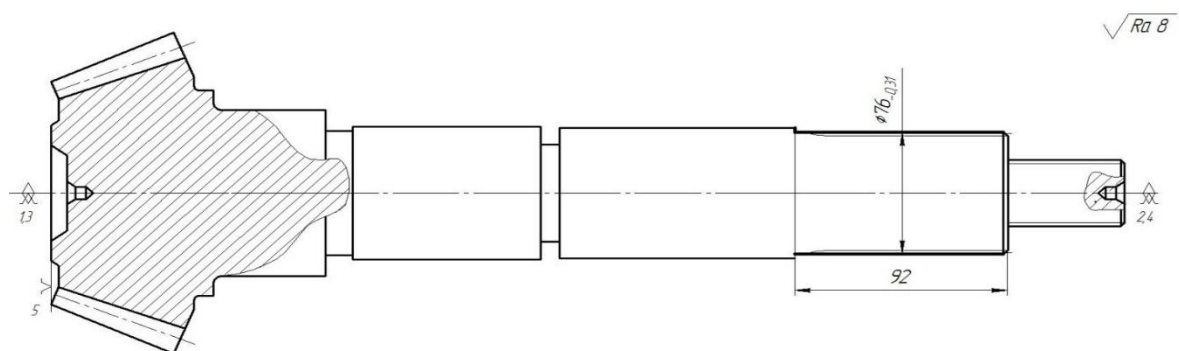


Рис. 2.11. Схема вала шестерні ведучої частини заднього мосту при токарній обробці шліцевих поверхонь.

Операція 030 – Наплавлення. Відновлення шліцевого профілю шляхом наплавлення впадин шліців у два етапи – почерговим накладанням поздовжніх, а після цього кільцевих валиків. Формувати поверхню до діаметра $d = 81^{+1,1}$ мм.

Операція 035 – Шліфувальна. Попереднє шліфування поверхні шліцьової частини з метою вирівнювання геометрії та підготовки до наступних операцій, досягнувши діаметра $d = 81,7_{-0,052}^0$ мм.

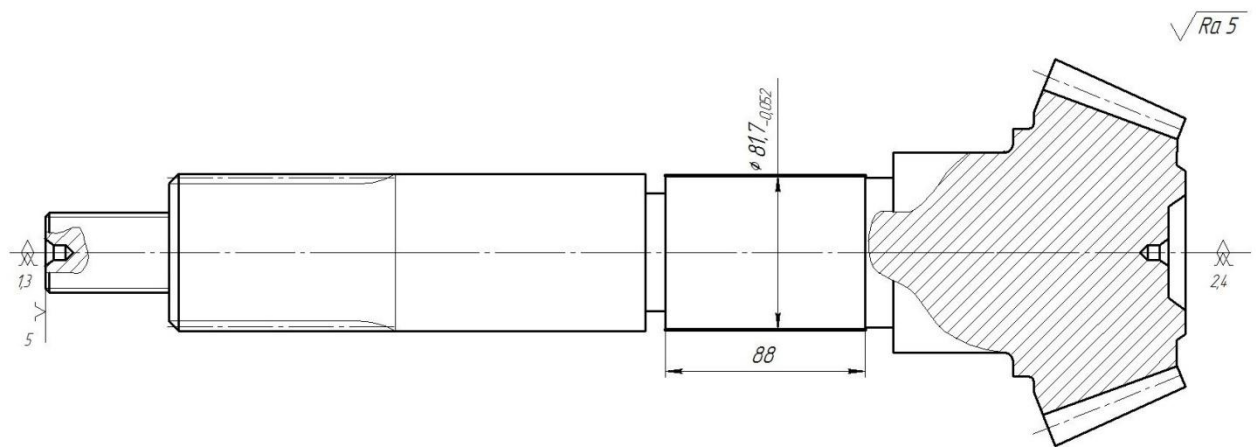


Рис. 2.12. Схема вала шестерні ведучої частини заднього мосту при шліфуванні шийки.

Операція 040 – Токарна. Механічна обробка напавленої поверхні з метою наближення до кінцевої геометрії шліцьової частини, забезпечуючи діаметр $d = 80,2_{-0,042}^0$ мм.

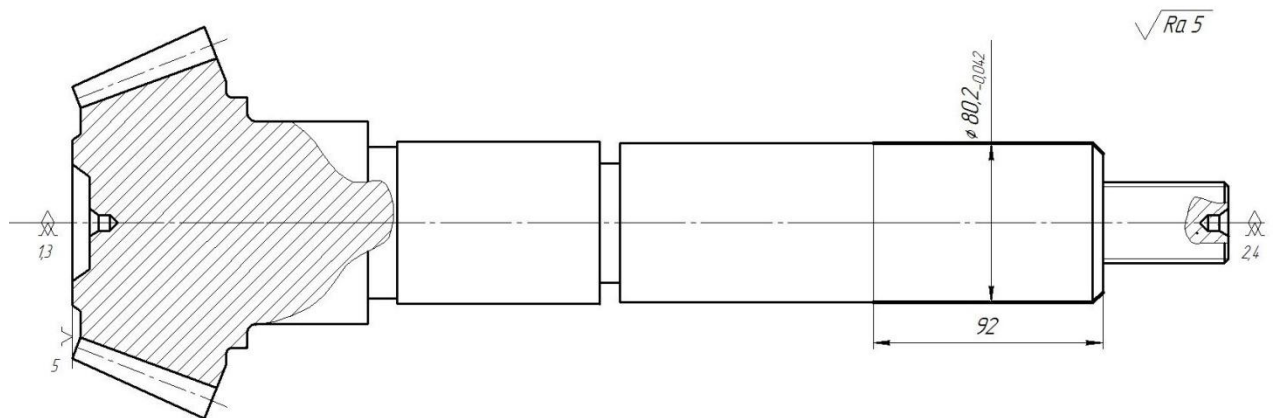


Рис. 2.13. Схема вала шестерні ведучої частини заднього мосту при токарній обробці шліцьвих поверхонь.

Операція 045 – Залізнення. Нанесення зміцнювального металевого шару на поверхню посадкової шийки для відновлення її номінальної геометрії. Формувати діаметр $d = 82,4_{+0,26}^0$ мм.

Операція 050 Фрезерування. Відновлення профілю шліців шляхом фрезерування робочих граней з дотриманням розміру за шириною $b = 3,585_{-0,07}^0$ мм.

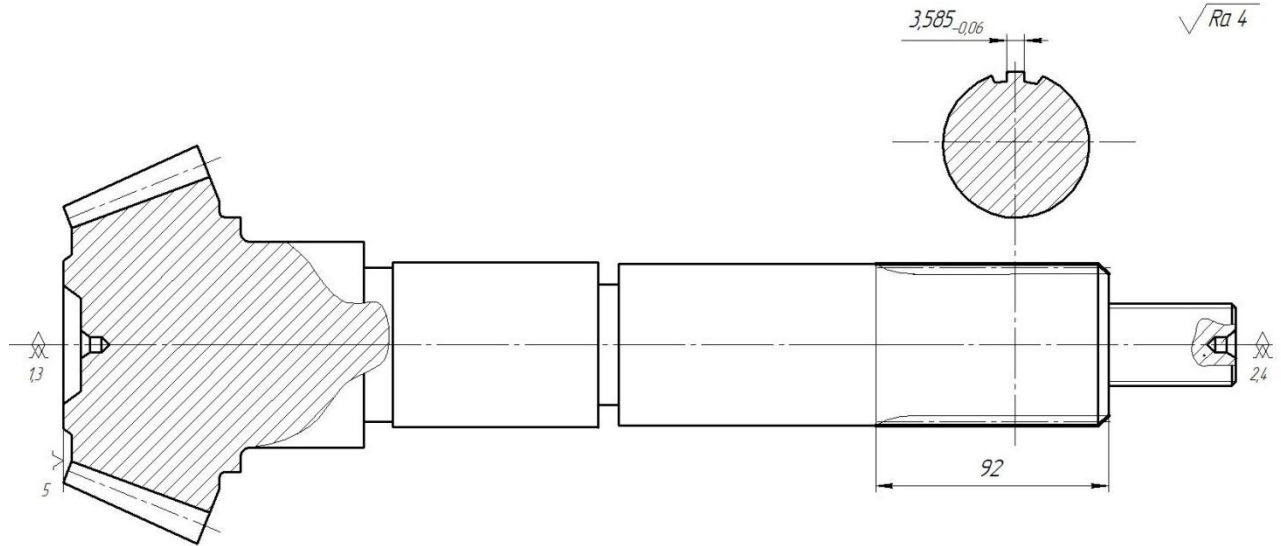


Рис. 2.14. Схема вала шестерні ведучої частини заднього мосту при фрезеруванні щільових пазів.

Операція 055 – Гартування. Зміцнення шліцьової поверхні методом індукційного нагрівання до температури $t = 920\text{ }^{\circ}\text{C}$ з наступним швидким охолодженням у масляній ванні для формування високоміцної загартованої структури металу.

Операція 060 – Відпускання. Зниження внутрішніх напружень, що виникли після гартування, шляхом нагрівання шліцьової поверхні до $t = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ з подальшим охолодженням на повітрі з метою покращення в'язкості та експлуатаційної надійності шару.

Операція 065 – Шліфувальна. Фінішне шліфування зовнішнього діаметра шліців для досягнення заданої точності та шорсткості поверхні. Забезпечити розмір $d = 80 - 0,024\text{ мм}$.

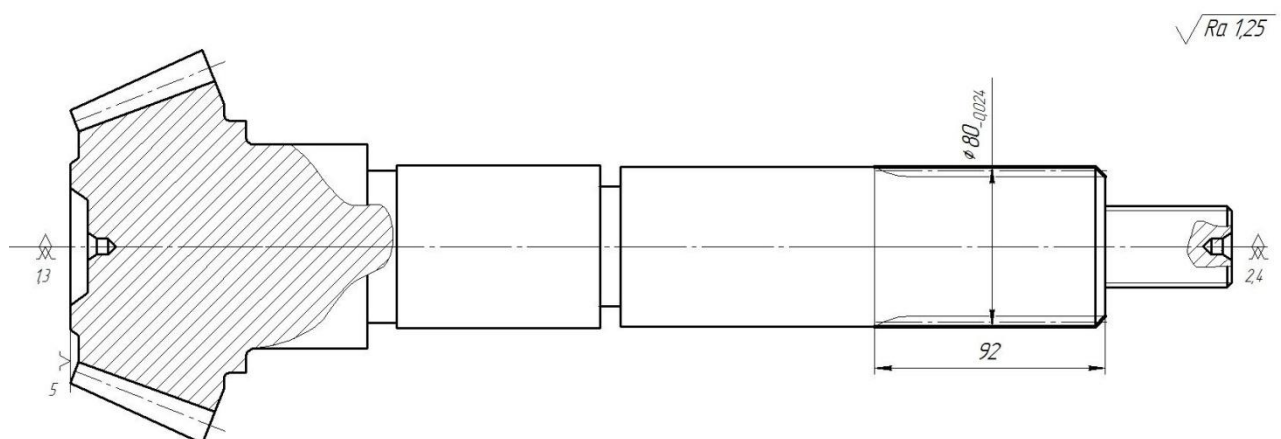


Рис. 2.15. Схема вала шестерні ведучої частини заднього мосту при шліфуванні щільових поверхонь.

Операція 070 – Шліфувальна. Попередня високоточна обробка посадкової шийки з метою вирівнювання геометрії відновленої поверхні після залізнення та забезпечення припуску для фінішного шліфування. Досягти діаметра $d = 82,1 \pm 0,031$ мм.

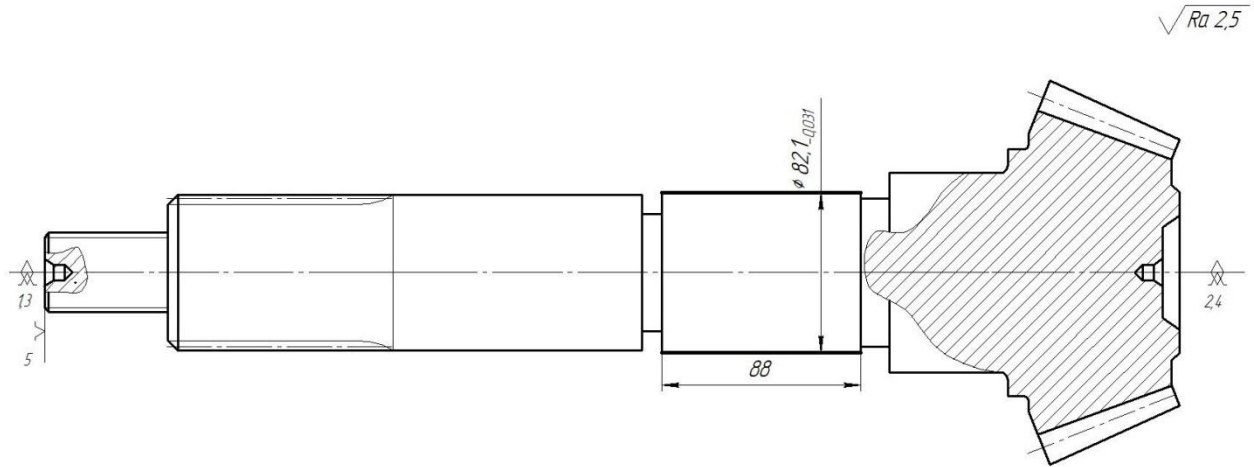


Рис. 2.16. Схема вала шестерні ведучої частини заднього мосту при шліфуванні шийки.

Операція 075 – Шліфувальна. Фінішне шліфування посадкової шийки з досягненням остаточної точності геометричних параметрів та необхідної якості поверхні. Забезпечити номінальний розмір $d = 82 \pm 0,024$ мм.

