

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра інжинірингу технічних систем

**П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр"

на тему:

**ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ  
ВІДНОВЛЕННЯ ПОСАДОЧНИХ МІСЦЬ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ ПІД  
ПІДШИПНИКИ КОЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ АНАЕРОБНИХ  
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МґАІ-4-24  
за спеціальністю 208 "Аґроінженерія"

\_\_\_\_\_Тихоненко Вадим Олександрович

**Керівник:** \_\_\_\_\_Васильєв Дмитро Леонідович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2025

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра: Інжинірингу технічних систем

Освітній ступінь: "Магістр"

Спеціальність: 208 "Агроінженерія"

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

**ІТС**

(позва кафедри)

**К.Т.Н. ДОЦЕНТ**

(вчене звання)

\_\_\_\_\_ Дудін В.Ю. \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище, ініціал)  
 "\_\_\_\_\_" "\_\_\_\_\_" 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я**

**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Тихоненку Вадиму Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування технологічних параметрів процесу відновлення посадочних місць корпусних деталей під підшипники кочення з використанням апасеробних композиційних матеріалів

керівник роботи д.т.н. доц., Васильєв Д.Л.

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

затвержені наказом вищого навчального закладу від 24.10.2025 року  
 № 3182

2. Строк подання студентом роботи до 1.12.2025

3. Вихідні дані до роботи Існуючі методи відновлення корпусних деталей. Вузли тертя та ступіні їх зносу (Підшипникові вузли). Показники стану охорони праці. Техніко-економічні показники роботи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стап питання та задачі досліджень. 2. Теоретичні передумови підвищення довговічності підшипникових вузлів, відновлених металополімерною композицією 3. Програма та методика експериментального дослідження 4. Охорона праці та забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях 5. Техніко-економічні показники роботи. Загальні висновки та пропозиції. Список літератури. Додатки



## РЕФЕРАТ

Тихоненко, В. О. (2025). *Обґрунтування технологічних параметрів процесу відновлення посадочних місць корпусних деталей під підшипники кочення з використанням анаеробних композиційних матеріалів*: пояснювальна записка до дипломної роботи магістра / В. О. Тихоненко/ – Дніпро : ДДАЕУ, 2025. – 93 с.

У магістерській роботі досліджено процес відновлення посадкових місць корпусних деталей під підшипники кочення із застосуванням анаеробних металополімерних композицій. Проаналізовано умови роботи корпусних деталей, основні причини зношування та механізм фретинг-корозії, що призводять до порушення геометрії отворів і зменшення ресурсу підшипникових вузлів. Показано недоліки традиційних способів відновлення, пов'язані з тепловими деформаціями та недостатньою точністю.

Обґрунтовано ефективність анаеробних композицій як бездеформаційного методу ремонту, що забезпечує високу адгезію, стабільність контакту та підвищений опір мікропереміщенням. Розроблено технологічну схему відновлення, визначено параметри підготовки поверхні й полімеризації. Теоретичний аналіз напружень у зоні контакту підтверджує можливість запобігання провертання зовнішнього кільця підшипника. Експериментальні дані свідчать про збільшення ресурсу вузла у 2–2,5 рази та економічну доцільність упровадження технології в ремонтне виробництво.

**Ключові слова:** корпусні деталі, підшипниковий вузол, посадкове місце, фретинг-корозія, анаеробні композиції, металополімер, відновлення, довговічність, ремонт технологічних поверхонь.

**ЗМІСТ**

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	10
1.1. Особливості умов експлуатації корпусних деталей сільськогосподарської техніки .....	10
1.2. Причини та механізм зносу поверхонь отворів під підшипники в корпусних деталях .....	18
1.3. Аналіз існуючих способів відновлення сполучень опор корпусних деталей з підшипниками кочення .....	23
1.4. Висновки та задачі досліджень.....	28
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ПІДШИПНИКОВИХ ВУЗЛІВ, ВІДНОВЛЕНИХ МЕТАЛОПОЛІМЕРНОЮ КОМПОЗИЦІЄЮ .....	30
2.1. Аналіз зусиль, що діють в підшипникових опорах .....	30
2.2. Технологічна послідовність ремонтно-відновлювальних операцій по відновленню посадочних поверхонь за допомогою металополімерів .....	33
2.3. Проектування технологічної послідовності відновлення корпусної деталі .....	36
2.3.1. Характеристика деталі .....	36
2.3.2. Обґрунтування оптимального способу відновлення деталі .....	39
2.3.3. Формування плану операцій по відновленню .....	42
2.3.4. Обґрунтування режимних параметрів процесу відновлення та розрахунок трудомісткості операцій .....	43
2.3.5. Розрахунок норми часу нанесення металополімеру .....	54
2.4. Висновок .....	57
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ .....	58
3.1. Матеріали та обладнання для металополімерного відновлення .....	58
3.1.1. Вибір металополімерної композиції.....	58
3.1.2. Обладнання для металополімерного відновлення.....	61

	6
3.2. Методика дослідження радіального та осьового зазорів у підшипнику з металополімерним покриттям, запресованого в корпусну деталь .....	63
3.3. Математична обробка результатів експерименту .....	67
3.4. Результати досліджень з визначення оптимальних концентрацій наповнювачів металополімерних композицій .....	71
3.5. Технологічний процес відновлення посадкових місць корпусних деталей металополімером .....	74
3.6. Висновок .....	75
<b>РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....</b>	<b>77</b>
4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при відновленні корпусних деталей .....	77
4.2. Заходи з охорони праці та безпеки під час роботи з металополімерними композиціями .....	78
4.3. Розрахунок освітлення та заходи щодо нормалізації виробничого середовища .....	79
4.4. Висновки до розділу 4.....	80
<b>РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ .....</b>	<b>81</b>
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>88</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА .....</b>	<b>90</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>93</b>

## ВСТУП

В умовах сучасного аграрного виробництва більшість енергоємних і трудомістких технологічних операцій виконується за допомогою складних за своєю конструкцією самохідних машин. Однак у зв'язку зі складною фінансово-економічною ситуацією в нашій країні кращим з точки зору економії коштів на підтримку машинно-тракторного парку в працездатному стані є відновлення зношених поверхонь деталей [1].

Однією з основних базових деталей будь-якого складного механізму, що поєднує в собі його окремі деталі та складальні одиниці в строго фіксованому просторовому положенні, є корпус. Слід зазначити, що відновлення базових, корпусних деталей економічно вигідне, оскільки часто рентабельність відновлення перевищує в 20-25 % [2, 3].

За наявними аналітичними оцінками, трактори сімейства ХТЗ (серій Т-150, ХТЗ-170, ХТЗ-240 та інші модифікації) становлять орієнтовно 15–18 % машинно-тракторного парку Дніпропетровської області. Це зумовлено тим, що техніка Харківського тракторного заводу традиційно використовується у середніх і малих сільськогосподарських підприємствах завдяки доступнішій вартості, простоті конструкції та можливості виконання більшості ремонтних операцій власними силами. Разом з тим для тракторів ХТЗ характерні певні експлуатаційні проблеми, зокрема підвищене зношування окремих вузлів і недостатня надійність порівняно з сучасними імпортними моделями, що обумовлює збільшення потреби в регламентному та відновлювальному ремонті.

У низці малих фермерських господарств єдиною машинною одиницею залишається саме трактор марки ХТЗ, і придбання нової техніки є економічно складним. Тому питання підтримання працездатності та продовження ресурсу наявних тракторів ХТЗ — включаючи ремонт корпусних деталей та відновлення посадочних місць під підшипники — є актуальним та практично значущим для регіону.

Дослідження експлуатаційної довговічності трансмісійних агрегатів енергонасичених тракторів сімейства ХТЗ свідчать про їх обмежений ресурс,

особливо після проведення капітального ремонту. Термін служби відновлених вузлів зазвичай не перевищує 50 % ресурсу нових виробів [4, 5]. Одним із ключових чинників зниження довговічності трансмісійних агрегатів, зокрема КЗП, є передчасне пошкодження сполучень опор корпусних деталей із підшипниками кочення або підшипниковими стаканами [6, 7]. Такі дефекти призводять не лише до зміни номінальних розмірів посадкових отворів, а й до порушення взаємної орієнтації їх осей відносно установчих баз та один одного. Тому під час відновлення посадочних з'єднань корпусних деталей із підшипниками необхідно забезпечити не тільки відновлення геометричних параметрів отворів, але й точне дотримання просторового положення їх осей відповідно до вимог технологічної документації.

В даний час в ремонтній промисловості в основному застосовуються способи відновлення з'єднань опор корпусів з підшипниками кочення, пов'язані в більшості випадків зі значними термічними впливами на деталь, що призводить до значного її викривлення і порушення точності геометричних параметрів посадочних отворів. Крім того, в процесі експлуатації не забезпечується міцність відновлених з'єднань у зв'язку з тим, що не усувається провідний вид зносу - фреттинг-корозія.

На сучасному етапі розвитку техніки та технологій одним із ключових завдань ремонтного виробництва є створення й впровадження нових матеріалів та технологічних рішень для відновлення сполучень опор корпусних деталей із підшипниками кочення. Найбільш перспективними вважаються методи, що передбачають використання полімерних та наноструктурованих матеріалів [8, 9, 10].

Особливу увагу привертають високоміцні анаеробні клеї та герметики швидкого твердіння, а також композиції, розроблені на їх основі. Вони характеризуються підвищеними фізико-механічними показниками та значною міцністю, що дає змогу ефективно пригнічувати процеси, які призводять до передчасного руйнування посадкових сполучень корпусних деталей із підшипниками кочення.

**Мета магістерської роботи** - підвищення довговічності корпусних деталей сільськогосподарської техніки шляхом застосування анаеробних композиційних матеріалів при відновленні з'єднань опор корпусів з підшипниками кочення.

**Об'єктом дослідження** є технологічний процес відновлення нерухомих циліндричних з'єднань в корпусних деталях агрегатів сільськогосподарської техніки.

**Предметом дослідження** є склади металополімерних композицій на основі метакрилового герметика з додаванням нанорозмірних порошків (НРП) металів та їх сплавів, фізико-механічні властивості отриманих металополімерних композицій.

**Апробація роботи.** Тихоненко В.О. (2025). *Обґрунтування параметрів технології нанесення металополімерних покриттів для відновлення корпусних деталей сільськогосподарських машин.* Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Інжиніринг технологій і технічних систем агропромислового комплексу» (21 листопада 2025 року), ДДАЕУ, Дніпро, с. 122–124.

## РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1. Особливості умов експлуатації корпусних деталей сільськогосподарської техніки

Корпусні деталі є базовими елементами більшості агрегатів та механізмів сільськогосподарської техніки. Вони забезпечують фіксоване взаємне розташування вузлів, передавання навантаження, підтримання геометричної точності та стабільності роботи системи протягом усього ресурсу агрегата. Конструктивно корпусні деталі мають складну просторову форму, поєднують у собі численні внутрішні та зовнішні поверхні, посадочні отвори, канали змащення, ребра жорсткості та інші елементи, від точності яких залежить робота трансмісій, редукторів, коробок передач, гідросистем і двигунів.