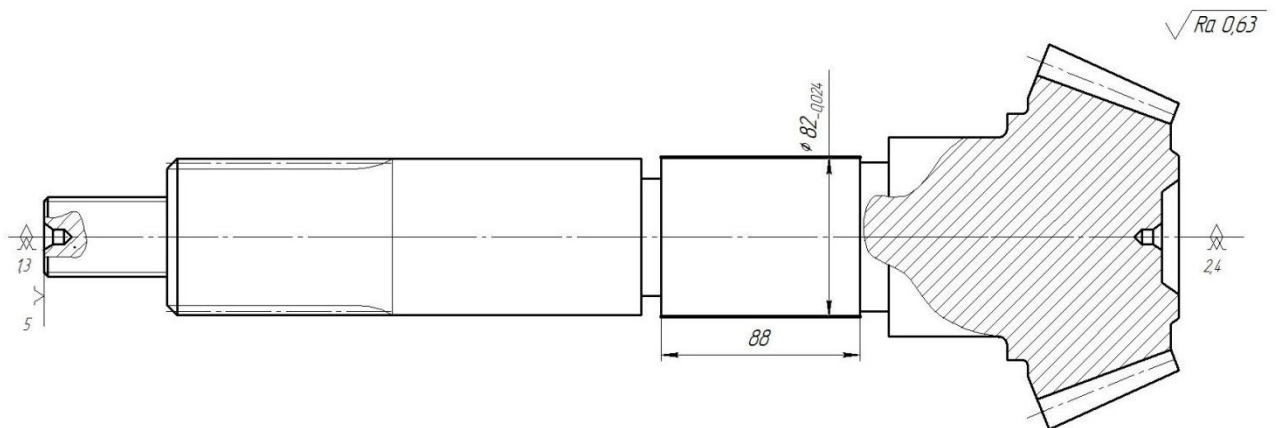


Рис. 2.17. Схема вала шестерні ведучої частини заднього мосту при шліфуванні шийки.

2.8 Вибір обладнання та засобів технологічного оснащення

Для реалізації технологічного процесу відновлення первинного валу шестерні ведучої частини заднього моста підібрано обладнання, оснащення та

вимірювальний інструмент, що забезпечує необхідну точність обробки та якість поверхонь.

Для токарних операцій (005, 010, 020, 025, 040) застосовується токарно-гвинторізний верстат 16K20, укомплектований повідковим або самоцентрувальним патроном, заднім обертовим центром та різцями зі сплаву Т15К6. Контроль геометричних параметрів виконується штангенциркулем та індикаторними скобами. Виконавці – токарі 2–3 розряду.

Операції наплавлення (015, 030) виконуються відповідно на вібродуговому верстаті У-651 та установці для наплавлення під флюсом У-653 з використанням дроту Нп-30 або електродів Нп-30ХГСА та флюсу АН-20. Роботи забезпечує електрозварник 4-го розряду.

Для шліфувальних операцій (035, 065, 070, 075) застосовується круглошліфувальний верстат 3У142 у комплекті з абразивними кругами типорозмірів 500×50×305 різних марок зернистості та індикаторними скобами для контролю точності. Виконавці – шліфувальники 3–5 розрядів.

Залізнення поверхні (045) виконується на електролітичній установці з використанням спеціального розчину та пристосування, під керуванням гальваніка 3-го розряду.

Фрезерування шліців (050) проводиться на шліцефрезерному верстаті 5350 із черв'ячною фрезою Р6М5 та калібрами для контролю профілю шліцевого з'єднання. Виконавець – фрезерувальник 5-го розряду.

Термічні операції (055 – гартування, 060 – відпускання) проводяться на установці СВЧ ЛППЗ-60 із застосуванням захисних засобів. Виконавець – терміст 3-го розряду.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок головної передачі

На етапі проєктування головної передачі першочергово виконується вибір її конструктивної схеми та визначення раціонального типу з урахуванням експлуатаційних вимог і особливостей трансмісії автомобіля. Подальший аналіз передбачає формування кінематичної структури механізму та виконання відповідного креслення. Для забезпечення надійності та ефективності роботи трансмісії у якості базового варіанта прийнято кінематичну схему, що відповідає конструкції прототипу, наведеної на рисунку 3.1.

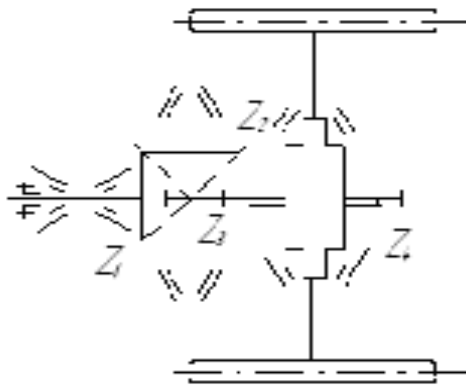


Рис. 3.1. Кінематична схема головної передачі.

Подальшим етапом є визначення ключових геометричних характеристик конічної зубчастої передачі, зокрема кількості зубців, модуля та основних габаритних розмірів елементів. Розрахунок кількості зубців проводиться з урахуванням передавального числа i_0 , яке отримано під час тягового аналізу, а також з огляду на обрану кінематичну схему трансмісії. Водночас береться до уваги конструктивне обмеження щодо мінімально допустимої кількості зубців ведучої шестірні, яке для автомобільного транспорту коливається в діапазоні $Z = 5 \dots 11$, причому менші значення, як правило, застосовують у головних передачах вантажних автомобілів.

У випадку використання подвійної головної передачі передавальне число конічної пари визначають на основі встановленої аналітичної залежності

$$i_{kon} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{20}{12} = 1.7. \quad (3.1)$$

Для розрахунку передавального числа циліндричної зубчастої передачі застосовується відповідна математична залежність, яка враховує співвідношення кількості зубців ведучого та веденого коліс. Використання цієї формули дає змогу забезпечити необхідне узгодження частот обертання між елементами трансмісії та сформулювати оптимальний режим передавання крутного моменту

$$i_{цил} = \frac{i_o}{i_{кон}} = \frac{6.93}{1.7} = 4,08 \quad (3.2)$$

Після прийняття раціонального значення кількості зубців для ведучого зубчастого колеса z_3 , здійснюють визначення кількості зубців веденого колеса z_4 :

$$z_4 = i_{цил} \cdot z_3 = 4,08 \cdot 9 = 36,72 \quad (3.3)$$

Прийmemo $z_4=36$

Модуль зубчастого зачеплення для пари шестерень визначають за умовами побудови профілю по зовнішньому (більшому) діаметру

$$m_n = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{розр} \cdot \cos \beta_1}{\pi \cdot y \cdot z_1 \cdot L(1 - \lambda^3) \cdot \sigma}} \quad (3.4)$$

$$m_n = \sqrt{\frac{6 \cdot 14428 \cdot \cos 45}{\pi \cdot 0.136 \cdot 12 \cdot 0.15(1 - 0.66^3) \cdot 480 \cdot 10^6}} = 12,9 \text{ мм},$$

$$M_{розр}=14428\text{Н}; \beta_1=30\dots45^\circ; y=0,136. m=12 \text{ мм}$$

$$z_{np} = \frac{z_1}{\cos^3 \beta_1 \cdot \cos \delta} = \frac{12}{\cos^3 45 \cdot \cos 30.96} = 39.6 \quad (3.5)$$

Для конічної зубчастої передачі кут конусності зубців, позначений як δ :

$$\delta = \arctg \frac{z_1}{z_2} = \arctg \frac{12}{20} = 30.96^\circ \quad (3.6)$$

$$L = 90\dots150 \text{ мм}.$$

$$\lambda = 1 - \frac{50}{150} = 0,66$$

Напруження згину, що виникає у небезпечному перерізі зубця під час передавання крутного моменту, належить до одного з визначальних критеріїв працездатності зубчастих передач. Для конічних шестерень допустимий діапазон згинальних напружень становить приблизно $\sigma = 420 \dots 550 \text{ МПа}$, причому нижню межу доцільно застосовувати у випадках консольного

закріплення вала ведучого колеса, коли спостерігається підвищена чутливість до згинальних деформацій:

$$\sigma_{cm} = 0.418 \sqrt{\frac{P \cdot E}{b_o \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha} \left(\frac{1}{r_{l1}} - \frac{1}{r_{l2}} \right)} \quad (3.7)$$

$$\sigma_{cm} = 0.418 \sqrt{\frac{285703 \cdot 2,1 \cdot 10^6}{0.0509 \cdot \sin 20 \cdot \cos 20} \left(\frac{1}{0.0833} - \frac{1}{0.1625} \right)} = 5,38 \text{ МПа},$$

У процесі оцінювання навантажувальної здатності зубчастої передачі одним із ключових параметрів є умовне колове зусилля, що прикладається на середньому радіусі зубця

$$P = M_{\text{розр}} \cdot \frac{1}{r_{cp}} = 14428 \cdot \frac{1}{0.0505} = 285703 \text{ Н} \quad (3.8)$$

$$E = 2,1 \text{ МПа}. \quad b_0 = (r_{1cp} + r_{2cp}) \sin \alpha = (50.5 - 98.5) \sin 20 = 50.9 \text{ мм}$$

Середні радіуси первинних конусів ведучого та веденого коліс визначають у площині передачі колового зусилля P , оскільки саме на цій відстані від вершини конуса формується основна зона контакту зубців під час зачеплення:

$$r_{1cp} = r_{1осн} - \frac{b_1}{2} \sin \delta_1 = 72 - \frac{50}{2} \sin 30.96 = 50.5 \text{ мм} \quad (3.9)$$

$$r_{2cp} = r_{2осн} - \frac{b_2}{2} \sin \delta_2 = 120 - \frac{50}{2} \sin 30.96 = 98,5 \text{ мм} \quad (3.10)$$

Для спрощення розрахунків навантаження та напруженого стану конічної зубчастої передачі використовують поняття еквівалентних циліндричних коліс, параметри яких відтворюють кінематичні й силові умови реальної геометрії. Радіуси цих умовних зубчастих коліс, що відповідають ведучому та веденому елементам передачі, визначають із застосуванням аналітичної залежності, яка враховує середній радіус первинного конуса та просторові особливості зачеплення:

$$r_{l1} = \frac{r_{1cp}}{\cos^2 \beta \cdot \cos \delta_1} = \frac{50.5}{\cos^2 45 \cdot \cos 30.96} = 83.3 \text{ мм} \quad (3.11)$$

$$r_{l2} = \frac{r_{2cp}}{\cos^2 \beta \cdot \cos \delta_2} = \frac{98,5}{\cos^2 45 \cdot \cos 30.96} = 162,5 \text{ мм} \quad (3.12)$$

Контактні напруження, що виникають у зоні взаємодії поверхонь зубців під час передачі навантаження, мають залишатися в межах допустимих значень,

оскільки саме цей критерій визначає зносостійкість та довговічність зубчастого зачеплення. Для конічних передач у трансмісіях автомобілів рекомендований діапазон гранично допустимих контактних напружень становить приблизно $\sigma = 420 \dots 550$ МПа.

3.2 Розрахунок диференціалу

Вибір конструкції диференціала здійснюють з урахуванням функціонального призначення автомобіля, умов його експлуатації та вимог до прохідності й керованості транспортного засобу. На основі проведеного аналізу обирають оптимальний тип механізму та формують його кінематичну структуру з подальшою побудовою графічного зображення. У даному проєкті як базовий варіант застосовано конструкцію диференціала, що відповідає прототипу, представленому на рисунку 3.2.

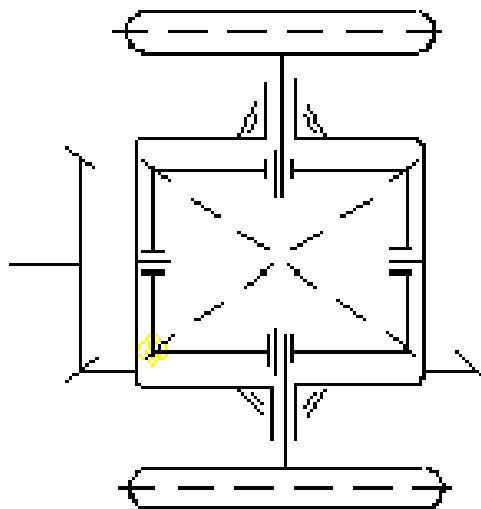


Рис. 3.2. Кінематична схема диференціала.

Подальший етап розрахунку передбачає визначення максимального значення коефіцієнта розподілу крутного моменту між ведучими колесами транспортного засобу:

$$K_H = \frac{i + K_\delta}{1 + u} = \frac{1 + 0.2}{1 + 1} = 0,51 \quad (3.13)$$

$$K_\delta = 0,2 \dots 0,6.$$

3.3 Розрахунок конічної передачі на міцність

У межах даної роботи виконується оцінювання міцності зубчастих коліс головної передачі ведучого моста. Розрахунок здійснюється для найбільш напружених режимів функціонування трансмісії, а саме за умов максимального крутного моменту, що передається від двигуна до коліс.

Вихідні передумови для проведення міцнісного розрахунку

Передавальне число розрахункової ступені: – $U = U_p = 2$.

Частота обертання ведучого зубчастого колеса визначається за співвідношенням

$$n_1 = \frac{n_M}{U_1} = \frac{1500}{4,19} \approx 358 \text{ хв}^{-1}.$$

Частота обертання веденого колеса відповідно становить

$$n_2 = \frac{n_1}{U} = \frac{358}{2} \approx 179 \text{ хв}^{-1}.$$

Розрахунковий обертальний момент на ведучому колесі: T_1 , Н·м.

Розрахунковий обертальний момент на веденому колесі: T_2 , Н·м.

Обґрунтування вибору технології термічного зміцнення зубчастих коліс

З огляду на те, що обертальний момент на веденому колесі становить $T_2 \approx 4000 \text{ Н} \cdot \text{м}$, а виготовлення передачі передбачено у великосерійному виробництві, доцільно застосувати раціоналізовану схему термічної обробки (варіант V). Обидва зубчасті колеса – ведуче і ведене – підлягають однаковому комплексу зміцнювальних заходів: поліпшення із наступною цементацією та гартуванням. Такий підхід забезпечує однорідність механічних властивостей і високу зносостійкість робочих поверхонь зубців.

Поверхнева твердість після термічної обробки повинна перебувати в діапазоні $HRC_e = 56 \dots 63$, що відповідає вимогам до високонавантажених конічних передач автомобільного призначення.

Для виготовлення як ведучої, так і веденої шестерень обирається однакова конструкційна сталь марки 40Х, яка добре реагує на цементаційні процеси й забезпечує необхідну міцність серцевини та поверхневого шару.

$$H_1 = H_2 = (56 + 63) / 2 = 59,5 \text{ HRC} \quad (3.14)$$

Попередній етап оцінювання контактної міцності передбачає визначення допустимого контактного напруження $[\sigma_H]$, яке застосовується під час проєктного розрахунку передачі на опір втомному руйнуванню поверхні зубців:

для шестерні:

$$\sigma_{H \lim 1} = 23 H_{HRC_{\Sigma \text{ пов}}} = 23 \cdot 59,5 = 1368,5 \frac{H}{\text{мм}^2} \quad (3.15)$$

для колеса

$$\sigma_{H \lim 2} = 23 H_{HRC_{\Sigma \text{ пов}}} = 23 \cdot 59,5 = 1368,5 \frac{H}{\text{мм}^2},$$

Базову кількість циклів прикладання контактних напружень визначають у процесі проєктного аналізу з метою оцінки втомної міцності поверхонь зубців:

$$59,5 H_{HRC_{\Sigma}} \approx 590 HB$$

$$N_{H \lim 1} = N_{H \lim 2} = 30 H_{HB}^{2,4} = 30 \cdot 590^{2,4} = 114 \cdot 10^6 < 120 \cdot 10^6 \quad (3.16)$$

Під час аналізу втомної міцності елементів конічної зубчастої передачі необхідно враховувати характер прикладання навантаження в реальних умовах експлуатації транспортного засобу. З цією метою визначають коефіцієнт інтенсивності типовості режимів роботи механізму. Для другого типового режиму навантаження, що є характерним саме для автомобільних трансмісій, приймають значення $\mu_H = 0,25$.

З огляду на те, що для розглядової ступені одне повне обертання ведучого колеса призводить до одноразового входження кожного зубця у зачеплення, кількість циклів навантаження на один оборот становить $c_1 = c_2 = 1$.

Еквівалентну кількість циклів прикладання контактних напружень визначають за відповідною розрахунковою формулою, що враховує частоту зачеплення, інтенсивність навантаження та тривалість роботи передачі:

$$\begin{aligned} N_{HE1} &= 60 \cdot c_1 \cdot n_1 \cdot L_h \cdot \mu_H = 60 \cdot 1 \cdot 358 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,25 = 72,9 \cdot 10^6 \\ N_{HE2} &= 60 \cdot c_2 \cdot n_2 \cdot L_h \cdot \mu_H = 60 \cdot 1 \cdot 179 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,25 = 36,5 \cdot 10^6 \end{aligned} \quad (3.17)$$

На наступному етапі розрахунку встановлюють коефіцієнти довговічності для зубців ведучого та веденого коліс конічної передачі.

Для випадку, коли для ведучого колеса виконується умова $N_{HE1} < N_{Hlim1}$, розрахункове значення коефіцієнта довговічності визначають за відповідною аналітичною залежністю:

$$Z_{N1} = \sqrt[6]{\frac{N_{Hlim1}}{N_{HE1}}} = \sqrt[6]{\frac{81,7 \cdot 10^6}{72,9 \cdot 10^6}} = 1,02 \quad (3.18)$$

У свою чергу, для веденого зубчастого колеса виконується аналогічна перевірка умов втомної міцності поверхні. Якщо розрахункове еквівалентне число циклів навантаження задовольняє співвідношення $N_{HE2} < N_{Hlim2}$, тобто є меншим за базовий ресурс контактної витривалості матеріалу, тоді коефіцієнт довговічності для веденого колеса визначають за відповідною розрахунковою формулою:

$$Z_{N2} = \sqrt[6]{\frac{N_{Hlim2}}{N_{HE2}}} = \sqrt[6]{\frac{81,7 \cdot 10^6}{36,5 \cdot 10^6}} = 1,14$$

Після визначення усіх необхідних параметрів переходять до оцінювання запасу контактної міцності зубчастої передачі. З цією метою розраховують коефіцієнт запасу міцності S_H , який характеризує здатність поверхонь зубців протистояти втомному руйнуванню в умовах дії максимальних контактних навантажень:

$$S_{H1} = S_{H2} = 1,2.$$

Попередню величину допустимого контактного напруження визначають на етапі проектного розрахунку для оцінки здатності зубчастої передачі протидіяти втомному руйнуванню поверхні зубців:

$$\begin{aligned} [\sigma_H]_1 &= 0,9 \cdot \frac{\sigma_{Hlim1} \cdot Z_{N1}}{S_{H1}} = 0,9 \cdot \frac{1368,5 \cdot 1,02}{1,2} = 810 \text{ МПа} \\ [\sigma_H]_2 &= 0,9 \cdot \frac{\sigma_{Hlim2} \cdot Z_{N2}}{S_{H2}} = 0,9 \cdot \frac{1368,5 \cdot 1,14}{1,2} = 905 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (3.19)$$

У ролі розрахункового допустимого контактного напруження для конічних зубчастих передач із круговим профілем зубців приймають значення, скориговане відповідно до фактичних умов роботи механізму:

$$[\sigma_H] = [\sigma_H]_{\min} = [\sigma_H]_1 = 810 \text{ МПа}. \quad (3.20)$$

Одним з ключових геометричних параметрів конічної передачі є відносна ширина зубчастого вінця, яка характеризується коефіцієнтом Ψ_{bre} . Для даного

типу передачі, згідно з рекомендаціями проєктних методик, приймаємо $\Psi_{bRe} = 0,285$.

Наступним етапом виконуємо розрахунок параметра γ , що визначає просторове розташування зубчастих коліс у вузлі та впливає на формування лінії зачеплення:

$$\gamma = \frac{\Psi_{bRe} \cdot U}{2 - \Psi_{bRe}} = \frac{0,285 \cdot 2}{2 - 0,285} = 0,33 \quad (3.21)$$

Для оцінювання реальних умов роботи конічної зубчастої передачі необхідно враховувати нерівномірність розподілу навантаження по ширині зубчастого вінця. З цією метою застосовується коефіцієнт $K_{H\beta}$, який для проєктованої передачі прийнято рівним $K_{H\beta} = 1,05$.

Для конічних передач із круговим профілем зубців додається ще один коригувальний множник, що відображає вплив геометрії зачеплення на величину контактних напружень

$$Q_H = 0,81 + 0,15 \cdot U = 0,81 + 0,15 \cdot 2 = 1,11. \quad (3.22)$$

Попереднє визначення головного геометричного параметра конічної передачі – зовнішнього ділильного діаметра веденого колеса – виконується для формування основи подальших конструктивних розрахунків

$$d'_{e2} \geq 1650 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_2 \cdot U}{Q_H \cdot [\sigma_H]^2} \cdot K_{H\beta}} = 1650 \cdot \sqrt[3]{\frac{4000 \cdot 2}{1,11 \cdot 810^2} \cdot 1,05} = 306 \text{ мм}. \quad (3.23)$$

Попереднє значення зовнішнього ділильного діаметра ведучої шестерні визначають на підставі розрахункових геометричних співвідношень конічної зубчастої передачі:

$$d'_{e1} = \frac{d'_{e2}}{u} = \frac{306}{2} = 153 \text{ мм}. \quad (3.23)$$

Визначення кількості зубців ведучої шестерні є ключовим етапом проєктування конічної зубчастої передачі, оскільки ця величина впливає на кінематичні параметри, несучу здатність та плавність роботи механізму:

$$z_1 = z_1^* = 19. \quad (3.24)$$

Після визначення кількості зубців ведучої шестерні розраховують кількість зубців веденого зубчастого колеса, що забезпечує необхідне передавальне відношення конічної передачі:

$$z_2 = u \cdot z_1 = 2 \cdot 19 = 38. \quad (3.25)$$

Приймаємо $z_2 = 38$.

Після визначення кількості зубців ведучої та веденої шестерень встановлюють фактичне передавальне число конічної передачі:

$$U_{\phi} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{38}{19} = 2. \quad (3.26)$$

$$\Delta U = \left| \frac{U_{\phi} - U}{U} \right| \cdot 100\% \leq [\Delta U] = 4\% \quad (3.27)$$

$$\Delta U = \left| \frac{2 - 2}{2} \right| \cdot 100\% = 0\%$$

Розрахунок δ_1 і δ_2 виконується за встановленими аналітичними залежностями, які враховують співвідношення кількості зубців у парі та геометрію первинних конусів:

$$\begin{aligned} \delta_2 &= \arctg U_{\phi} = \arctg 2 = 63,43494^{\circ}; \\ \delta_1 &= 90^{\circ} - \delta_2 = 90^{\circ} - 63,43494^{\circ} = 26,56505^{\circ}. \end{aligned} \quad (3.28)$$

Зовнішній окружний модуль є одним із основних параметрів конічної зубчастої передачі, що визначає масштаб зубчастого профілю та безпосередньо впливає на габаритні розміри і несучу здатність механізму:

$$m'_{te} = \frac{d'_{e2}}{z_2} = \frac{306}{38} = 8,05 \text{ мм}. \quad (3.29)$$

Зовнішній дільний діаметр ведучої шестерні є важливим конструктивним параметром, який визначає просторове положення елементів конічної передачі та впливає на формування лінії зачеплення:

$$d'_{e1} = m'_{te} \cdot z_1 = 8,05 \cdot 19 = 152,95 \text{ мм}. \quad (3.30)$$

Розрахунок зовнішньої дільної конусної відстані здійснюють за спеціальною аналітичною формулою, яка встановлює залежність між модулем зубчастого зачеплення, кількістю зубців і кутами дільних конусів

$$R'_e = \frac{d'_{e1}}{2 \cdot \sin \delta_1} = \frac{152,95}{2 \cdot \sin 26,56505^{\circ}} = 171 \text{ мм}. \quad (3.31)$$

Розрахунок ширини зубчастих вінців проводять за нормативною формулою, у якій використовується відносний показник ширини Ψ_{bRe} та зовнішня дільна конусна відстань:

$$b = 0,285 \cdot R'_e = 0,285 \cdot 171 = 48,74 \text{ мм}; \quad (3.32)$$

Приймаємо $b = 50 \text{ мм}$.

Розрахунок середньої ділильної конусної відстані виконується за встановленою формулою:

$$R'_m = R'_e - \frac{b}{2} = 171 - \frac{50}{2} = 146 \text{ мм}. \quad (3.33)$$

Визначення середнього окружного модуля здійснюється за аналітичною залежністю:

$$m'_{tm} = m'_{te} \cdot \frac{R'_m}{R'_e} = 8,05 \cdot \frac{146}{171} = 6,87 \text{ мм}. \quad (3.34)$$

Визначення середнього ділильного діаметра шестерні проводиться за відповідною формулою:

$$d'_{m1} = m'_{tm} \cdot z_1 = 6,87 \cdot 19 = 130,53 \text{ мм}. \quad (3.35)$$

Розрахунок середнього нормального модуля здійснюється за формулою:

$$m'_{nm} = m'_{tm} \cdot \cos \beta_m = 6,87 \cdot \cos 35^\circ = 5,63 \text{ мм}, \quad (3.35)$$

З метою забезпечення технологічності виготовлення та дотримання вимог стандартизації отримане розрахункове значення модуля приводять до найближчого стандартного значення, встановленого нормативними документами. Після округлення параметр приймається $m_{nm} = 6 \text{ мм}$.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

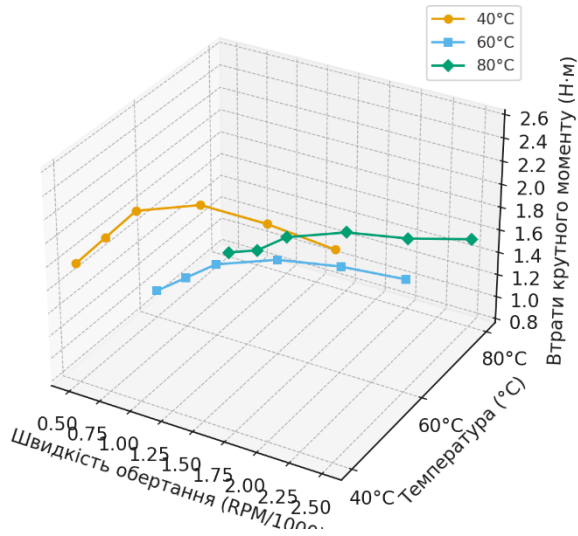
4.1 Аналіз втрат крутного моменту

Комплекс експериментальних графіків, зокрема рисунки 4.1 і 4.2, відображає характер зміни втрат крутного моменту для дослідних мастильних матеріалів групи В у порівнянні з базовими мастилами групи А. Паралельно на рисунках 4.3 та 4.4 подано значення втрат потужності, що отримані для кожного з досліджуваних мастильних матеріалів із прив'язкою до конкретних режимів навантаження та швидкісних умов експлуатації.