Під час експлуатації на корпусні деталі діє комплекс силових, температурних і динамічних навантажень. Вони працюють у широкому діапазоні зовнішніх факторів: підвищена запиленість, значні перепади температур, дія вологи, агресивних середовищ, механічні удари та вібрації. У польових умовах сільськогосподарська техніка зазнає нерівномірних навантажень, зумовлених зміною структури ґрунту, швидкими переходами між режимами роботи, буксуванням ходової частини та різкими змінами крутного моменту. Усе це зумовлює прискорені деформації базових поверхонь і посадочних отворів корпусних деталей.

До основних експлуатаційних чинників, що впливають на стан корпусних деталей, належать ударні навантаження, вібрації, циклічні зміни силових потоків та наявність технологічних зазорів у сполученнях. При тривалій роботі під дією цих факторів змінюються лінійні та кутові розміри, зростають посадочні зазори, порушується співвісність отворів, що є критичним для підшипникових опор і передач. Особливо чутливими є вузли трансмісії, де корпусні деталі сприймають значні радіальні та осьові навантаження, а навіть незначне відхилення від номінальної геометрії призводить до зниження ресурсу підшипників, підвищення вібрацій і прискореного зношування шестерень.

Умови роботи в сільському господарстві характеризуються високою циклічністю навантажень. Під час роботи тракторів і ґрунтообробних машин корпусні деталі піддаються багатократним чергуванням навантаження та розвантаження, що спричиняє втому матеріалу й появу мікротріщин. Висока концентрація вологи та абразивних частинок ґрунту прискорює корозійні процеси, особливо в місцях контакту зовнішніх кілець підшипників із корпусами. Утворення фреттинг-корозії — типового явища для посадочних отворів підшипників — спричиняє їх розбивання, збільшення зазорів і втрату точності посадок.

Окрему групу експлуатаційних проблем створюють температурні фактори. Під час роботи коробок передач і редукторів температура мастила часто перевищує 90–110 °С, що викликає теплове розширення корпусних елементів і зміни геометрії отворів. Перегрів та охолодження також призводять до релаксації внутрішніх напружень у матеріалі корпусних деталей, що з часом проявляється як повзучість або додаткова деформація.

Стан корпусних деталей, особливо їх базових поверхонь, багато в чому визначає довговічність і безвідмовність роботи окремих агрегатів і машини в цілому [2]. За даними літературних джерел [2, 14], розподіл відмов агрегатів і систем тракторів представлено в табл. 1.1 та на рис 1.1.

Таблиця 1.1 - Розподіл відмов по агрегатах і системах тракторів

Агрегати та системи	Відмови, % для гусеничних тракторів	Відмови, % для колісних тракторів
Двигун	42–47	37–42
Трансмсія	16–20	10–18
Ходова частина	15–25	10–15
Система керування	3–8	3–8
Система навісного обладнання	7–11	10–14
Несуча система і кабіна	2–4	6–12
Електрообладнання та прилади	3–5	9–17

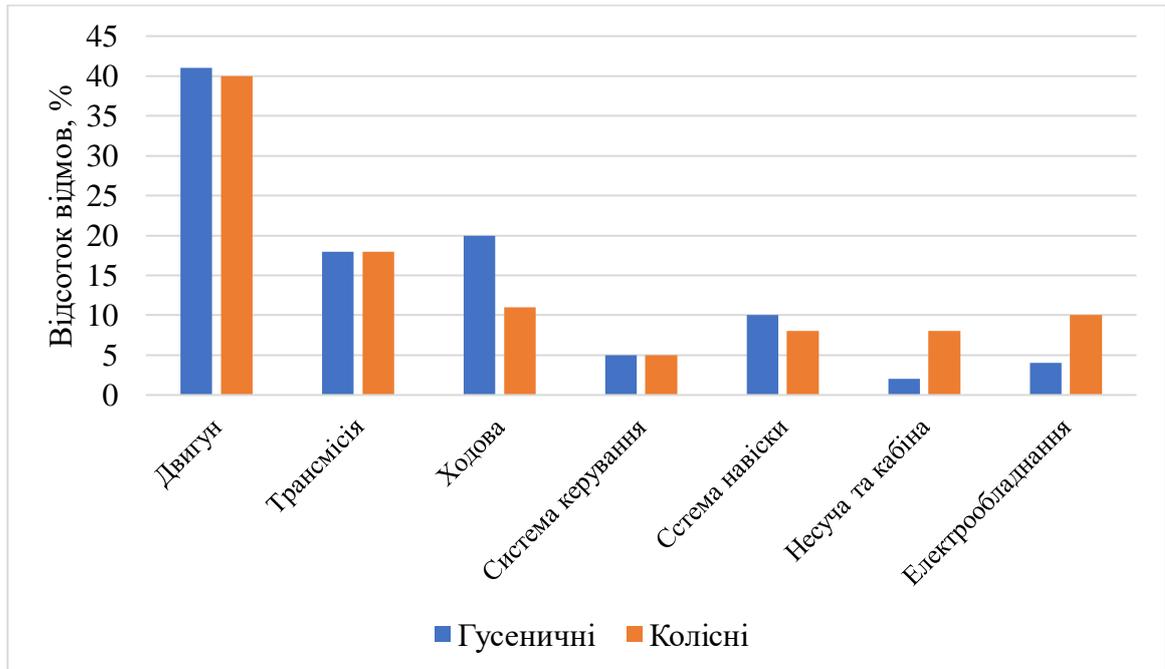


Рисунок 1.1 - Розподіл відмов по агрегатах і системах тракторів

Як видно з рис. 1.1 на трансмісію припадає близько 18% всіх відмов машини. Нижче наведено данні по відмовам агрегатів, що входять до трансмісії (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 - Розподіл відмов вузлів трансмісії тракторів

№	Вузол трансмісії	Частка від загальної кількості відмов трансмісії, %	Основні причини виходу з ладу
1	Коробка передач (КП)	32–35	Зношування шестерень, підшипників, руйнування посадкових місць корпусних деталей, порушення співвісності
2	Карданна передача	15–18	Зношування хрестовин, підшипників, дисбаланс, вібрації
3	Головна передача та диференціал	14–17	Зношення зубчастих коліс, перегрів, недостатнє мастило

4	Ведучі мости	10–12	Руйнування підшипникових вузлів, тріщини корпусів
5	Муфти зчеплення	8–10	Зношення фрикційних накладок, деформації кошика
6	Привід ВВП (вал відбору потужності)	5–7	Зношування шліців, підшипникові відмови
7	Приводи допоміжних агрегатів (насоси, редуктори)	5–6	Руйнування підшипників, перегрів, порушення посадок

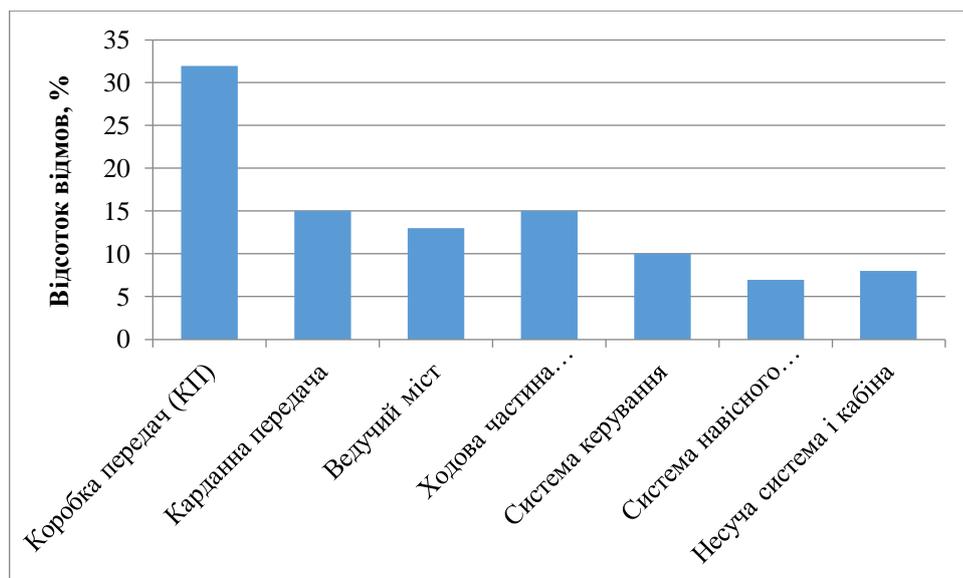


Рисунок 1.2 - Розподіл відмов вузлів трансмісії тракторів

Так при збільшенні зносу посадкового отвору на 0,05 мм навантаження на зубчасте зачеплення зростає на 25 %, а ресурс вузла зменшується у 2–3 рази.

Це дозволяє виділити окрему групу відмов трансмісії, безпосередньо спричинених руйнуванням або зношенням посадкових місць корпусних деталей.

Дослідження показують, що значна частка, а саме від 50% до 80%, корпусних елементів тракторів, автомобілів та іншої сільськогосподарської техніки вимагає відновлення зон посадки підшипників. Цей дефект є прямою причиною відмов приблизно 22% підшипників згідно з джерелами [11, 12, 13].

Крім того, зношування посадочних поверхонь критично впливає на геометрію механізмів. Це спричиняє порушення таких параметрів, як міжцентрові відстані валів, їхня паралельність та співвісність монтажних отворів. Як наслідок, відбувається прискорене спрацювання підшипників, шестерень та валів. Додатковими негативними ефектами є зростання рівня шуму, мимовільне вимкнення передач і збільшення споживання енергії через зростання опору від тертя.

Таблиця 1.3 - Частка відмов, пов'язаних із посадковими місцями в корпусних деталях трансмісії

Вузол	Частка відмов, пов'язаних із посадковими місцями, %	Характерні дефекти
Коробка передач	18–22	Знос отворів під підшипники, фреттинг-корозія, порушення співвісності
Карданна передача	6–9	Вибивання посадок хрестовин, деформації вушок
Ведучий міст	5–8	Зношені гнізда підшипників, тріщини в картері
Редуктори навісного обладнання	3–5	Знос корпусів, порушення міжосьових відстаней
Привід ВВП	2–3	Зношування отворів під підшипники, зміщення осей
Усього	≈ 35–45 %	—

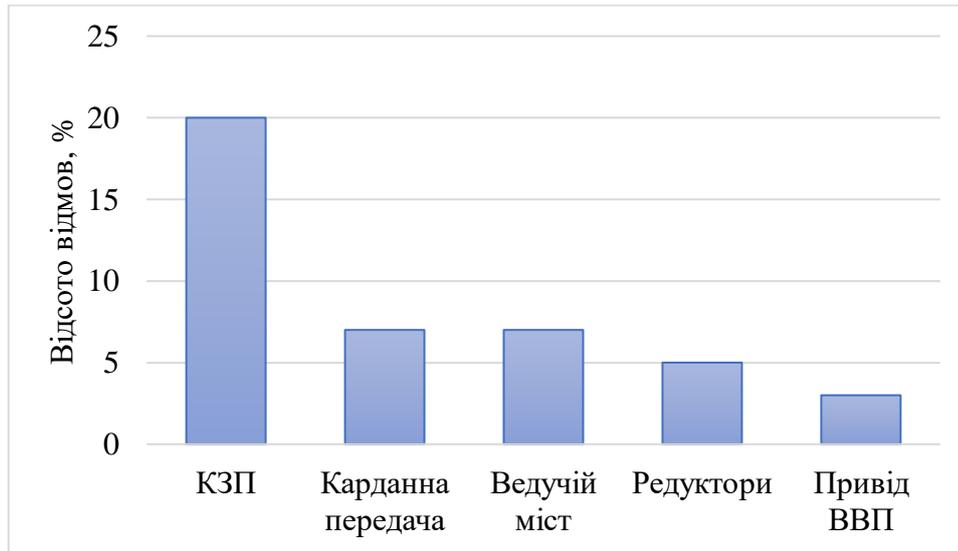


Рисунок 1.3 - Частка відмов, пов'язаних із посадковими місцями в корпусних деталях трансмісії

Спрацювання поверхонь, на яких встановлюються підшипники кочення, є одним із найпоширеніших та найбільш критичних дефектів корпусних деталей у трансмісійних агрегатах тракторів, автомобілів і комбайнів, що працюють у сфері сільського господарства. У більшості випадків величина зношування становить 0,2–0,7 мм, хоча для окремих місць вона може сягати 1,5–2 мм [2].

Відомо, що перекіс валів суттєво збільшує навантаження на поверхні зубчастого зачеплення: при відхиленні в  $34'$  напруження зростає приблизно на 18%, а при перекосі  $3^{\circ}22'$  — уже на 75%. Якщо осі зміщені на 0,2 мм, навантаження на зуб підвищується до 128%. Навіть незначне зношування отвору під підшипник на 0,05 мм спричиняє збільшення сили на зубчастому зачепленні на 25% і пришвидшує втрату ресурсу у декілька разів.

Унаслідок спрацювання порушуються геометричні параметри отворів: формується овальність або конусність. Для сільськогосподарських машин характерні такі величини дефектів: овальність — у межах 0,02–0,1 мм, конусність — 0,01–0,05 мм. Навіть якщо конусність знаходиться в допустимих межах виготовлення, ресурс кулькових підшипників зменшується приблизно на 27%, а овальність такої ж величини — на 18%.

Додаткові динамічні фактори — перекіс валів, нерівномірний крутний момент, зростання ударних навантажень і вібрацій — погіршують умови роботи

підшипників. Збільшення сил тертя викликає підвищення температури в підшипникових опорах, що у 5–7 разів скорочує строк їхньої служби. За загальним законом, зростання навантаження в  $n$  разів зменшує довговічність підшипникового вузла приблизно в  $n^3$  разів.

Суттєвий вплив на ресурс має й характер посадки підшипника в отворі. Наприклад, посадка підшипника 307 із зазором 0,1 мм зменшує тривалість його роботи у півтора раза, а при зазорі 0,2 мм — удвічі порівняно з посадкою без зазору. Для підшипника 208 збільшення зазору до 0,095 мм знижує довговічність у 1,4 раза, а до 0,139 мм — у 1,8 раза.

Інтенсивність спрацювання посадочних поверхонь залежить і від стану самого підшипника. Збільшений радіальний зазор уповільнює стабільність його роботи, спричиняє зростання амплітуди переміщень рухомого кільця та появу ударних контактів між кільцем і тілами кочення. У таких умовах необхідно збільшувати натяг посадки підшипника як на валу, так і в отворі корпусної деталі, щоб забезпечити нормальний режим роботи вузла.

Корпусні деталі тракторів, автомобілів, комбайнів та іншої сільськогосподарської техніки працюють у складних умовах навантаження, що спричиняє появу різноманітних дефектів (рис. 1.4). Ці дефекти умовно поділяють на кілька основних груп залежно від природи їх виникнення, характеру пошкодження та впливу на працездатність агрегатів.

Особливістю експлуатації є також те, що значна частина тракторів у сільському господарстві експлуатується у високонавантажених режимах, часто з перевищенням номінальних тягових характеристик. У багатьох фермерських господарствах одна машина виконує безліч операцій — від оранки до транспортування вантажів, що збільшує частоту навантажувальних циклів і пришвидшує деградацію посадочних поверхонь корпусів.

Зношення посадочних місць у корпусних деталях спричиняє зростання радіальних зазорів, порушення кінематичної точності та виникнення додаткових ударних навантажень. Надалі це призводить до зміщення осей валів, перекосу шестерень, перегрівання підшипників і виникнення аварійних відмов. У разі

прогресуючого зносу відбувається руйнування підшипникових стаканів, зміна положення деталей у корпусі та втрата працездатності агрегата.

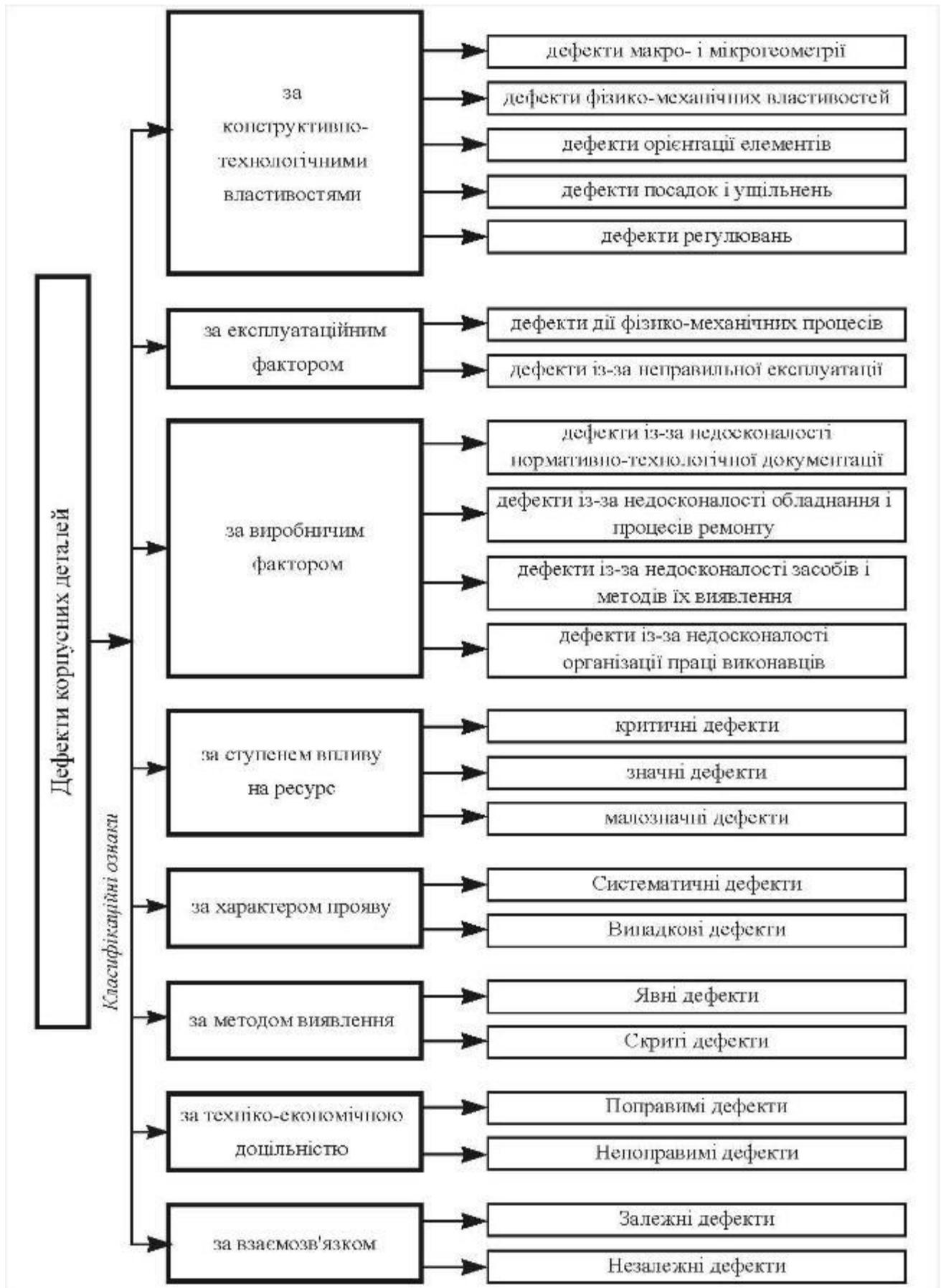


Рисунок 1.4 – Групування типових дефектів корпусних елементів

Деформування корпусних деталей виникає під впливом залишкових напружень, які характеризуються складною та нерівномірною структурою розподілу. Навіть після проведення штучного чи природного старіння повністю усунути такі напруження неможливо. Унаслідок їх дії в уже оброблених корпусних елементах відбуваються зміни геометрії: з'являється жолоблення поверхонь, спотворюється форма посадкових отворів, змінюються міжосьові відстані, порушується паралельність і перпендикулярність осей та базових площин.

Систематизація можливих дефектів дає змогу визначити ключові чинники, що впливають на експлуатаційну надійність корпусних деталей, їхніх складальних вузлів, а також працездатність машини загалом.

Таким чином, корпусні деталі сільськогосподарської техніки працюють у складних експлуатаційних умовах, де поєднуються силові, динамічні, температурні та корозійно-абразивні фактори. Їхній стан визначає ресурс, надійність і економічну ефективність роботи техніки. Саме тому питання своєчасного відновлення корпусних деталей і забезпечення точності їх посадочних поверхонь є одним із ключових напрямів підвищення довговічності машин та зниження витрат на ремонт.

## **1.2. Причини та механізм зносу поверхонь отворів під підшипники в корпусних деталях**

Поверхні отворів під підшипники у корпусних деталях зазнають складного комплексу навантажень, що у процесі експлуатації призводить до їх інтенсивного зношування [7]. У численних дослідженнях встановлено, що основними чинниками, які спричиняють вихід із ладу таких поверхонь, є мікропереміщення зовнішнього кільця підшипника в посадковій зоні та процеси фретинг-корозії, які розвиваються на контакті двох номінально нерухомих поверхонь [15].

У типовому підшипниковому вузлі сільськогосподарських машин зовнішнє кільце працює в умовах місцевого, циркуляційного або коливального

навантаження. За наявності зазорів у посадці кільце здійснює мікроповороти відносно корпусу, що супроводжується локальними напруженнями та мікросковзанням. Амплітуда таких переміщень невелика, однак їхня циклічність та дія радіальних сил призводять до руйнування оксидної плівки й формування перших продуктів фретинг-корозії [16].