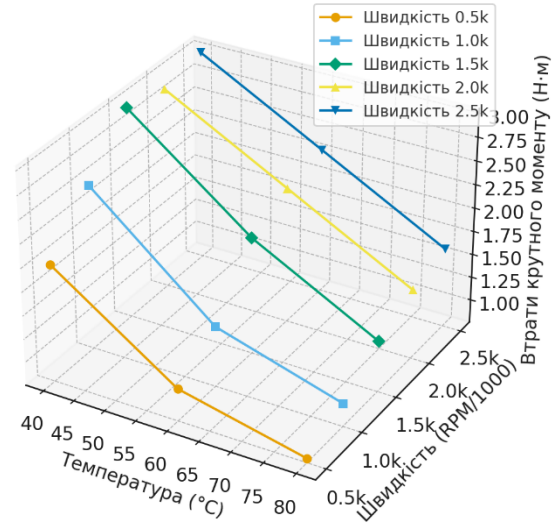
Аналіз результатів доводить, що за незмінної частоти обертання підвищення температури призводить до зниження енергетичних втрат у системі, що пов'язано зі зменшенням в'язкісного опору мастильної плівки. Водночас підвищення швидкості обертання при стабільній температурі, навпаки, викликає зростання втрат, оскільки посилюються гідродинамічні і механічні складові тертя. Найбільш енергонапружені режими спостерігаються при поєднанні низьких температур і високих обертів, коли в'язкість мастила залишається значною.

У поданих графічних матеріалах (рис. 4.1–4.4) також простежується специфічна особливість: фрагменти кривих для температур 40 °С і 60 °С відображені штриховими лініями. Це свідчить про те, що під час частини експериментів фактична температура у вузлі перевищувала задану та наближалася до температури термічної рівноваги. Вказані ділянки демонструють режим роботи редуктора, у якому термічна стабілізація не повністю досягнута.

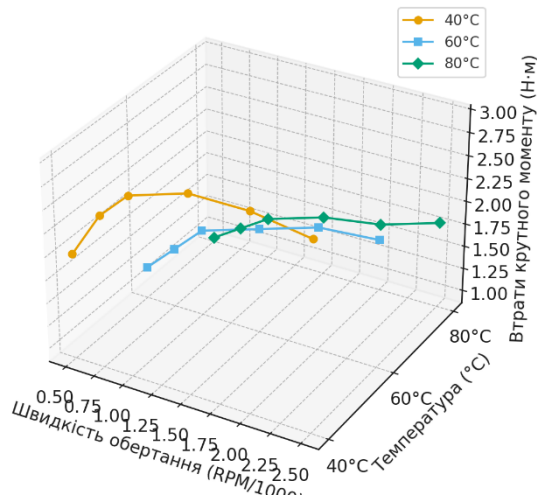
Цей так званий термічний вплив призвів до певного зниження втрат крутного моменту у швидкісному діапазоні 2000–2500 об/хв, що зумовлено частковим розрідженням мастильної плівки. Проте за підвищених робочих температур, коли в'язкість мастила зменшується рівномірніше по всьому діапазону обертів, спостерігається стабільне зростання втрат зі швидкістю обертання. Така тенденція підтверджується розширеними експериментальними даними, наведеними в додатку С.



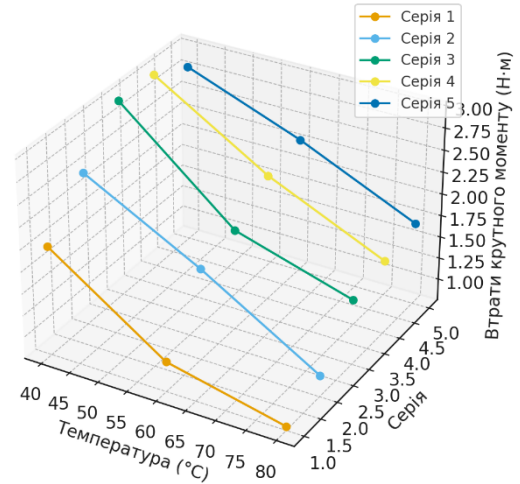
(а) Втрата крутного моменту залежно від швидкості обертання (75W90)



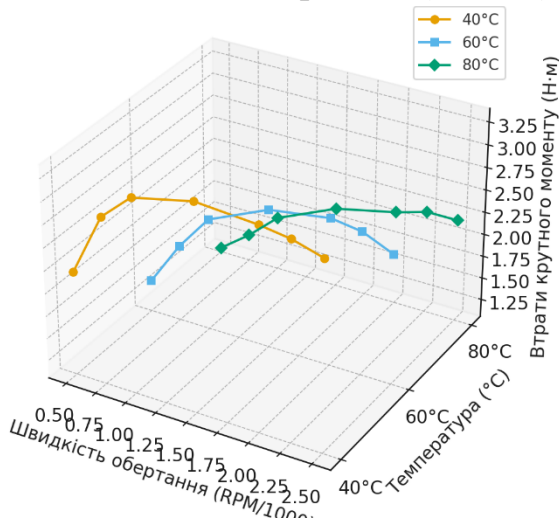
(б) Втрата крутного моменту залежно від температури (75W90)



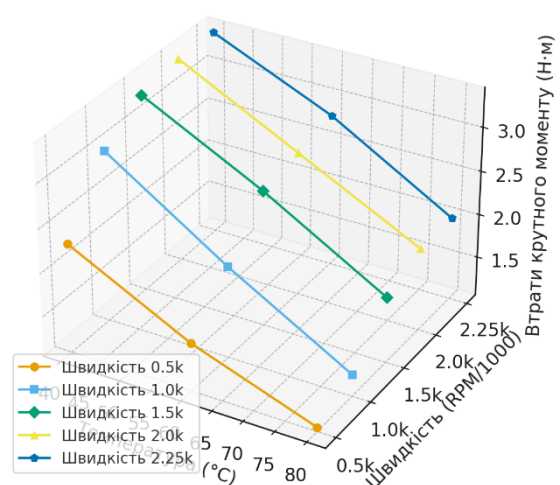
(в) Втрата крутного моменту залежно від швидкості обертання (80W90)



(г) Втрата крутного моменту залежно від температури (80W90)



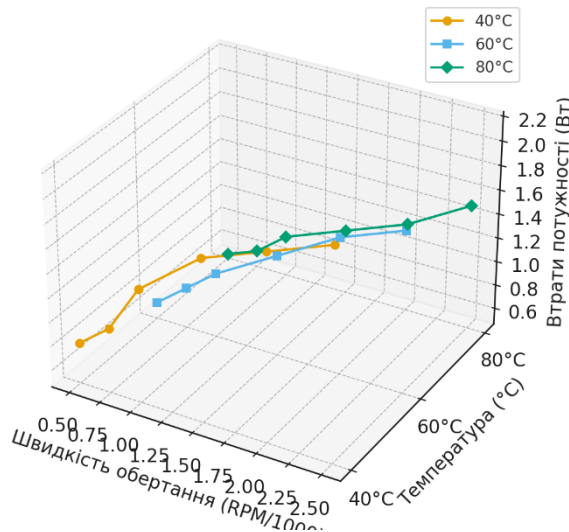
(д) Втрата крутного моменту залежно від швидкості обертання (75W140)



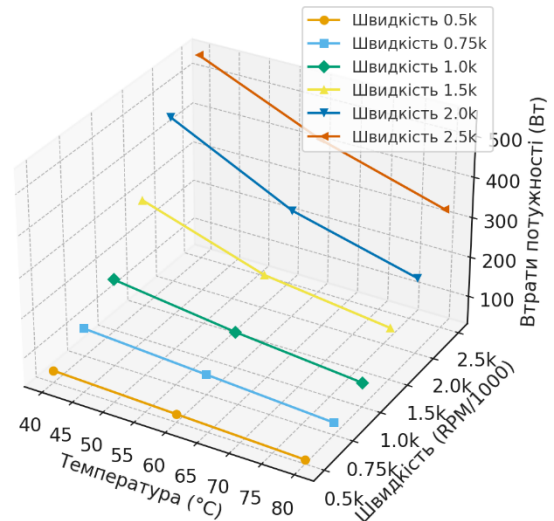
(е) Втрата крутного моменту залежно від температури (75W140)

Рис. 4.1. Зміна втрат крутного моменту під час випробування мастильних матеріалів групи В, запропонованих як альтернативні.

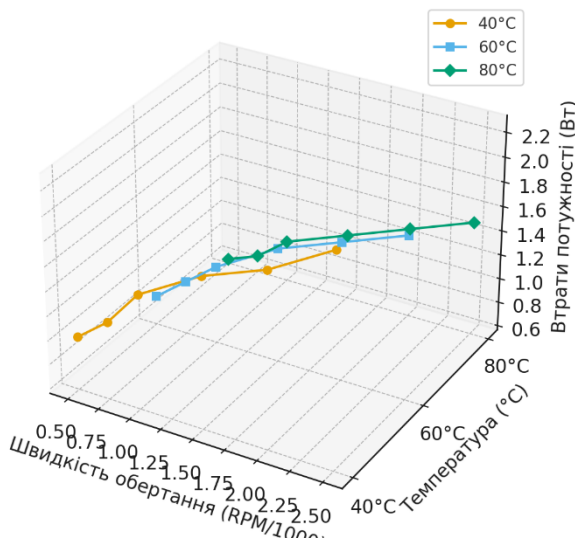
Вираженість термічного ефекту особливо помітна на графіках залежності втрат крутного моменту від зміни температури (рис. 4.1 а, 4.1 б, 4.2 б, 4.2 в, 4.2 г). На початкових точках цих залежностей добре видно, як із наростанням частоти обертання фактична температура робочої пари поступово відхиляється від встановленої, що найбільш відчутно для режимів випробувань при 40 °С.



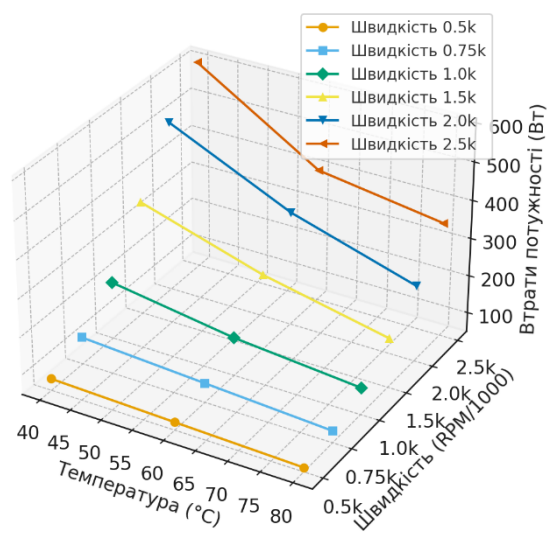
а - Втрати потужності залежно від швидкості (75W85)



б - Втрати потужності залежно від температури (75W85)

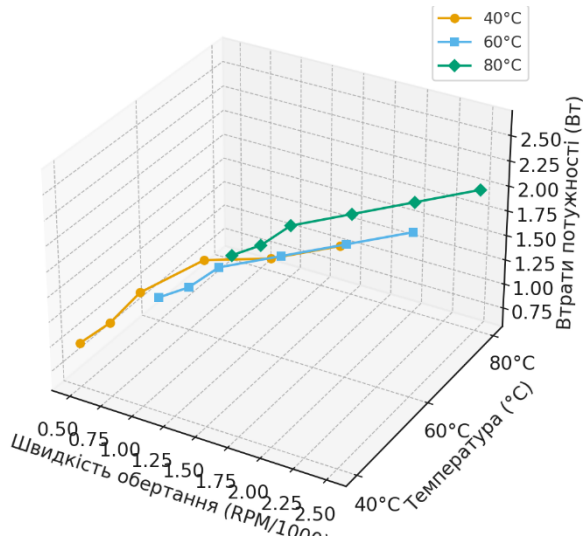


в - Втрати потужності залежно від швидкості (75W90)

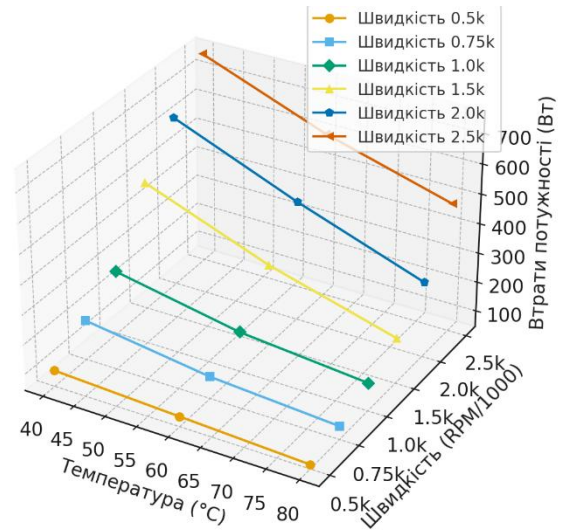


г - Втрати потужності залежно від температури (75W90)

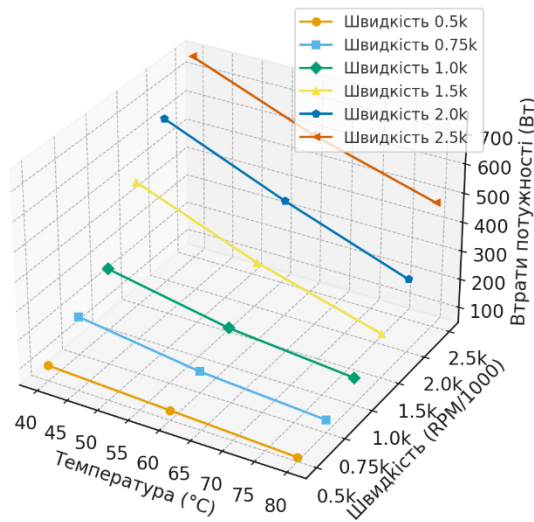
Рис. 4.2. Порівняльні результати втрат крутного моменту для стандартних диференціальних мастил групи А за різних режимів роботи.



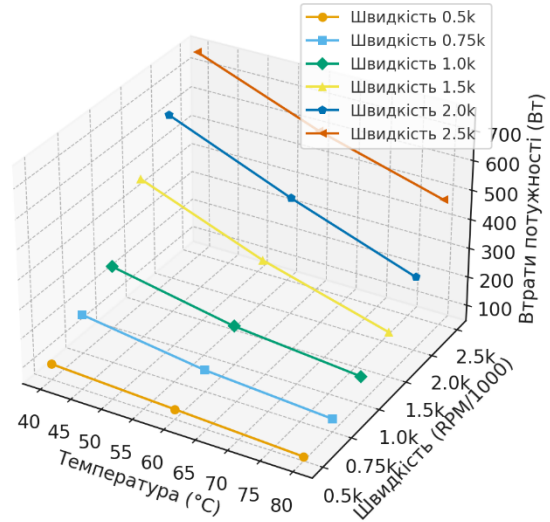
а - Втрати потужності залежно від швидкості (80W90)



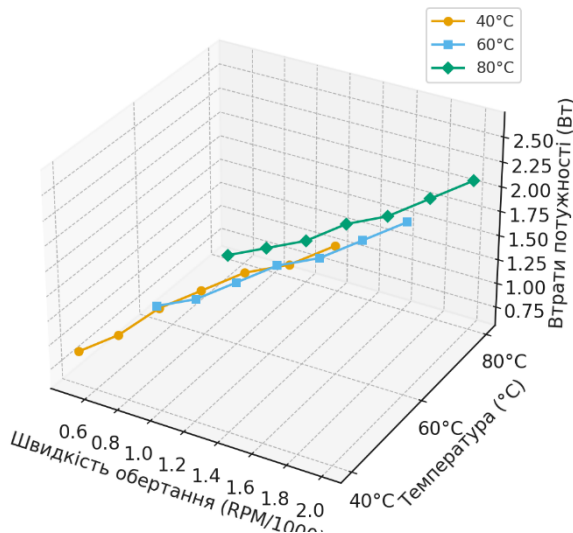
б - Втрати потужності залежно від температури (80W90)



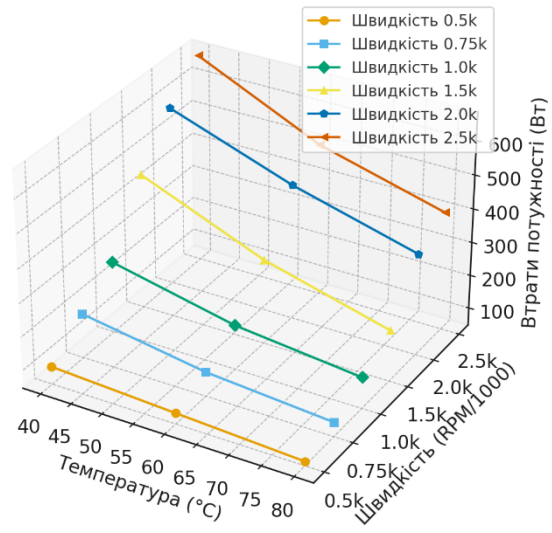
в - Втрати потужності залежно від швидкості (75W140)



г - Втрати потужності залежно від температури (75W140)

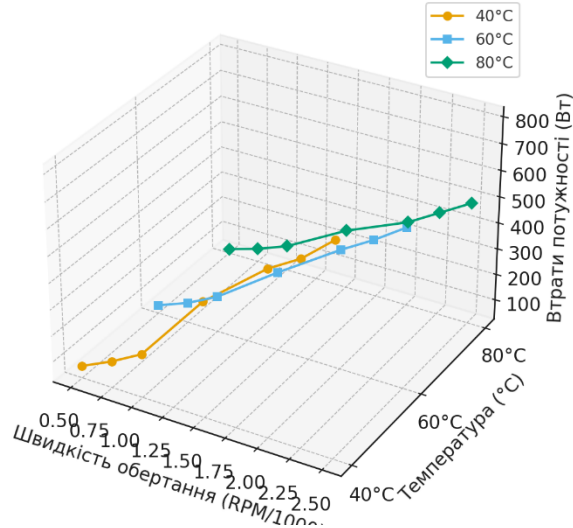


д - Втрати потужності залежно від швидкості (85W140)

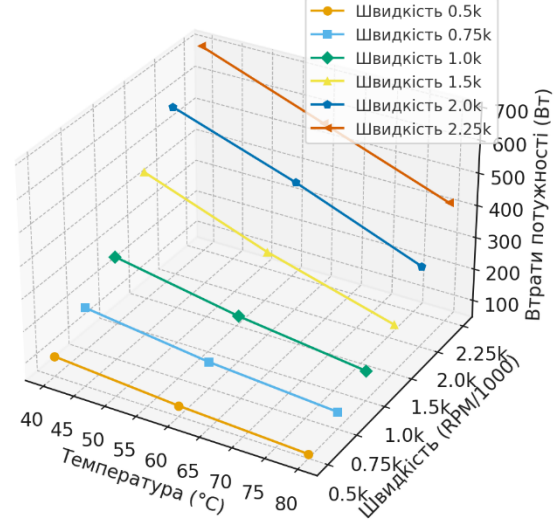


е - Втрати потужності залежно від температури (85W140)

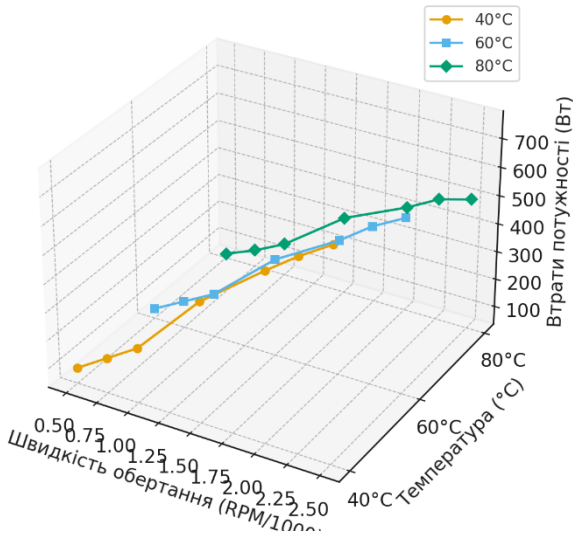
Рис. 4.3. Характер зміни втрат потужності при використанні дослідних мастил групи В у заданих експлуатаційних умовах.



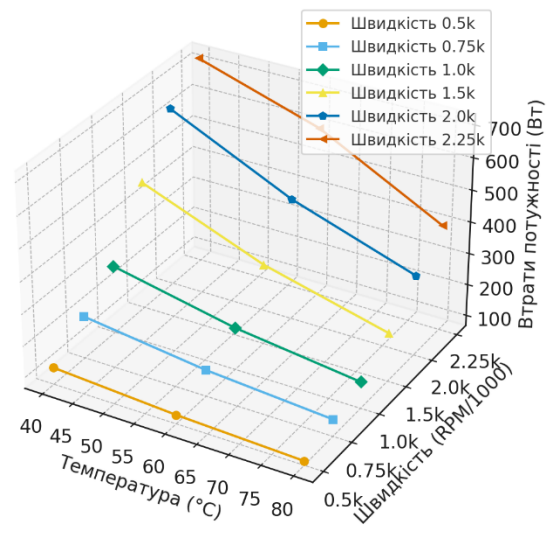
а - Втрати потужності залежно від швидкості (75W90)



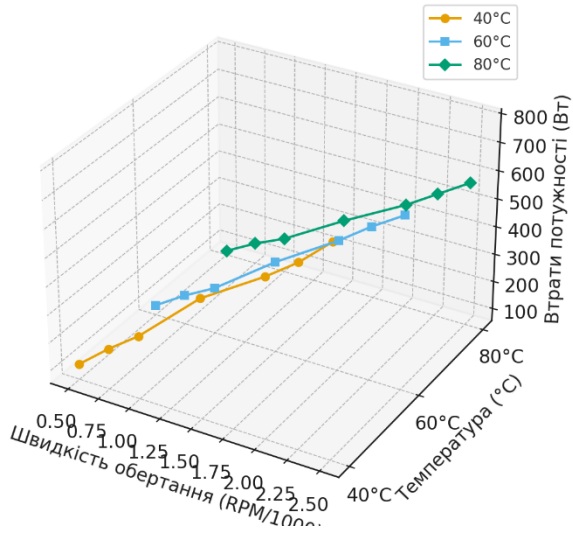
б - Втрати потужності залежно від температури (75W90)



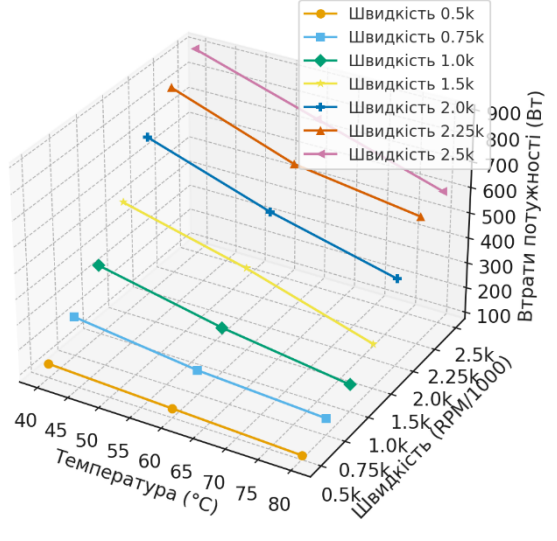
в - Втрати потужності залежно від швидкості (80W90)



г - Втрати потужності залежно від температури (80W90)



д - Втрати потужності залежно від швидкості (75W140)



е - Втрати потужності залежно від температури (75W140)

Рис. 4.4. Енергетичні втрати трансмісії, зафіксовані під час експериментів із еталонними диференціальними мастилами групи А.

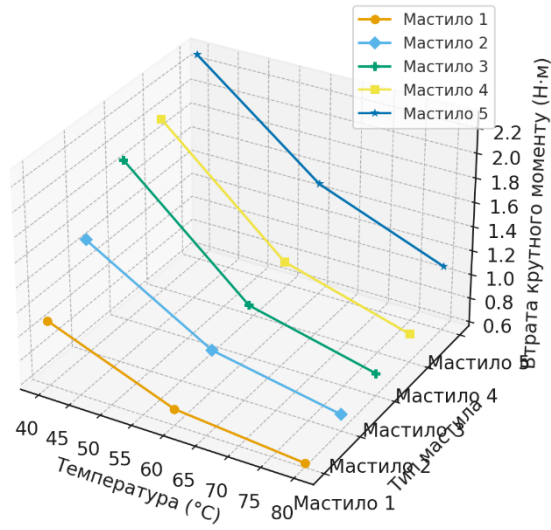
На рисунках 4.5 та 4.6 наведено результати експериментального порівняння п'яти трансмісійних мастильних матеріалів за показником енергетичних втрат на перемішування залежно від частоти обертання та температурних умов. Аналіз діаграм свідчить, що за всіх досліджених режимів обертання найменші втрати крутного моменту фіксуються для мастила 75W85 – В, тоді як мастило 75W140 демонструє протилежну тенденцію, характеризуючись найбільшими втратами.

Оцінка залежності втрат від швидкості обертання при постійній температурі (див. рис. 4.5) підтверджує збереження цієї закономірності: менш в'язке мастило забезпечує кращі енергетичні показники, тоді як найбільш в'язке – формує максимальні гідромеханічні втрати. Такий характер зміни втрат зумовлений значним впливом кінематичної в'язкості мастильних матеріалів, величина якої для кожної оливи наведена на графіку зміни в'язкісних властивостей із температурою.

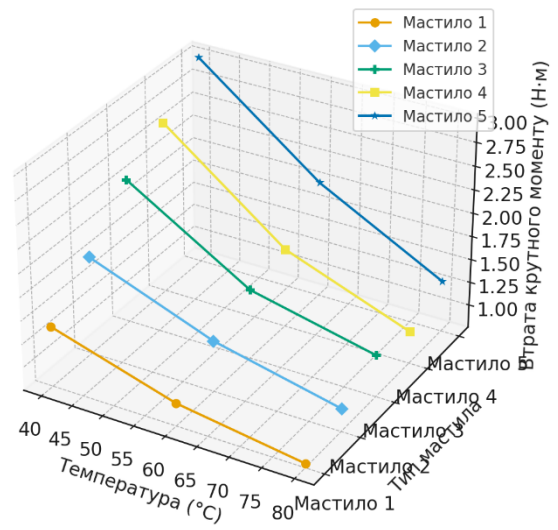
Особливо помітною різниця у втрат крутного моменту між 75W85 та 75W140 є у зоні нижчих температур (приблизно 40 °C), що зумовлено істотно більшим контрастом їхніх в'язкісних характеристик саме в цьому температурному діапазоні. За температури близько 80 °C ці розбіжності згладжуються, що узгоджується з в'язкісною залежністю.

Незважаючи на близькість фізико-хімічних властивостей мастил 75W90 та 75W90, між ними фіксується певна різниця в енергетичних втратах: мастило 75W90 демонструє дещо вищі значення. Така неоднорідність цілком може пояснюватися відмінностями у складі присадок, що впливають на поведінку оливи під час інтенсивного перемішування.