Розвиток фретинг-корозійного руйнування умовно поділяють на три стадії. На початковій стадії відбувається руйнування поверхневого шару металу внаслідок багаторазових мікропереміщень та локальної пластичної деформації. Далі у зоні контакту накопичуються продукти окиснення (оксиди заліза різних валентних станів), утворюється специфічне корозійно-активне середовище. На завершальній стадії відбувається інтенсивне відшаровування ослаблених ділянок, переходячи до абразивного зношування та значного збільшення зазорів у сполученні [2].

Окрім мікропереміщень, значний вплив має зміна геометрії отвору. Порушення круглості, овальність і конусність призводять до перекосу підшипника, нерівномірного розподілу навантажень і перевантаження окремих ділянок доріжок кочення. Дослідження показують, що овальність у межах 0,02–0,10 мм може знижувати ресурс кулкових підшипників на 15–20 %, а зміщення осей та непаралельність у десятки мікрон спричинюють різке зростання контактних напружень [16].

Суттєвим фактором деградації є також збільшення радіального зазору самого підшипника. Розширення зазору спричиняє підвищення амплітуди коливань зовнішнього кільця та появу ударних навантажень між кільцем і тілами кочення. Це, у свою чергу, потребує більшого натягу у посадці для забезпечення стабільності положення кільця, а при недостатньому натягу різко прискорюється зношування посадкової поверхні корпусу [16, 17].

Загалом механізм зношування поверхонь отворів корпусних деталей під підшипники можна представити як комбінацію таких процесів (рис. 1.5):



Рисунок 1.5 – Механізм зносу отворів під підшипники

- мікропереміщення та мікросковзання, викликані наявністю монтажних зазорів;
- фретинг-корозія, що призводить до локального руйнування поверхневого шару;
- порушення геометрії посадкових отворів під дією експлуатаційних навантажень;
- динамічні та вібраційні навантаження, які прискорюють руйнування;
- внутрішні залишкові напруження корпусних деталей, що змінюють форму отворів у процесі служби;
- зміна стану підшипникового вузла (збільшення радіального зазору, дефекти доріжок кочення тощо).

Комплексний вплив перелічених чинників обумовлює інтенсивний розвиток дефектів посадкових поверхонь, що суттєво знижує працездатність підшипникових вузлів і ресурс трансмісійних агрегатів сільськогосподарської техніки.

Підшипники, що застосовуються в сільськогосподарському машинобудуванні, зазвичай мають нульовий клас точності, а їх зовнішні кільця,

залежно від конструкції підшипникового вузла, зазнають місцевих, циркуляційних і коливальних видів навантажень (рис. 1.6).

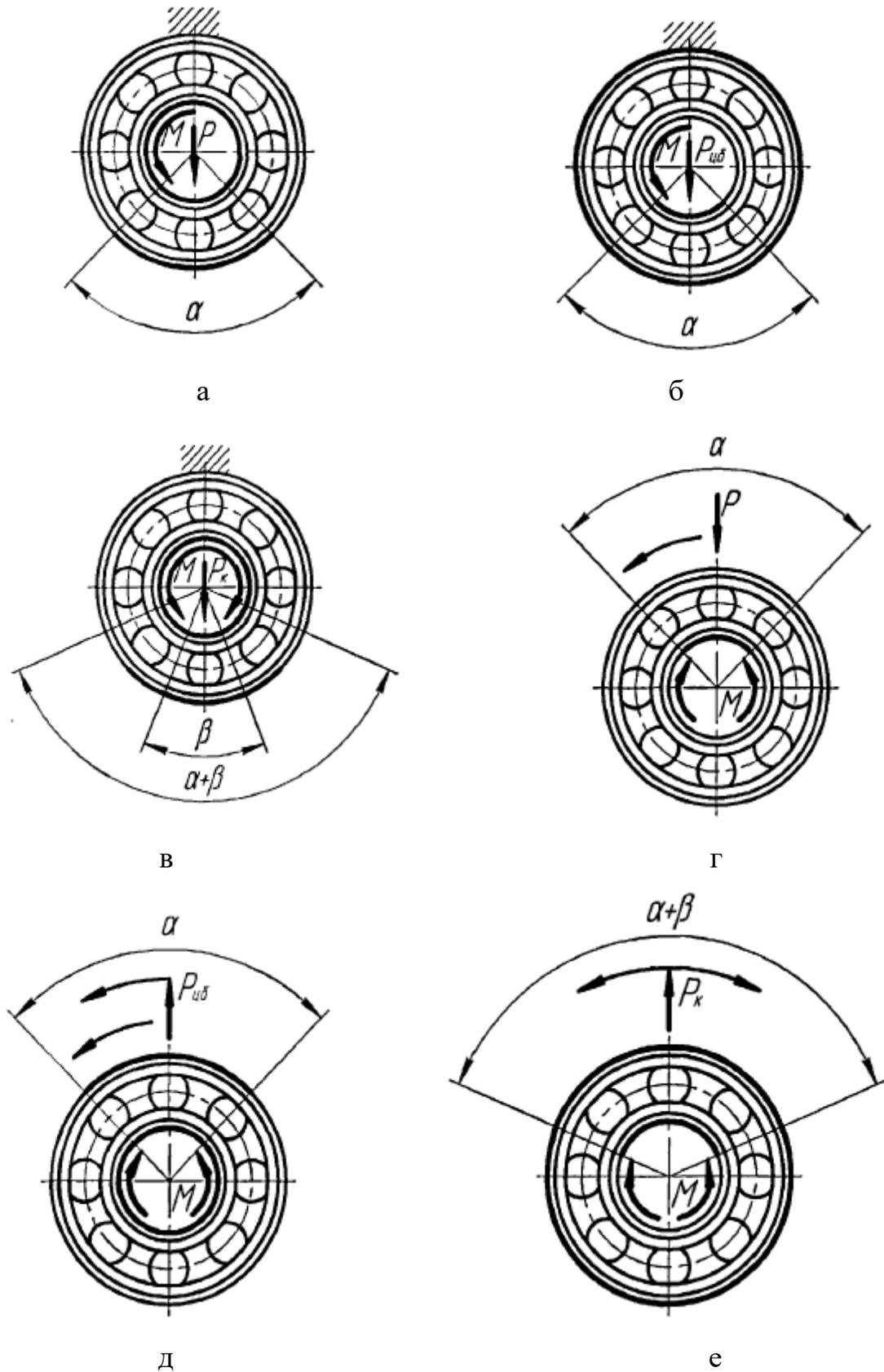


Рисунок 1.6 - Види навантаження кілець підшипників кочення:  
 $\alpha$  - активний кут сприйняття навантаження,  $\beta$  - кутова амплітуда

Переважає більшість підшипників сільськогосподарського призначення відчують місцевий вид навантаження, тому в силу технологічних складнощів підшипникові вузли, як правило, виготовляють з посадкою з зазором.

Місцево навантажені кільця підшипників в процесі експлуатації зазнають навантаження від сил тертя, що виникають всередині підшипника, і постійно діючої радіальної сили. При цьому має місце постійний поворот зовнішнього кільця підшипника на деякий кут. Кути повороту досить малі за своїми абсолютними величинами і обертання зовнішнього кільця характеризується мікропереміщеннями. Дослідженнями багатьох авторів показано залежності кутів мікропереміщень від величин зазорів у сполученні підшипник – корпус і випробуваних навантажень, а також експериментально і теоретично доведено можливість і виявлено причини прокручування зовнішнього кільця у бік, протилежний обертання внутрішнього кільця [6].

Характер макропереміщень наступний: номінальна нерухомість зовнішнього кільця і обертання внутрішнього (див. рис. 1.6, а, б, в) або нерухомість внутрішнього і обертання зовнішнього кільця (див. рис. 1.6, г, д, е). У першому випадку можливі три основні варіанти: вал навантажений силою  $P$  постійного напрямку, а зовнішнє кільце на активному куті сприйняття навантаження відчуває місцеве навантаження (див. рис. 1.6, а); вал навантажений відцентровою силою  $P_{цб}$ , при цьому зовнішнє кільце відчуває циркуляційне навантаження (див. рис. 1.6); вал навантажений силою  $P_k$ , що здійснює коливальні рухи з кутовою амплітудою  $\beta$ , при цьому зовнішнє кільце зазнає коливального циркуляційного навантаження з амплітудою  $a + \beta$  (див. рис. 1.6, в). Якщо конструкція вузла реалізована таким чином, що зовнішнє кільце обертається, а внутрішнє нерухоме, то в цьому випадку: зовнішнє кільце навантажене силою  $P$  постійного напрямку і зазнає циркуляційного навантаження (див. рис. 1.6, г); зовнішнє кільце навантажене відцентровою силою  $P_{цб}$  і зазнає місцевого навантаження (див. рис. 1.6, д); зовнішнє кільце навантажене силою  $P_k$ , що здійснює коливальні рухи з кутовою амплітудою  $P$  і зазнає циркуляційного навантаження, а внутрішнє зазнає коливального циркуляційного навантаження з амплітудою  $a + \beta$  (див. рис. 1.6, е).

Поряд з мікропереміщеннями зовнішнього кільця підшипника спостерігається також особливий вид зносу - фреттинг-корозія. Дослідженням процесів фреттинг-корозії присвячені багато робіт. Вперше термін «фреттинг-корозія» застосував вчений Г.А. Томлінсон. Під фреттинг-корозією розуміється вид руйнування сполучених поверхонь, номінально нерухомих і таких, що зазнають невеликих переміщень відносно одна одної з незначними амплітудами і швидкостями при високих питомих навантаженнях і тисках.

### 1.3. Аналіз існуючих способів відновлення сполучень опор корпусних деталей з підшипниками кочення

Корпусні деталі є базовими елементами агрегатів сільськогосподарської техніки, оскільки забезпечують фіксоване просторове положення валів, шестерень та підшипникових вузлів. Тому будь-які порушення геометрії або якості посадкових поверхонь істотно впливають на роботу трансмісійних механізмів. Дослідження показують, що до 80 % корпусних деталей, які надходять у ремонт, мають дефекти посадкових місць під підшипники кочення [6], що обумовлює потребу в якісному та технологічно обґрунтованому їх відновленні.

Основні групи дефектів посадкових поверхонь (рис. 1.7).