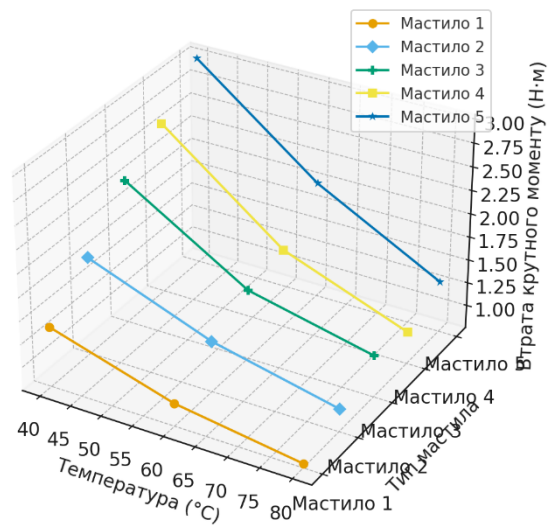
Важливим чинником є також аерація мастила, яка проявляється у формуванні повітряних включень або піни під час руху оливи в картері диференціала. Підвищене піноутворення спричиняє додаткові гідродинамічні втрати, тому варіативність пакета присадок може бути однією з причин відмінностей у досліджуваних мастильних матеріалів за енергоефективністю.



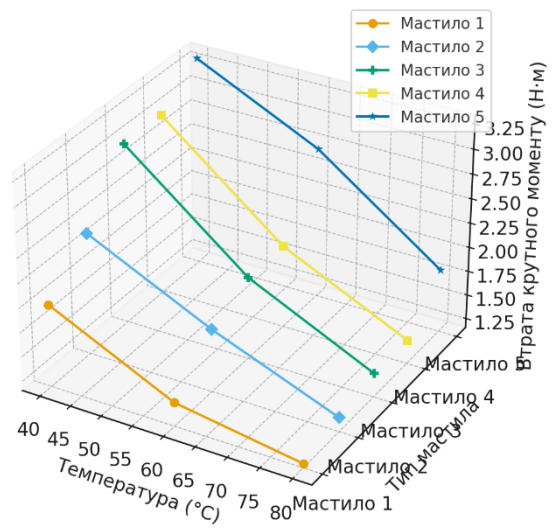
а - Втрата крутного моменту – 500
об/хв



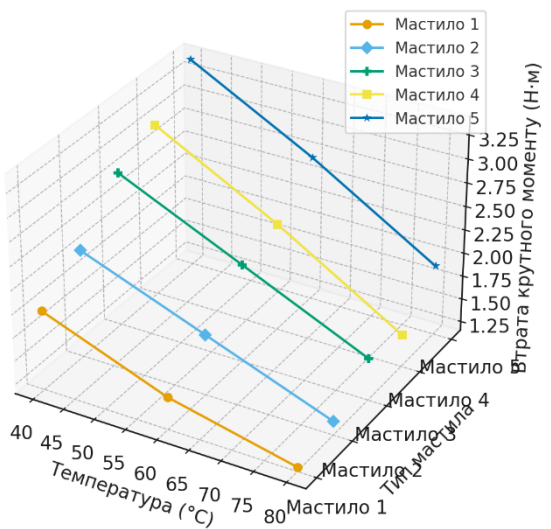
б - Втрата крутного моменту – 750
об/хв



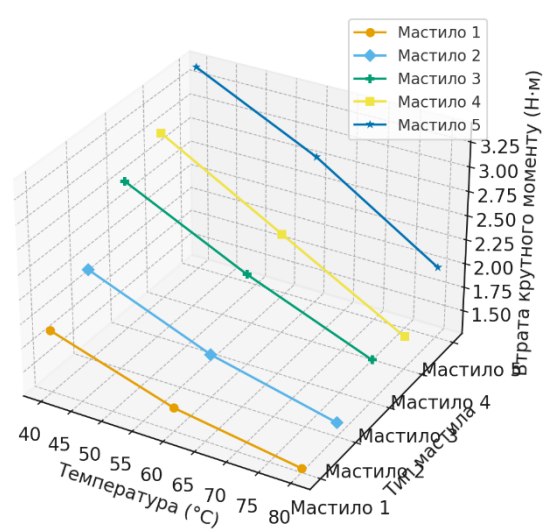
в - Втрата крутного моменту – 1000
об/хв



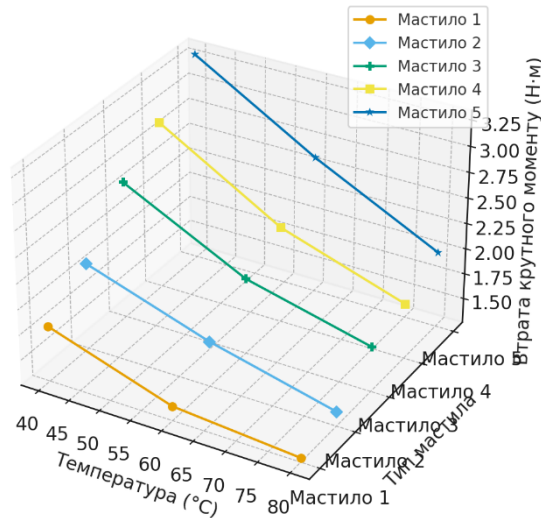
г - Втрата крутного моменту – 1500
об/хв



д - Втрата крутного моменту – 2000
об/хв



е - Втрата крутного моменту – 2250
об/хв



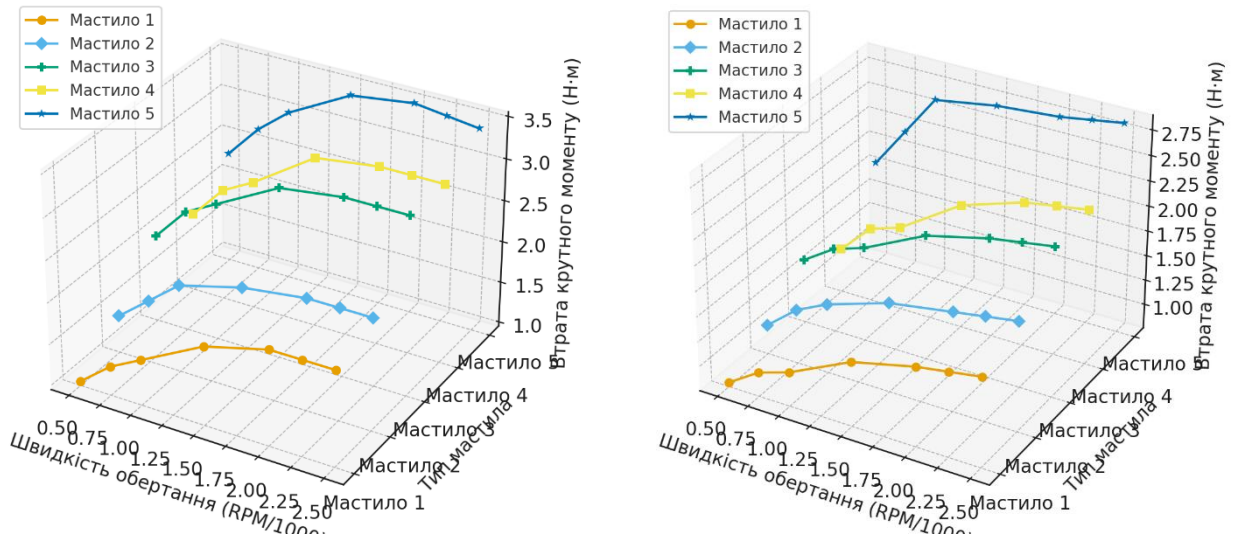
і - Втрати крутного моменту – 2500 об/хв

Рис. 4.5. Порівняння втрат крутного моменту для різних мастил за різних швидкостей обертання.

Раніше відзначений тепловий ефект чітко проглядається на обох рисунках і найбільше проявляється за високих частот обертання та підвищеної в'язкості мастил. Наприклад, на рисунку 4.5 і при 2500 об/хв перша реєстрована точка кривої для мастила 75W85 – В відповідає близько 47 °С, тоді як аналогічна точка для 75W140 – приблизно 55 °С. Це підтверджує, що збільшення в'язкості сприяє інтенсивнішому нагріванню мастила та зростанню втрат на перемішування.

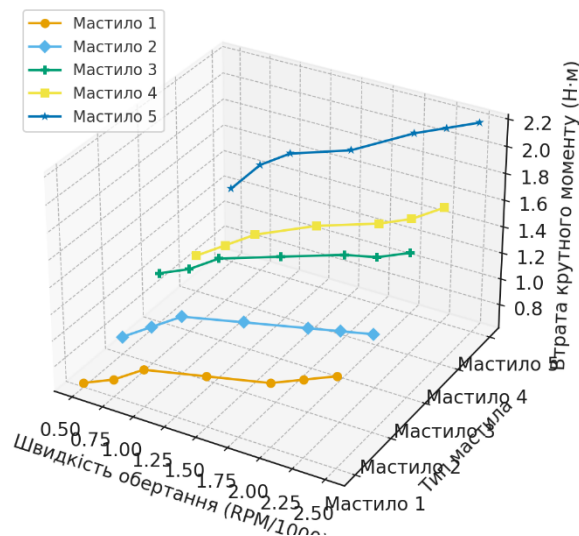
Аналіз графічних залежностей, наведених на рисунках 4.5 та 4.6, дозволяє виокремити дві групи досліджуваних мастильних матеріалів – перспективні зразки та оливи, що вже застосовуються у практиці експлуатації трансмісій. За всіма випробуваними режимами роботи диференціала встановлено, що експериментальні мастильні склади забезпечують помітно нижчі енергетичні втрати у вигляді зменшення крутного моменту, ніж серійні аналоги.

Також простежується зближення характеристик мастил 75W90 – А та 80W90 – А: їхні показники втрат практично збігаються в умовах високих частот обертання та за підвищених температур експлуатації, що свідчить про подібність механіки гідродинамічного опору в цих режимах.



а - Втрати крутного моменту – 40°C

б - Втрати крутного моменту – 60°C

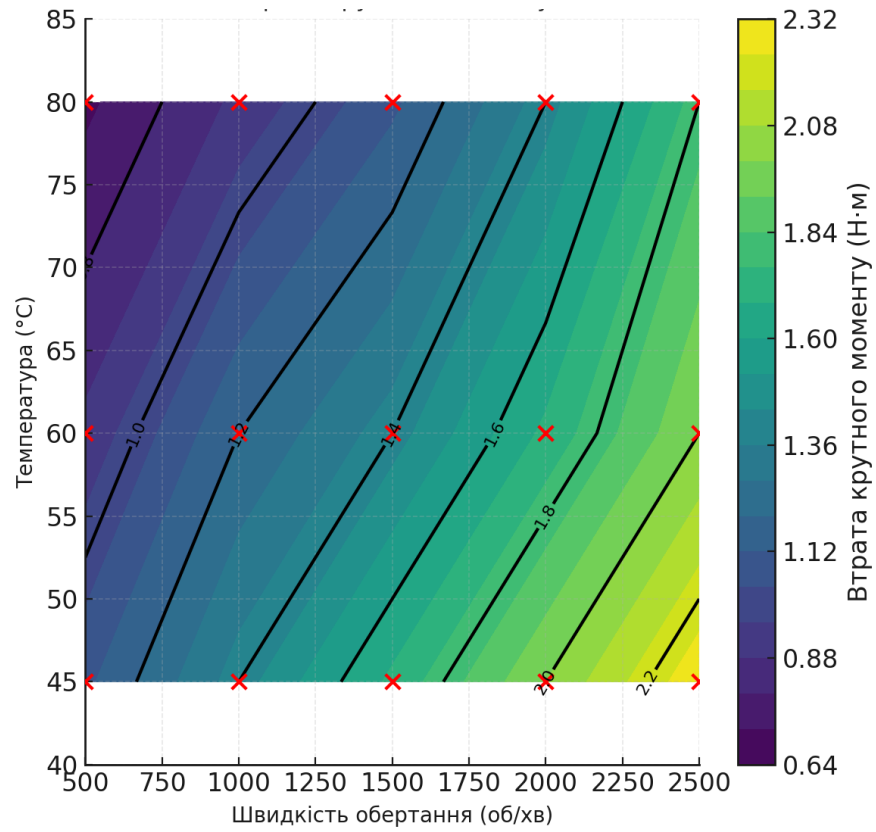


в - Втрати крутного моменту – 80°C

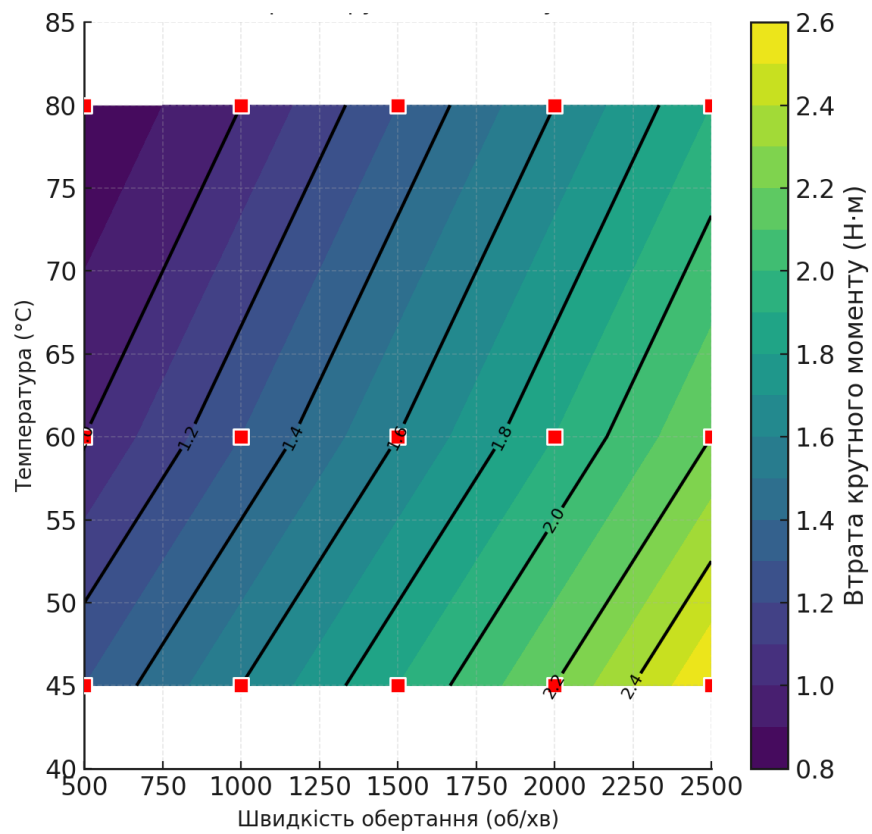
Рис. 4.6. Порівняння втрат крутного моменту для різних мастил за різних температур.

На рисунку 4.7 представлено узагальнену характеристику експериментальних результатів, що відображає зміну втрат крутного моменту в залежності від частоти обертання і температурних умов у комплексі. Для цього використано контурне картографування, де градація кольорів відображає рівень гідромеханічних втрат у досліджуваному діапазоні режимів навантаження.

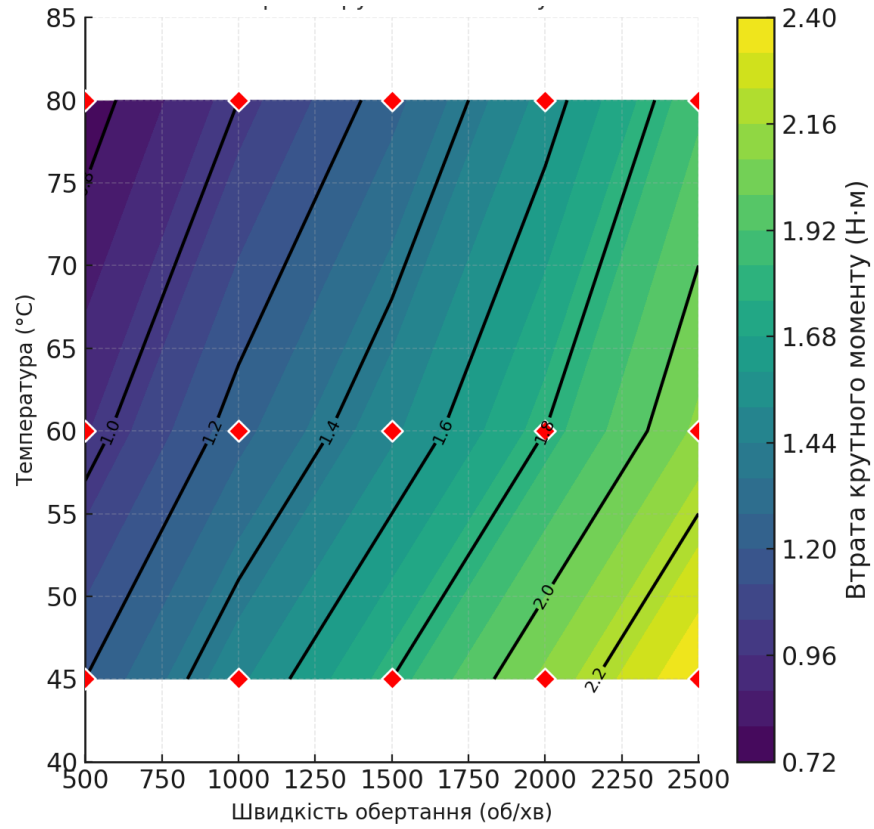
Отримані дані ще раз підтверджують прояв термічного впливу, раніше розглянутого в роботі. Через додаткове тепловиділення при зростанні частоти обертання фактична температура вузла перевищує початково задану температуру мастила у картері. Внаслідок цього експериментальні точки на рисунку 4.7 не утворюють горизонтальної залежності, що особливо помітно при стартовій температурі 40 °C.



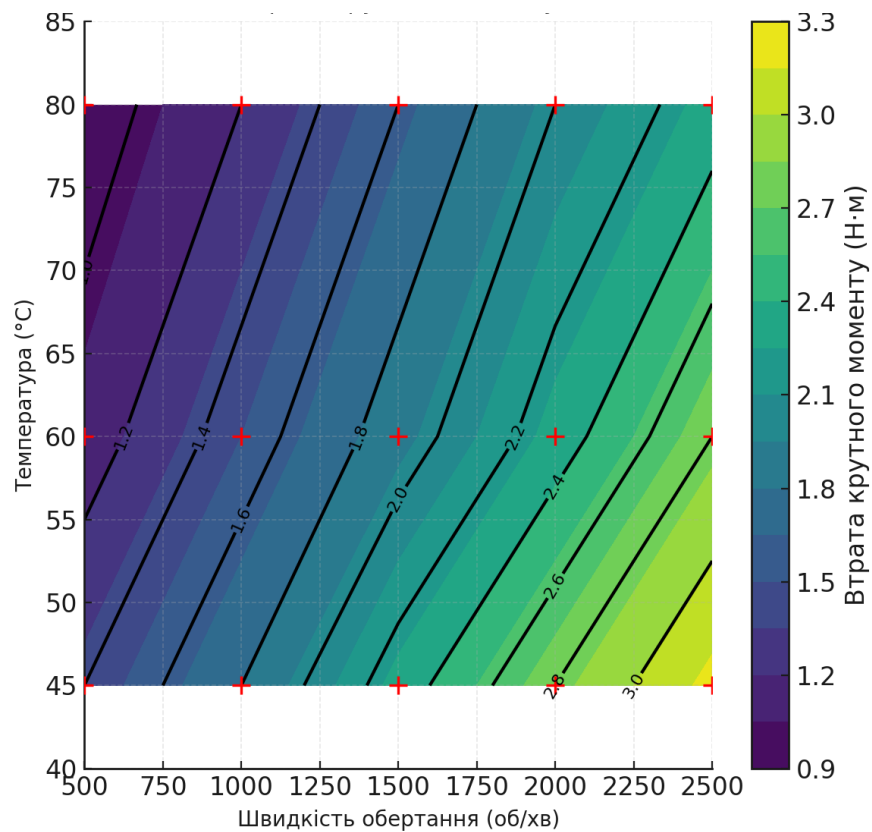
а – Втрати крутного моменту – 75W85



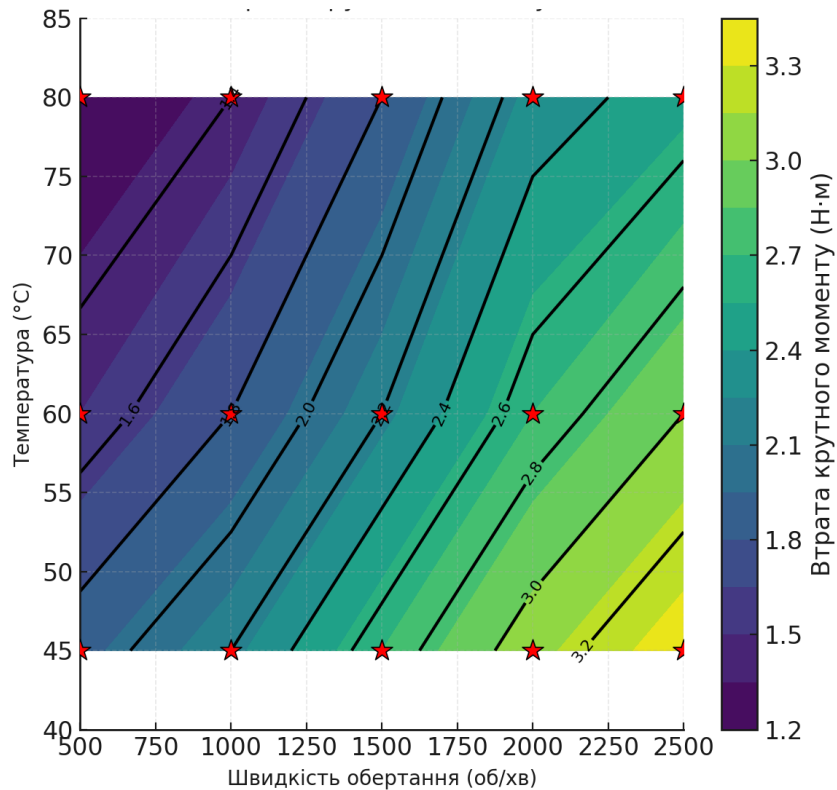
б - Втрати крутного моменту – 75W90



в - Втрати крутного моменту – 75W90



г - Втрати крутного моменту – 80W90



д - Втрати крутного моменту – 75W140

Рис. 4.7. Контурні графіки втрат крутного моменту для низки випробуваних мастил.

Єдиний масштаб кольорової шкали, застосований до всіх варіантів порівняння, дозволяє чітко встановити, що серед усіх протестованих зразків найнижчі втрати крутного моменту властиві мастилу 75W85, тоді як 75W140 демонструє максимальні втрати, що зумовлено його підвищеною в'язкістю.

4.2 Температура стабілізації

У цьому підпункті наведено результати випробувань, спрямованих на встановлення температури стабілізації мастильних матеріалів під час роботи при 2000 об/хв. Визначальним критерієм досягнення стабілізації було зниження швидкості приросту температури до величини меншої ніж 0,5 °C за годину. Вимірювання температури проводилися з інтервалом 10 хвилин, що забезпечувало достатню точність оцінки теплового стану системи.

Рисунок 4.8 відображає температурну динаміку кожного з досліджуваних мастильних матеріалів у процесі їх нагрівання до моменту досягнення термічної рівноваги. При цьому значення на вертикальній осі подано не як абсолютну

температуру оливи, а як різницю між фактичною температурою мастила та температурою навколишнього середовища для відповідних значень крутного моменту.

Порівняння результатів, на рисунку 4.8, дозволяє встановити чітку залежність між величиною втрат крутного моменту та рівнем стабілізаційної температури: мастильні матеріали, що характеризуються вищими втратами на перемішування (як-от 75W140), одночасно досягають і вищої температури стабілізації. Водночас менш в'язкі зразки, які створюють нижчий гідродинамічний опір, стабілізуються при нижчих температурах.

Незважаючи на схожість фізико-хімічних характеристик олив 75W90 та 75W90, їхні теплові характеристики істотно відрізняються: мастило 75W90 прогрівається до більш високої стабілізаційної температури. Така розбіжність узгоджується з припущенням про вплив різного пакета присадок, що також підтверджувалося аналізом втрат крутного моменту.

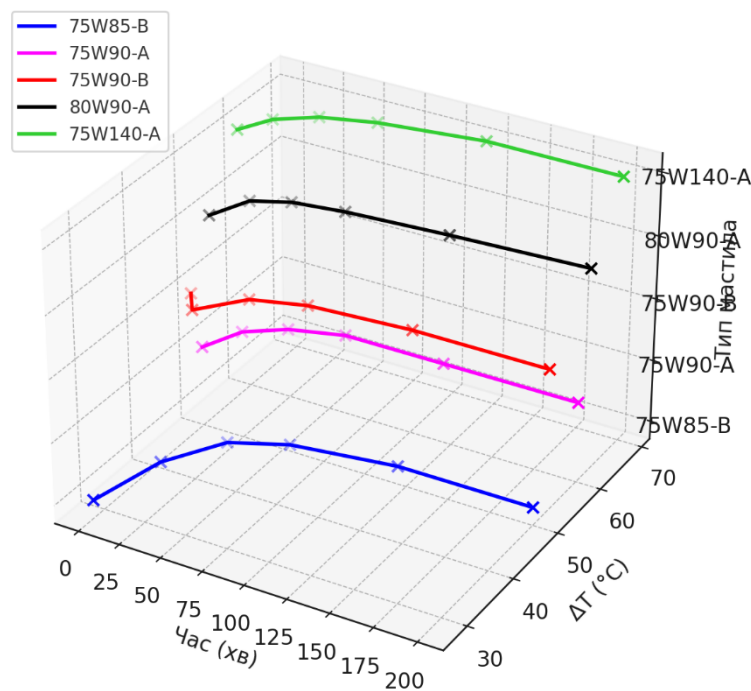


Рис. 4.8. Порівняння температур стабілізації випробуваних мастил

Результати, отримані для дослідних мастил, дають змогу розмежувати їх із комерційними продуктами. Зокрема, мастила-кандидати 75W85 та 75W90 демонструють нижчі температури стабілізації порівняно з серійними оливами 75W90, 80W90 та 75W140, що повністю корелює з нижчими енергетичними втратами, зафіксованими під час випробувань.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Покращення умов виробничого середовища за показником електромагнітного випромінювання

Електромагнітне поле являє собою єдину фізичну сутність, що складається з електричної та тісно взаємопов'язаної з нею магнітної складових. Ступінь його впливу на організм людини визначається низкою параметрів, серед яких ключовими є частотний діапазон, інтенсивність і тривалість опромінення, періодичність дії, площа опромінюваної поверхні та індивідуальні фізіологічні характеристики людини.

Джерела техногенного походження формують електромагнітне випромінювання широкого спектра – від промислових частот до радіохвильового діапазону. Водночас умови впливу та можливі наслідки для здоров'я значною мірою залежать від частотного діапазону цього випромінювання.