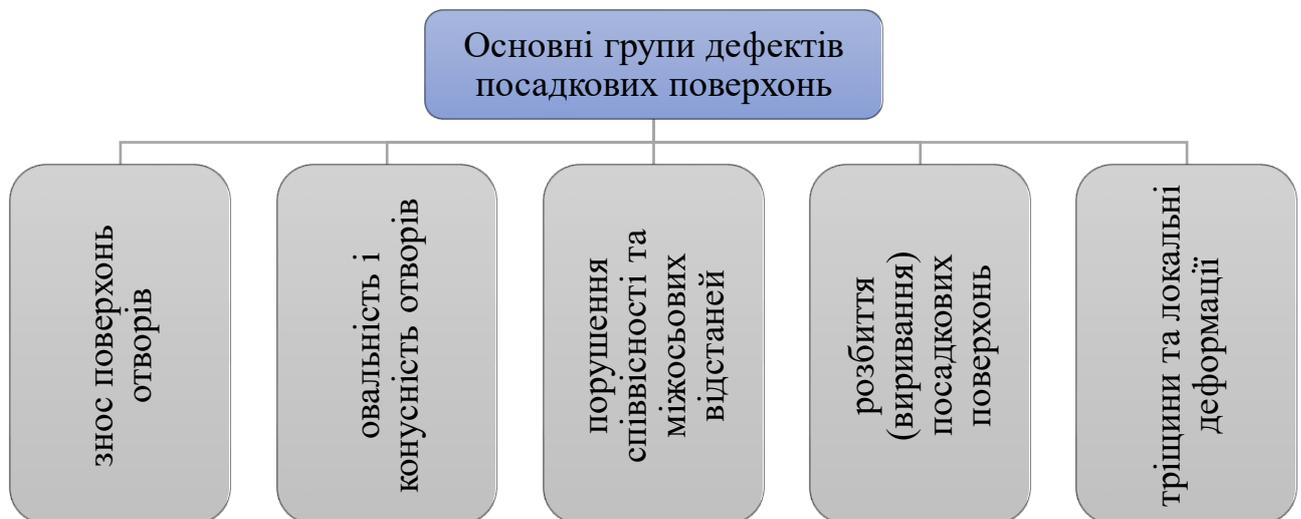


Рисунок 1.7 – Основні дефекти посадкових поверхонь

У процесі експлуатації корпусних деталей спостерігається комплекс різних пошкоджень, серед яких найпоширенішими є:

- знос поверхонь отворів, спричинений мікропереміщеннями зовнішнього кільця підшипника та фретинг-корозією;
- овальність і конусність отворів, що виникають через нерівномірний розподіл навантаження та дію залишкових напружень;
- порушення співвісності та міжосьових відстаней, що призводить до перекосу валів і підвищення навантаження на зубчасті передачі;
- тріщини та локальні деформації, спричинені ударними навантаженнями або втомним руйнуванням;
- розбиття (виривання) посадкових поверхонь, характерне для випадків надмірного радіального зазору в підшипнику.

Ці дефекти формують сукупність факторів, що різко знижують ресурс як самої корпусної деталі, так і всього агрегату, зокрема коробки передач, редукторів і головних передач.

Причини формування дефектів і вплив на працездатність вузлів (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Причини формування дефектів

Дефекти виникають через комплекс механічних, теплових і динамічних впливів. Основними чинниками є:

- перевищення контактних напружень у зоні посадки, що викликає пластичне деформування матеріалу отвору;

- фретинг-корозія, яка призводить до руйнування поверхневих шарів металу й поступового збільшення зазору [2];
- мікропереміщення зовнішнього кільця підшипника, характерні для підшипників із зазорними посадками;
- нерівномірність крутного моменту, що спричиняє циклічні навантаження на опори;
- залишкові напруження після лиття чи механічної обробки, які викликають зміну форми посадкових отворів навіть без зовнішніх навантажень.

Наслідком цих явищ є порушення геометрії посадкової поверхні, збільшення радіального та осьового биття, підвищення вібрацій і шумів, скорочення ресурсу підшипників та зубчастих передач. За даними досліджень, навіть спрацювання отвору на 0,05 мм може знизити ресурс зубчастого зачеплення у 2–3 рази.

Відновленню базових корпусних деталей та їх поверхонь отворів під підшипники, підвищенню їх довговічності та зносостійкості приділяється особлива увага. В даний час розроблено і застосовується на виробництві велика кількість способів і технологічних процесів для їх практичної реалізації [2, 3, 4, 11, 12, 13]. Найбільш поширені в сільськогосподарській ремонтній практиці такі способи, як обробка під ремонтний розмір, установка різних додаткових ремонтних деталей, ручне та механізоване газове, дугове та контактне зварювання і наплавлення, наплавлення пучком обертових електродів, нанесення електролітичних покриттів, електроіскрове нарощування та легування, електромеханічне висаджування, газотермічне електродугове, газополум'яне, плазмове, високочастотне нанесення металу, застосування полімерних та різних органічних матеріалів (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Способи відновлення

### 1. Механічні методи відновлення

- обробка під ремонтний розмір із подальшим використанням ремонтних підшипників;
- встановлення додаткових ремонтних втулок (кільцевих вставок), які запресовуються або кріпляться за допомогою стопорних елементів;
- застосування різних (свертних) втулок, які фіксуються розкатуванням або електроконтактним приварюванням [2].

Переваги: простота, можливість обробки більшості матеріалів. Недоліки: великі припуски на механічну обробку, ослаблення стінок корпусу, високі витрати часу.

### 2. Наплавні технології

Використовуються електродугові, газотермічні, плазмові та вібродугові способи. Утворюють шар металу, який потім обробляють до номінального розміру [2, 12, 13].

Переваги: висока міцність відновленої поверхні. Недоліки: значний тепловий вплив, утворення тріщин, короблення деталі, потреба у складному обладнанні.

### 3. Гальванічні методи (осталювання, хромування)

Застосовуються для локального нарощування шару металу на поверхні отвору. Можуть забезпечувати твердість покриття до 7800 МПа і високу зносостійкість [2, 12].

Переваги: мінімальний тепловий вплив, висока точність.  
Недоліки: токсичність електролітів, низька швидкість осадження, складність ізоляції поверхонь.

### 4. Полімерні та композитні технології

Використання анаеробних та металополімерних композицій — сучасний, високоефективний спосіб відновлення спрацьованих посадкових отворів. До таких матеріалів належать клеї-герметики на основі метакрилатів, композити на основі епоксидних смол з наповнювачами, наномодифіковані полімери.

Переваги:

- відсутність теплової деформації;
- можливість відновлення тонкостінних корпусних деталей;
- хороші демпфувальні властивості;
- здатність заповнювати мікронерівності та дефекти;
- висока адгезія до металів і співрозмірна з ними пружність.

Металополімерні композиції на базі анаеробних матеріалів (наприклад, «Анатерм-111») забезпечують підвищення ресурсу підшипникових опор у 2,0–2,2 рази порівняно з втулковим ремонтом.

Демонстрація сучасних методів відновлення наведено на слайді 3 презентації до роботи.

Вибір оптимального способу ремонту

Оптимальна технологія відновлення визначається:

- ступенем зносу посадкової поверхні;
- матеріалом корпусної деталі;
- вимогами до точності та жорсткості;
- умовами навантаження та змащення;
- економічними показниками.

У більшості випадків для корпусних деталей сільськогосподарської техніки доцільно використовувати малотеплові технології, зокрема полімерні та композитні системи, які забезпечують мінімальні деформації й високу точність відновлення.

#### **1.4. Висновки та задачі досліджень**

Аналіз умов експлуатації корпусних деталей сільськогосподарської техніки, причин і механізмів зношування посадкових поверхонь, а також існуючих способів їх відновлення дозволив сформулювати низку важливих висновків.

По-перше, корпусні деталі є базовими елементами агрегатів, що забезпечують точне взаємне розташування підшипників, валів і зубчастих передач. Порушення геометрії посадкових поверхонь призводить до зростання динамічних навантажень, появи додаткових перекосів і, відповідно, до інтенсивного зношування підшипників кочення та зубчастих коліс. Доведено, що навіть незначні відхилення — овальність 0,02–0,1 мм або конусність 0,01–0,05 мм — здатні зменшувати ресурс підшипникових вузлів на 18–27%. У разі збільшення зазору у посадці підшипника на 0,1–0,2 мм його довговічність знижується у 1,5–2 рази. Таким чином, відхилення геометрії корпусної деталі є однією з критичних причин зменшення ресурсу трансмісії.

По-друге, знос посадкових поверхонь часто супроводжується розвитком фретинг-корозії, яка виникає внаслідок мікропереміщень зовнішніх кілець підшипників під дією змінних навантажень. Продукти фретинг-корозії сприяють руйнуванню поверхонь, збільшенню зазору в з'єднанні та прискоренню зношування. Зростання радіального зазору підшипника, у свою чергу, підвищує амплітуду коливань і викликає ударну взаємодію елементів підшипника, що значно зменшує його ресурс.

По-третє, проведений аналіз існуючих технологій відновлення посадкових поверхонь показав, що традиційні методи — запресування ремонтних втулок, наплавлення, гальванічне відновлення — мають низку недоліків: високі теплові

деформації корпусних деталей, складність забезпечення співвідносності, необхідність значних припусків на механічну обробку та обмеження щодо матеріалів. У результаті цих факторів якість відновлення часто не забезпечує довговічність вузла на рівні нового.

Сучасні полімерні та анаеробні композиційні матеріали демонструють перспективність застосування для безтермічного відновлення посадкових поверхонь корпусних деталей. Вони дозволяють мінімізувати деформації, компенсувати зношування, забезпечити рівномірний контакт і підвищити опір фреттинг-корозії. Тому дослідження фізико-механічних властивостей таких матеріалів та розроблення технологій їх застосування є актуальним і практично значущим завданням.

На основі проведеного аналізу сформульовано задачі дослідження:

1. Проаналізувати умови експлуатації корпусних деталей та визначити основні чинники, що впливають на знос посадкових поверхонь отворів під підшипники.
2. Дослідити механізми спрацювання підшипникових опор корпусних деталей, включаючи вплив мікропереміщень кілець, фреттинг-корозії, перевантажень та порушення геометрії отворів.
3. Оцінити ефективність існуючих способів відновлення посадкових поверхонь та визначити їх обмеження щодо точності, ресурсу та технологічності.
4. Розробити технологію відновлення посадкових місць корпусних деталей за допомогою анаеробних композиційних матеріалів, обґрунтувати технологічні параметри підготовки та нанесення матеріалу.
5. Провести експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей відновлених посадкових поверхонь і оцінити їх вплив на працездатність та довговічність підшипникових вузлів.

## РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ПІДШИПНИКОВИХ ВУЗЛІВ, ВІДНОВЛЕНИХ МЕТАЛОПОЛІМЕРНОЮ КОМПОЗИЦІЄЮ

### 2.1. Аналіз зусиль, що діють в підшипникових опорах

У процесі експлуатації підшипникові вузли піддаються дії різних за знаком і величиною навантажень і постійно змінюваних температурних полів. Виникаючі при цьому відносно малі переміщення місцево навантаженого зовнішнього кільця підшипника, викликані значними питомими навантаженнями, призводять до зносу, фреттинг-корозії і як наслідком - до руйнування сполучення і провертання. При цьому в з'єднанні зовнішнє кільце підшипника - корпус фактична площа контакту внаслідок шорсткостей з'єднувальних поверхонь значно відрізняється від номінальної. Отже, довговічність посадкового отвору визначається контактними напруженнями, що виникають під впливом зовнішніх навантажень, і є домінуючою при розробці способів відновлення зношеного з'єднання.