Електромагнітні поля радіочастотного діапазону (ЕМП РЧ) застосовуються в сучасних телекомунікаціях і навігаційних технологіях – стільниковому та радіозв'язку, телевізійному мовленні, засобах радіолокації тощо. Активний розвиток та впровадження таких систем призводить до зростання фоновому рівня радіочастотного опромінення у виробничих та міських середовищах.

Електромагнітні поля промислової частоти (ЕМП ПЧ) відносяться до наднизькочастотного діапазону та характеризуються частотою 50 Гц, яка прийнята в Україні для систем електропостачання. Основними джерелами ЕМП ПЧ є енергетичне обладнання змінного струму: трансформаторні підстанції, апаратура розподілу електроенергії, повітряні лінії надвисокої напруги, а також різноманітні електричні машини і системи, які широко використовуються у виробничих процесах.

Електромагнітні поля здатні провокувати як біологічні, так і функціональні порушення в організмі людини. До функціональних реакцій відносять прояви загальної астенизації – швидку втомлюваність, порушення

якості сну, періодичні головні болі, зниження концентрації уваги та працездатності, а також дестабілізацію діяльності центральної нервової та серцево-судинної систем. У разі тривалого або систематичного опромінення можливі стійкі зміни гемодинаміки – коливання артеріального тиску, зниження частоти серцевих скорочень, розвиток невротичних розладів, а також порушення трофіки, що проявляються випадінням волосся, підвищеною ламкістю нігтів тощо. За даними сучасних наукових досліджень, радіочастотне електромагнітне випромінювання чинить суттєвий стресорний вплив на центральну нервову систему.

Негативні біологічні ефекти дії електромагнітних полів класифікують на теплові та нетеплові. Найбільш вивченою є теплова складова, яка зумовлена перетворенням електромагнітної енергії в тепло під час її поглинання тканинами. Такий ефект може супроводжуватися підвищенням загальної або локальної температури тіла й вибіркоvim нагріванням внутрішніх органів. Найбільше ризику зазнають структури зі слабо розвиненими механізмами терморегуляції – головний мозок, кришталік ока, нирки, а також органи травного тракту (шлунок, кишечник).

Для забезпечення безпечних умов праці при роботі з джерелами електромагнітного випромінювання застосовують систему профілактичних заходів, спрямованих на зниження рівня опромінення персоналу до показників, які не перевищують встановлені гігієнічні норми. До основних категорій захисту належать:

Обмеження часу перебування в зоні дії ЕМВ. Застосовується тоді, коли неможливо забезпечити зниження рівня випромінювання технічними засобами. Принцип ґрунтується на прямій залежності між дозою опромінення та тривалістю контакту з полем.

Захист відстанню. Полягає у збільшенні просторового віддалення між працівником і джерелом ЕМП. Величину безпечної відстані визначають на основі розрахункових моделей розповсюдження випромінювання, а також за результатами прямих вимірювань у зоні впливу.

Екранування джерел випромінювання. Передбачає застосування захисних бар'єрів – металевих листів, сітчастих конструкцій, кожухів або кабін, що запобігають проникненню електромагнітної енергії за межі небезпечної зони.

Скорочення інтенсивності випромінювання у джерелі. Досягається шляхом удосконалення технічних засобів, використання атенуаторів, поглиначів потужності, відгалуджувачів, подільників, хвилепровідних послаблювачів та інших пристроїв, що знижують енергетику поля.

Організаційне виділення зон підвищеного випромінювання. Для обладнання, у якого інтенсивність ЕМП перевищує допустимі значення, визначають межі небезпечних зон – на підставі лабораторних вимірювань за максимального рівня генерації. Такі ділянки повинні бути фізично ізольовані або позначені попереджувальними знаками. Робота суміжних установок узгоджується так, щоб їх зони дії не перетиналися.

Екранування робочих місць. Використовується, якщо неможливо обмежити саме джерело випромінювання. Передбачає встановлення кабін або ширм зі спеціальних матеріалів, здатних поглинати або відбивати електромагнітне поле.

Засоби індивідуального захисту. Застосовуються у випадках, коли інші методи захисту є недоцільними або технічно неможливими. До таких засобів відносять комбінезони, халати, головні убори та захисні окуляри, виготовлені зі спеціальних тканин із вплетеними металевими нитками, що утворюють провідну сітку та знижують проникнення ЕМП до поверхні тіла працівника.

5.2 Основи теорії горіння та пожеж

Пожежна безпека об'єкта визначається як такий рівень організації виробничих або експлуатаційних умов, за якого виключається виникнення пожежі або, у разі її появи, гарантується ефективний захист людей від небезпечних і шкідливих факторів, а також забезпечується максимальне збереження матеріальних ресурсів і обладнання.

Пожежа – це некерований процес горіння, що призводить до руйнування матеріальних цінностей та створює серйозну загрозу життю і здоров'ю людей.

Горіння являє собою екзотермічну хімічну реакцію окиснення горючої речовини, яка супроводжується інтенсивним виділенням теплової, світлової енергії та продуктів згорання (димових газів).

Для початку процесу горіння необхідне одночасне існування трьох чинників, які утворюють так званий *трикутник горіння*:

горюча речовина у належному фізичному стані (відповідна температура, дисперсність, вологість);

окиснювач, найчастіше – кисень повітря, у кількості, достатній для хімічної реакції;

джерело запалювання – тепловий імпульс, який ініціює реакцію (іскра, полум'я, розігрітий до високих температур предмет тощо).

Процес горіння має три характерні фази: окиснення, самозаймання та стійке горіння. Загальний розвиток реакції.

На початковому етапі (від температури T_p до температури окиснення T_o) поглинена теплота витрачається на фізико-хімічні перетворення у речовині – плавлення, випаровування, піроліз тощо. Далі, у проміжку між T_o та температурою самозаймання $T_{CЗ}$, швидкість окиснення різко зростає, оскільки теплота, що утворюється внаслідок реакції, перевищує тепловтрати в навколишнє середовище. На рівні $T_{CЗ}$ система досягає самоприскорювальної фази, і реакція стає автономною.

Після появи стійкого полум'я температура поступово досягає рівня $T_{пол}$ та переходить у температуру горіння $T_{Г}$, яка утримується відносно стабільною протягом усього періоду горіння, доки у системі наявна достатня кількість горючої речовини й окисника.

У залежності від умов формування джерела запалювання можна виділити два принципові механізми ініціювання горіння:

локальне запалення – коли обмежена частина горючої суміші нагрівається до температури займання, після чого відбувається розповсюдження полум'я і встановлюється стійкий процес горіння;

об'ємне нагрівання – підвищення температури до критичних значень у всьому об'ємі горючого середовища, що спричиняє його одночасне займання.

Залежно від фізико-хімічних характеристик реагуючих середовищ, виділяють гомогенне та гетерогенне горіння.

Гомогенне горіння характерне для систем, де горюча речовина та окиснювач знаходяться в однаковому агрегатному стані. Якщо їх перемішування є неповним, швидкість поширення реакції визначається процесами дифузії окиснювача у зону горіння. Саме таке дифузійне горіння спостерігається під час використання побутового газу в газових плитах.

Гетерогенне горіння виникає тоді, коли реагенти перебувають у різних агрегатних станах і в системі наявна межа поділу фаз. Типовими прикладами є горіння деревини чи сірників, де реакція протікає на поверхні твердої речовини.

У випадках, коли реакція окиснення охоплює увесь об'єм горючої речовини практично миттєво, швидкість хімічного перетворення може досягати кількох тисяч метрів на секунду. Такий режим носить назву детонаційного горіння. Воно супроводжується вибуховими явищами – раптовим виділенням великої кількості енергії та утворенням високо-компримованих газів, здатних виконувати значну механічну роботу.

Залежно від масштабів матеріальних втрат, пожежі умовно поділяють на три класи:

особливо значні – прямі збитки становлять понад 10 000 розмірів мінімальної заробітної плати;

значні – втрати оцінюються в межах від 1 000 до 10 000 мінімальних заробітних плат;

інші – економічні збитки не перевищують 1 000 мінімальних заробітних плат.

Уражаючі фактори пожежі. У ході пожежі на людину може діяти комплекс небезпечних чинників фізичної, хімічної та психологічної природи, серед яких:

1. Токсичні продукти горіння. При термічному розкладанні та згоранні полімерних матеріалів утворюються високотоксичні гази: синильна кислота – при горінні пінополіуретану та капрону; хлористий водень і оксид вуглецю – при горінні пінопластів і ПВХ; сірчисті гази та сірководень – при згоранні лінолеуму тощо. Їх наявність часто є основною причиною смертності на пожежах.

2. Високі температури та відкрите полум'я. Теплове випромінювання полум'я викликає тяжкі опіки шкіри і слизових оболонок, а вдихання перегрітого повітря – набряк та опіки дихальних шляхів. Температура полум'я може досягати 1200–1400°C. Безпечна відстань від осередку горіння орієнтовно визначається залежністю:

$$R = 1,6H,$$

де H – середня висота полум'я (м).

3. Дим і знижена видимість. Дим – це аерозоль дрібнодисперсних частинок і продуктів конденсації газів, які подразнюють дихальні органи, очі та спричиняють задуху. Погіршення оглядовості значно ускладнює або робить неможливою евакуацію людей.

4. Дефіцит кисню. Нормальний вміст кисню у повітрі – близько 21 %. Порушення газового складу спричиняє:

при 14 % – зниження координації рухів, запаморочення;

при 9–11 % – втрата свідомості й смертельний ризик через декілька хвилин.

5. Вибухові явища та витік небезпечних речовин. Утворення вибухової хвилі веде до руйнування конструкцій, травмування людей, а також сприяє розростанню осередків горіння.

6. Руйнування будівельних конструкцій. Висока температура або вибух спричиняють втрату несучої здатності елементів будівель, що може призвести до їх обвалення та травмування людей.

7. Психофізіологічні фактори. Стрес, паніка та дезорієнтація значно підвищують ризики загибелі та травм під час пожежі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи досягнуто усі поставлені на етапі формування завдання цілі, а саме:

Проведено глибокий аналіз конструкції валу шестерні головної передачі заднього моста та умов його експлуатації, встановлено основні причини і характер зношування.

Розроблено технологію відновлення деталі, що забезпечує відновлення геометричної точності та підвищення експлуатаційного ресурсу за рахунок раціонального вибору методу наплавлення й механічної обробки.

Сформовано технологічний маршрут із чітко визначеними операційними параметрами, підібрано сучасне обладнання та оснащення для його реалізації.

Проведені конструкторські розрахунки підтвердили міцність та працездатність елементів головної передачі та диференціала після відновлення.

Дослідження втрат крутного моменту та температури стабілізації показали підвищення ефективності роботи диференціала, що позитивно впливає на тягово-динамічні показники автомобіля.

Запропоновані заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях забезпечують відповідність нормативним вимогам і зниження виробничих ризиків.

Запропонований технологічний процес і виконані розрахунки доводять технічну й економічну доцільність відновлення валу шестерні замість його заміни. Практична реалізація розробок дозволить зменшити витрати на ремонт та підвищити надійність трансмісійних вузлів автомобіля.

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. 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.
5. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. – 8-те вид. - К.: Либідь, 2018. – 400 с.
6. Кисликов В.Ф. Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів. – К.: Либідь, 2016. – 400 с. 5. Ю.А.
7. 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.
8. 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.
9. Патент України №107936UA, Фролов Я.В. (UA), Макеев С.Ю. (UA), Макеев Г.С. (UA), / Спосіб зниження залишкових напружень зварних з'єднаннях сталевих труб.

10. Патент України №23159 UA, Ситнік В.В. (UA), / Універсальний двоканалний тиристорно-інверторний випрямляч для імпульсно-дугового зварювання.
11. Патент України №50290UA, Васильєв В.С. (UA)/ Головка для вібродугової наплавки.
12. Патент України №80201UA, Сімутєнков І.В. (UA), Ярос Ю.О. (UA), Галь А.Ф. (UA), Драган С.В. (UA), / Спосіб дугового наплавлення постійним струмом плавким електродом під флюсом.
13. Патент України №11807UA, Дмитрієв В.Д., Жаков Є.В., Глвзов В.В., Глазов М.В. / Пістолет для ручного вібродугового зварювання.
14. Патент України №20393UA, Савченко А.М. (UA), / Пістолет для ручного вібродугового зварювання.
15. Основи технології машинобудування: навч. посібник / В. О. Богуслаєв, В. І. Ципак, В. К. Яценко. – Запоріжжя: Мотор СІЧ, 2003. – 336 с.
16. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці: Навчальний посібник/ Н. С. Равська, П. Р. Родін, Т. П. Ніколаєнко, П. П. Мельничук., 2000.– 332с.
17. Опис автомобіля MAN TGA 33.430 (технічні характеристики)/ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://autoline.ro/-/camioane/MAN/TGA-33-430--c2tm2665m36434>
18. Опис автомобіля MAN TGA 33.430 / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://techtruck.ru/man-tgs33-430-6x6-bbs-wwsedelnyj-tjagach>
19. Опис автомобіля DAF XF106/ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://autoline.ro/-/cap-tractoare/DAF/XF-106--c42tm2525m26570>
20. Опис автомобіля DAF XF106/ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dezmembraricamioaneoradea.ro/daf/1543-cabina-daf-xf106-euro6-spacecab.html>
21. Практикум з охорони праці. Навчальний посібник / За ред.. В.Ц. Жидецького. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.
22. Стручок В.С. Техноекоекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»: навчальний посібник / В.С. Стручок.– Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. – 156 с.

23. 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.

24. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.

25. 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.