Одним з найбільш перспективних шляхів підвищення фактичної площі контакту, а отже, і довговічності підшипникового вузла є технологія відновлення з застосуванням полімерних матеріалів і композицій на їх основі.

Одним з головних факторів, що впливають на працездатність відновленого сполучення зовнішнє кільце підшипника - корпус, є задоволення умові міцності (2.1) полімерного прошарку:

$$\sigma \leq [\sigma], \quad (2.1)$$

де  $\sigma$  – сумарне напруження, що виникає від дії всіх прикладених навантажень, МПа;

$[\sigma]$  - допустиме напруження для полімерної композиції, МПа

Щоб визначити мінімально достатню напругу, що забезпечує фіксацію зовнішнього кільця підшипника від провертання, розглянемо модель

підшипникового вузла, зовнішнє кільце якого з'єднане з корпусом (рис. 2.1), і модель підшипникового вузла, зовнішнє кільце якого сполучене з корпусом через полімерний прошарок (рис. 2.2).

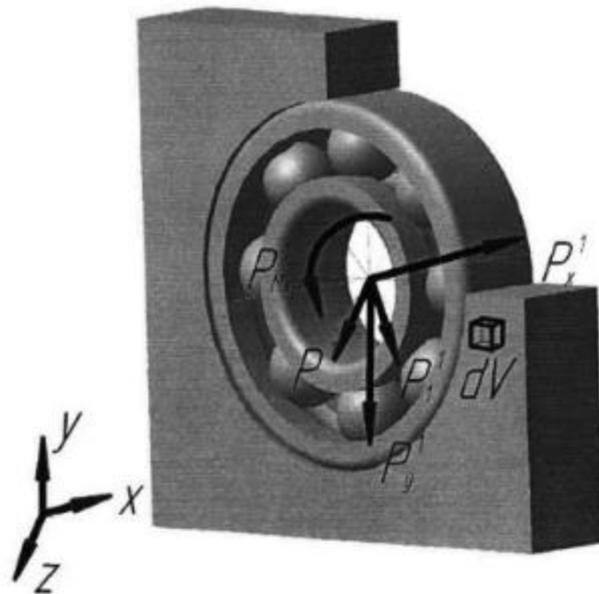


Рисунок 2.1 - Сили, що діють у підшипниковому вузлі

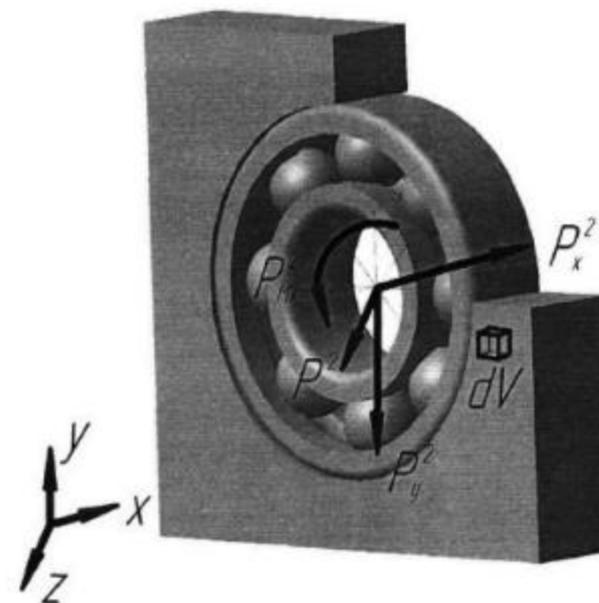


Рисунок 2.2 - Сили, що діють у підшипниковому вузлі з полімерним прошарком

З представлених моделей видно, що на корпус будуть діяти:

- радіальні сили  $P^1$ ,  $P_1^1$ ,  $P_y^1$ , внаслідок посадки зовнішнього кільця в корпус;

- тангенціальні сили  $P_{\text{кр}}^1$  крутного моменту, що передається валом кр

через прослизання тіл кочення в підшипнику;

- осьові сили  $P_x^1$ .

На об'єм полімерного прошарку будуть діяти:

- радіальні сили  $P^2$ ,  $P_y^2$ ;

- тангенціальні сили  $P_{M_{кр}}^2$  крутного моменту, що передається валом внаслідок прослизання тіл кочення в підшипнику;

- осьові сили  $P_x^2$ .

Для аналізу напружень, що діють у сполученнях зовнішнє кільце підшипника - корпус і зовнішнє кільце підшипника - полімерна прошаровка, розглянемо елементарний об'єм  $d_v$ , уявно вирізаний із сполучуваних поверхонь обох моделей (рис. 2.3, 2.4).

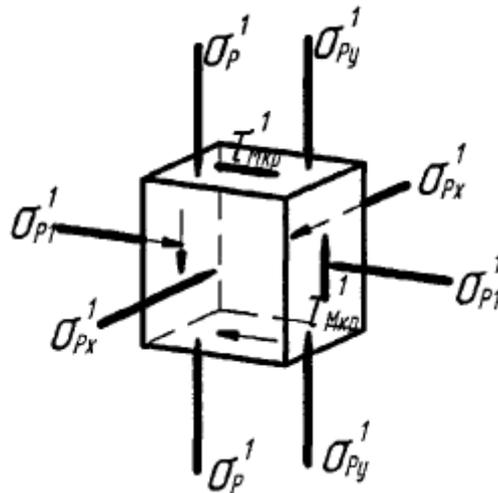


Рисунок 2.3 - Розподіл напружень, що діють у сполученні зовнішнє кільце підшипника - посадковий отвір корпусу:

$\sigma_p^1$  - нормальні напруження, що виникають від дії сили  $P_1$ ;  $\sigma_{p1}^1$  - нормальні напруження, що виникають від дії сили  $P_1^1$ ;  $\sigma_{py}^1$  - нормальні напруження, що виникають внаслідок перекосу осей симетрії зовнішнього і внутрішнього кілець підшипника від сили  $P_1^1$ ;  $\tau_1^1$  - дотичні напруження, що виникають від дії крутного моменту  $M_{кр}$ ;  $\sigma_{px}^1$  - нормальні напруження, що виникають через перекіс осей симетрії зовнішнього і внутрішнього кілець підшипника від сили  $P_x^1$

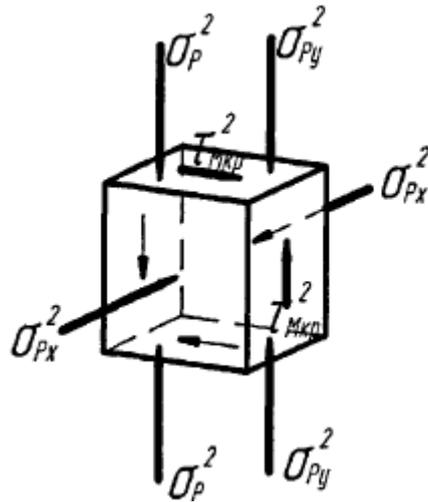


Рисунок 2.4 - Розподіл напружень, що діють у полімерному прошарку:  
 $\sigma_p^2$  - нормальні напруження, що виникають від дії сили  $P_2$ ;  $\sigma_{py}^2$  - нормальні напруження, що виникають внаслідок перекосу осей симетрії зовнішнього і внутрішнього кілець підшипника від сили  $P_1^2$ ;  $\tau_{mkr}^2$  - дотичні напруження, що виникають від дії крутного моменту  $M_{кр}$ ;  $\sigma_{px}^2$  - нормальні напруження, що виникають через перекіс осей симетрії зовнішнього і внутрішнього кілець підшипника від сили  $P_x^2$

Очевидно, що міцність полімерної композиції, яка задовольняє умову виразу (2.1), дозволяє забезпечити необхідну довговічність підшипникового вузла в цілому і сполучення зовнішнього кільця з корпусом зокрема. Одним з імовірних підходів до розрахунку середньоефективної міцності полімерної композиції є визначення міцності на обмеженій елементарній площі (одичній площі).

## 2.2. Технологічна послідовність ремонтно-відновлювальних операцій по відновленню посадочних поверхонь за допомогою металополімерів

Відновлення зношених посадочних поверхонь корпусних деталей за допомогою металополімерних композицій належить до прогресивних методів ремонту, що забезпечують підвищення ресурсу з'єднань без значних теплових

впливів і деформацій базових елементів [2, 11, 12, 13]. На відміну від традиційних способів, таких як механічна обробка під ремонтний розмір або наплавлення, металополімерна технологія дозволяє відновлювати геометрію отворів з мінімальним припуском на обробку, гарантувати високу адгезію та вирішувати проблему фретинг-корозії, яка є однією з основних причин виходу з ладу підшипникових опор.

Загальний технологічний процес складається з таких основних етапів (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Загальний технологічний процес відновлення

**Підготовка поверхні.** Перед нанесенням композиції усувають забруднення, залишки мастил, корозійні продукти і фрагменти зношеного шару. Зазвичай застосовується механічне зачищення абразивним інструментом або дробоструминною обробкою, після чого поверхню знежирюють органічними розчинниками. Якість підготовки безпосередньо впливає на адгезію металополімерного шару, тому рекомендується створення мікрошорсткості  $Ra = 2,5 \dots 6,3$  мкм.

**Дефектація та вимірювання.** Визначають величину зносу отвору, ступінь овальності та конусності, а також відхилення від співвісності. На цьому етапі приймається рішення щодо необхідності використання напрямних оправок і

спеціальних пристроїв для забезпечення точного розташування відновлюваного шару.

**Підготовка металополімерної композиції.** Склад готують згідно з технічними вимогами виробника. Більшість анаеробних композицій виробляються у вигляді готових до застосування герметиків або клеїв на основі метакрилатів. У разі використання композиції з наповнювачами (металеві порошки, нанонаповнювачі) компонентну масу ретельно перемішують до однорідного стану. Порушення інструкції щодо дозування або інтенсивності перемішування може призвести до погіршення міцнісних властивостей відновленого шару.

**Нанесення металополімерного матеріалу.** Композицію рівномірно розподіляють на відновлюваній поверхні або по зовнішній поверхні встановлюваної у отвір втулки. Подальше встановлення підшипника, втулки або технологічної оправки забезпечує формування шару необхідної товщини і взаємного розташування поверхонь. У багатьох випадках застосовується дозоване нанесення з контролем кількості матеріалу, що дозволяє уникнути утворення надлишків або пустот.

**Формування та полімеризація.** Анаеробні композиції тверднуть у безповітряному середовищі, тому після встановлення елемента забезпечуються оптимальні умови для полімеризації. Час твердіння залежить від температури, товщини шару та складу матеріалу і зазвичай становить 10–60 хвилин для первинної фіксації та 6–24 години для досягнення повної міцності. Під час полімеризації деталь повинна бути нерухомою.

**Контроль геометричних параметрів.** Після завершення полімеризації виконують контроль точності отвору: діаметра, овальності, конусності, шорсткості, співвісності та взаємного розташування поверхонь. У випадку відхилень допускається легке хонінгування або розточування, однак зазвичай технологія дає можливість обійтися без додаткової механічної обробки.

**Збирання і випробування.** Відновлена деталь проходить збірку з підшипниковим вузлом та іншими корпусними елементами. Проводять контрольне провертання, вимірювання моменту опору обертанню, відсутності

люфтів і сторонніх шумів. За потреби виконують стендові випробування на прогрів і навантаження.

Технологія металополімерного відновлення дозволяє забезпечити значну довговічність посадкових поверхонь, оскільки композиційний шар компенсує мікронерівності, рівномірно розподіляє навантаження і зменшує ймовірність виникнення фретинг-корозії. За даними експериментальних досліджень, застосування металополімерних матеріалів на основі метакрилатів здатне збільшити ресурс посадкових з'єднань у 2–2,5 раза порівняно зі стандартними методами ремонту, що передбачають використання ремонтних втулок.

### **2.3. Проектування технологічної послідовності відновлення корпусної деталі**

#### **2.3.1. Характеристика деталі**

Картер 150.39.102-1 планетарного, бортового редуктора (ромашка), тракторів виробництва заводу ХТЗ Т151, Т150Г, Т156Б-09-03, Т17221-06, ХТЗ 181, ХТЗ 150 К-09-25, Т-121. Це лита фрезерована деталь із кріпильними отворами по колу й посадковим місцем під підшипники. Кріпиться до бортового редуктора мосту трактора. Виготовлений з високоміцної сталі здатною переносити більші механічні навантаження в процесі роботи провідного мосту на тракторі. Застосовувався на всіх серійних моделях тракторів, що випускаються заводом виготовлювачем Харківський тракторний завод ХТЗ.

Встановлюється на тракторах виробництва заводу ХТЗ таких як, Т-151, Т-150Г, Т-156Б-09-03, Т-17221-06, ХТЗ-181, ХТЗ-150К-09-25, Т-121

Кінцева передача призначена для передач обертання від головної передачі мосту до коліс трактора й перетворення крутного моменту. Кінцева передача Т-150 складається з колісного редуктора планетарного типу із провідної сонячною шестірнею 12 (рис. 2.6), нерухомою епіциклічною шестірнею 10, відомим водилом 1 і сателітами 11. Водило 1 разом із корпусом 3 та картером 5 формують ведену частину кінцевої передачі, до якої монтується ведуче колесо та гальмовий барабан. Сонячна шестерня 12 встановлюється на шліцах півосі 7, що

з'єднана з півосьовою муфтою диференціала. У конструкції трактора Т-150 епіциклічну шестерню жорстко фіксують на зубчастому вінці маточини, яка посаджена на шліці вала, привареного до корпусу заднього мосту.

У конструкції трактора Т-150К епіциклічну шестерню закріплено на маточині, яка за допомогою болтового з'єднання фіксується на корпусі провідного мосту.

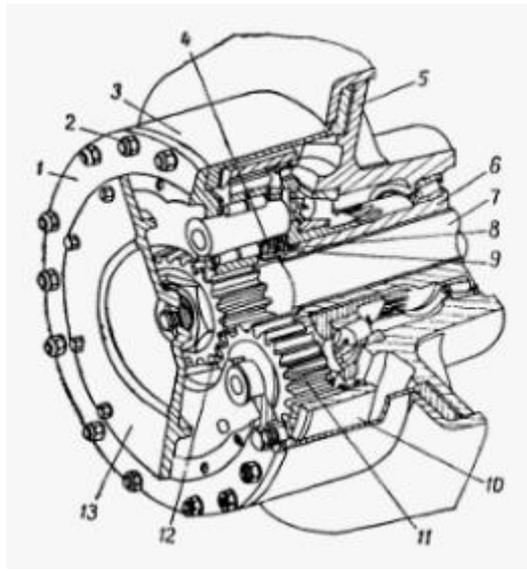


Рисунок 2.6 - Колісний редуктор провідного мосту Т-150 К

1 - водило; 2 - гайка; 3 - корпус; 4 - контргайка; 5 - картер; 6 - маточина; 7 - піввісь; 8 - гайка; 9 - стопорна шайба; 10 - епіциклічна шестерня; 11 - сателіт; 12 - сонячна шестерня; 13 - кришка.

До основних дефектів передачі відносяться зношування деталей, жолоблення привалочних поверхонь, тріщини й злами маточини, водила, корпусу й картера планетарного редуктора, ушкодження різьблення, тріщини, викрашування й поломки зубів шестірень.

При ушкодженні різьби отвору його розсвердлюють, заварюють електродуговим зварюванням, зачищають напливи металу заподлице з основним металом, свердлять новий отвір, нарізають різьбу й зенкують фаски.

Допускається постановка спіральної пружинної вставки або різьбової пробки. Зношені поверхні водила під осі сателітів розточують, проводять місцеве залізнення, а потім розточують отвір до діаметра  $44,8+0,025$  мм.

Зсув осей отворів під осі сателітів від їхнього номінального розташування допускається не більш 0,1 мм. Отвір під штифт відновлюють заваркою з наступним свердлінням нового отвору. Тріщини водила, маточини, корпусу й картера планетарного редуктора мосту Т-150, які не виходять на посадкові поверхні, обробляють під зварювання, заварюють електродуговим зварюванням.

Посадкові поверхні під підшипники кочення відновлюють місцевим залізненням з наступної механічною обробкою до номінального розміру. Зношені шліци вала (Т-150 К) або півосі (Т-150) під маточину наплавляють.

Після цього вал (або піввісь) обточують, фрезерують шліці й гартують їх струмом високої частоти. Шестерні зі зношеними понад припустимі розміри зубами вибраковують.

Для відновлення ведучих коліс трактора Т-150 використовують поточно-механізовану лінію, на якій обрізають зношену поверхню зубчастого вінця з наступної приваркою до колеса окремих елементів (вкладишів).



Рисунок 2.7 - Фото картера редуктора

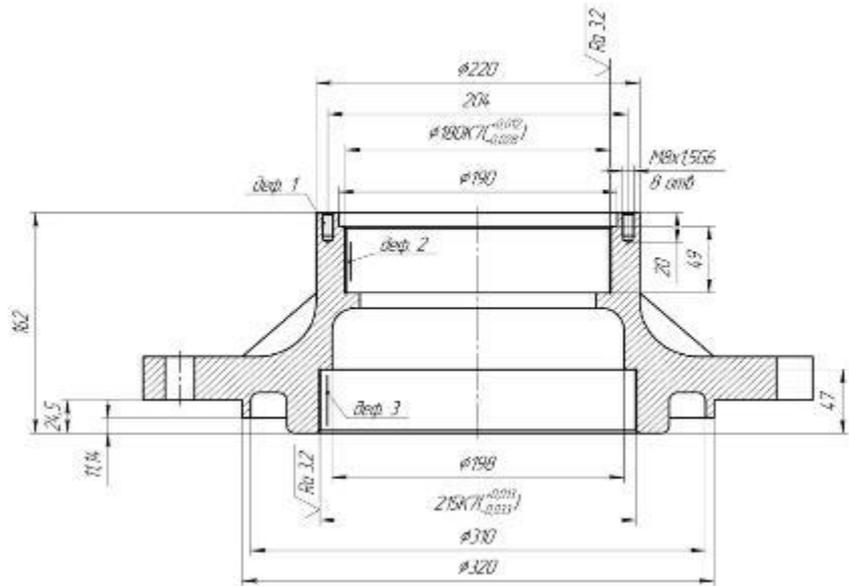


Рисунок 2.8 - Ремонтне креслення деталі

Номер деталі за каталогом: ХТЗ 151.39.102-2

Матеріал деталі: сталь 45Х

Твердість поверхонь деталі: 45 HRC

Вага: 8,5 кг

Дефекти картеру наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Дефекти картеру планетарного редуктора

№	Дефект	Розмір, мм		Інструмент, що використовується
		допустимий	граничний	
1	Пошкодження різьби	Більше 2х ниток		Огляд
2	Знос поверхні під підшипник	180,05	180,07	Нутромір НИ 160-250
3	Знос поверхні під підшипник	215,05	215,07	Нутромір НИ 160-250

### 2.3.2. Обґрунтування оптимального способу відновлення деталі

#### *Технологічний критерій.*

Відновити дефекти картеру можливо такими способами.

Дефект 1.

- заварювання,

- постановка додаткової ремонтної деталі.

Дефект 2.

- вібродугове наплавлення,
- нанесення металополімеру,
- залізнення,

Дефект 3.

- вібродугове наплавлення,
- нанесення металополімеру,
- залізнення,

### **Технічний критерій.**

Технічний критерій довговічності визначають через коефіцієнт  $K_d$ , який відображає співвідношення ресурсу деталі після відновлення  $T_B$  до ресурсу нової деталі  $T_H$  [18].

$$K_d = \frac{T_B}{T_H} \quad (2.2)$$

чи

$$K_d = K_i \cdot K_B \cdot K_c \cdot K_n, \quad (2.3)$$

де  $K_i$ ,  $K_B$ ,  $K_c$  – коефіцієнти зносостійкості витривалості, зчеплюємості.

$K_n$  – поправочний коефіцієнт  $K_n$  – поправочний коефіцієнт.

Для дефекту 1.

- заварювання

$$K_{d1} = 0,72 \cdot 0,90 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,58;$$

- постановка ДРД

$$K_d = 1 \cdot 0,62 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,55;$$

Для дефекту 2 та 3 способи відновлення однакові тому перевірку за технічним критерієм проведемо для одного дефекту.

Дефект 1,2.

- вібродугове наплавлення

$$K_d = 1 \cdot 0,62 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,55;$$

- нанесення металополімеру

$$K_d = 0,91 \cdot 0,87 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,71.$$

- напилювання

$$K_d = 0,91 \cdot 0,82 \cdot 0,65 \cdot 0,9 = 0,43.$$

Таким чином для відновлення дефекту 1 вибираємо заварювання, а для дефектів 2, 3 нанесення металополімеру.

Методи усунення дефектів наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Типові пошкодження картерів і технологічні способи їх відновлення

Найменування дефекту	Методи виправлення дефектів	
	Головний	Можливий
1. Знос різьби	Заварювання	Постановка додаткової ремонтної деталі
2. Зношена посадочна поверхня під підшипник	Наплавка в CO <sub>2</sub> , механічна обробка	Вібродугове наплавлення
3. Знос поверхні під підшипник	Наплавлення в середовищі захисних газів, механічна обробка	Вібродугове наплавлення

### **2.3.3. Формування плану операцій по відновленню**

#### **005 Наплавлення**

Нанести металополімер поверхню 2 під підшипник з  $\varnothing$  180,07 мм до  $\varnothing$  178 мм на довжині 49 мм, поверхню 3 під підшипник з  $\varnothing$  215,07 мм до  $\varnothing$  213 мм на довжині 47 мм.

Токарно-гвинторізний верстат моделі 1К62; наплавлювальна головка А-547У; зварювальний випрямляч ВДУ-506; пристрої для підігрівання та осушування газу; редуктор-витратомір типу ДРЗ-1-5-7; балон із вуглекислим газом (робочий тиск 7,5 МПа); зварювальний дріт марки НІ-30ХГСА; мундштук, призначений для наплавлення внутрішніх поверхонь; штангенциркуль ШЦ-2-250-0,1.

#### **010 Заварювальна**

Заварити 8 різьбових отворів 1 М8 на довжині 20 мм.

Зварювальний трансформатор ВДУ 506.

Стіл електрозварника ОРС-1549А, дріт Св 08 1,6 мм, підігрівач та осушувач газу; редуктор-витратомір (ДРЗ-1-5-7), балон з вуглекислим газом (тиск 7,5 МПа), лещата, маска зварювальника, молоток, щітка металева.

#### **015 Токарна**

Обробити поверхню 2, збільшуючи діаметр з  $\varnothing$ 178 мм до  $\varnothing$ 180 мм на ділянці довжиною 49 мм, а поверхню 3 — з  $\varnothing$ 213 мм до  $\varnothing$ 215 мм на довжині 47 мм.

Верстат токарно-гвинторізний 16К20Г. Патрон трикулачковий, різець розточний упорний Р 9, гак металевий, нутромір НІ 160-250 ГОСТ 868-73.

#### **020 Свелильна операція**

Виконати свердління ділянки з дефектом №1 до діаметра  $\varnothing$ 6,7 мм на глибину 20 мм. Працювати на вертикально-свердлильному верстаті 2Н125 з використанням спеціальних механічних лещат за ГОСТ 16518-96. Як різальний інструмент застосовується свердло Р9 середньої серії 6,7×125 відповідно до

ГОСТ 10902-77. Контроль розмірів здійснюється штангенциркулем ШЦ-I-125-0,1 за ГОСТ 166-80.

### **025 Шліфувальна**

Шліфувати поверхню 2 з  $\varnothing$  180 мм до  $\varnothing$  180,05 мм на довжині 49 мм, поверхню 2 з  $\varnothing$  215 мм до  $\varnothing$  215,05 мм на довжині 47 мм.

Верстат внутрішньо шліфувальний ЗК227В.

Коло шліфувальне з однобічною виточкою 5(ПВ) 150 x 50 x 305 25А 10-П С2 7 К 1А 35 м/с А 1 кл. ГОСТ 2424-83, нутромір НИ-160-250 ГОСТ 868-72.

### **030 Контрольна**

Здійснити контроль геометричних параметрів і якості відновлених поверхонь. Для перевірки використовуються: комплект обладнання «Ремдеталь», твердомір ТК-600, штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 та нутромір НИ-160-250 відповідно до ГОСТ 868-72.

## **2.3.4. Обґрунтування режимних параметрів процесу відновлення та розрахунок трудомісткості операцій**

### **005 Наплавлювальна**

**Перехід 1.** Виконати наплавлення поверхні 2 під установку підшипника, зменшуючи діаметр з  $\varnothing$ 180,07 мм до  $\varnothing$ 178 мм на довжині 49 мм.

Основні параметри режиму наплавлення приймаються такими:

#### **Режим наплавлення:**

- товщина сформованого шару  $t = 1$  мм;
- діаметр електродного дроту  $d_e = 1,6$  мм;
- сила зварювального струму  $I = 210$  А;
- напруга  $U = 24$  В;
- крок укладання валиків  $s = 1$  мм;
- швидкість обертання деталі під час наплавлення  $V_{нар} = 1,2$  м/хв;
- швидкість подачі електродного дроту  $V_e = 1,8$  м/хв.

Частота обертання деталі становитиме...

$$n = 318 \frac{V}{d} = 318 \frac{1,2}{180,07} = 2,12 \text{ об/хв.} \quad (2.4)$$

де  $V_{\text{нап}}$  - швидкість наплавлення деталі,

$d$  – діаметр до наплавки, мм

Кількість проходів

$$i = \frac{D-d}{2 \cdot t} = \frac{180,07-178}{2 \cdot 1} = 1 \quad (2.5)$$

де  $D$  – діаметр після наплавлення, мм;

$t$  – товщина напавленого шару, мм.

Основний час при напавленні за формулою

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} = \frac{49 \cdot 1}{2,12 \cdot 1} = 23,1 \text{ хв.}$$

**Визначення допоміжного часу.** Для деталі, що встановлюється у центрах, час на її закріплення та зняття становить  $T_{\partial 1} = 0,5 \text{ хв}$ . Додатковий допоміжний час, пов'язаний безпосередньо з виконанням наплавлення, дорівнює  $T_{\partial 2} = 0,9 \text{ хв}$  на один прохід [18].

Отже, сумарний допоміжний час буде дорівнювати...

$$T_d = T_{\partial 1} + T_{\partial 2} = 0,5 + 0,9 = 1,4 \text{ хв.} \quad (2.6)$$

Перехід 2. Поверхню 3 під підшипник з  $\varnothing 215,07$  мм до  $\varnothing 213$  мм на довжині 47 мм.

Режими тіж, що й для першого переходу.

Основний час при напавленні за формулою

$$T_o = \frac{47 \cdot 1}{2,12 \cdot 1} = 22,1 \text{ хв.}$$

**Визначення допоміжного часу.** Для деталі, що встановлюється у центрах, час на її закріплення та зняття становить  $T_{\partial 1} = 0,5$  хв. Додатковий допоміжний час, пов'язаний безпосередньо з виконанням наплавлення, дорівнює  $T_{\partial 2} = 0,9$  хв на один прохід [18].

Отже, сумарний допоміжний час буде дорівнювати...

$$T_{\text{д}} = 0,5 + 0,9 = 1,4 \text{ хв.}$$

Таким чином загальний основний час складе:

$$T_{\text{о}} = T_{\text{о1}} + T_{\text{о2}} = 22,1 + 23,1 = 45,2 \text{ хв.} \quad (2.7)$$

Загальний допоміжний час:

$$T_{\text{д}} = T_{\text{д1}} + T_{\text{д2}} = 1,4 + 1,4 = 2,8 \text{ хв.} \quad (2.8)$$

Оперативний час:

$$T_{\text{оп}} = 45,2 + 2,8 = 48 \text{ хв.}$$

Додатковий час на операцію

$$T_{\text{дод}} = \frac{T_{\text{оп}} \cdot K}{100} = \frac{48 \cdot 15}{100} = 7,2 \quad (2.9)$$

Підготовчо-заклучний час складає  $T_{\text{пз}} = 9$  хв.

Норма часу на операцію складає:

$$T_{\text{н}} = T_{\text{о}} + T_{\text{д}} + T_{\text{дод}} + T_{\text{пз}}/n = 45,2 + 2,8 + 7,2 + 9/1 = 64,2 \text{ хв.} \quad (2.10)$$

**010 Зварювальна**

Заварити 8 різьбових отворів 1 М8 на довжині 20 мм.

Основний час ручного дугового зварювання визначається за формулою:

$$T_o = \frac{60 \cdot G}{\alpha \cdot I} = \quad (2.11)$$

де  $G$  – вага наплавленого металу, г;

$\alpha$  - коефіцієнт наплавки, ( $\alpha=10$ ) г/а·год;

$I$  – сила струму, А ( $I=160$ А).

Вагу наплавленого металу визначаємо з виразу:

$$G = L \cdot F \cdot \gamma, \quad (2.12)$$

де  $L$  – довжина, см;

$F$  – площа повздовжнього перерізу, см<sup>2</sup>;

$\gamma$  - густина металу, г/см<sup>3</sup>.

Тоді:

$$G = 2 \cdot 0,5 \cdot 7,8 = 7,8 \text{ г.}$$

Так як кількість отворів 8, то маса металу складе 62,4 г.

Основний час для зварної операції буде

$$T_o = \frac{60 \cdot 62,4}{160 \cdot 10} = 2,34 \text{ хв.}$$

Допоміжний час, що пов'язаний з зварюванням складає  $T_{д1} = 0,8$  хв. але отворів 8 тому  $T_{д1} = 0,8 \times 8 = 6,4$  хв. Допоміжний час, що пов'язаний з встановленням та знаттям деталі вагою до 15 кг дорівнює  $T_{д2} = 0,6$ хв.

Повний допоміжний час

$$T_d = 6,4 + 0,6 = 7 \text{ хв.}$$

Знаходимо оперативний час:

$$T_{оп} = 2,34 + 7 = 9,34 \text{ хв.}$$

Визначаємо додатковий час:

$$T_{дод} = \frac{9,34 \cdot 15}{100} = 1,41 \text{ хв.}$$

Підготовчо - заключний час складає 2 % від оперативного:

$$T_{нз} = \frac{T_{оп} \cdot K_{нз}}{100} = \frac{9,34 \cdot 2}{100} = 0,2 \text{ хв.} \quad (2.13)$$

Норма часу на операцію:

$$T_n = 2,34 + 7 + 1,41 + \frac{0,2}{1} = 10,95 \text{ хв}$$

## 015 Токарна

**Перехід 1.** Виконати токарну обробку поверхні 2, збільшуючи діаметр з Ø178 мм до Ø180 мм на ділянці довжиною 49 мм.

Далі необхідно визначити величину припуску на токарну обробку.

$$h = \frac{180 - 178}{2} = 1 \text{ мм.}$$

Глибину різання приймаємо рівною 1 мм, що дає можливість зняти весь припуск за один прохід, тому  $i = 1$ . Відповідно до обраної глибини різання та діаметра заготовки встановлюємо повздовжню подачу  $S = 1 \text{ мм/об}$  [18].

Швидкість різання визначаємо за прийнятими значеннями подачі та глибини різання; вона становить  $V = 26 \text{ м/хв}$  [18]. Для коригування обчисленої

швидкості враховуємо поправочний коефіцієнт, що залежить від марки сталі, —  
 $K_M = 1,7$  [18].

$$V = V \cdot K_M = 26 \cdot 1,7 = 44,2 \text{ м / хв.} \quad (2.14)$$

Оберти деталі складуть

$$n = 318 \frac{44,2}{180} = 78,1 T_B \text{ об/хв.}$$

Приймаємо найближче паспортне значення частоти обертання верстата  $n = 80$  об/хв.

Розрахунок основного часу:

Визначаємо довжину поверхні, що обробляється з врахуванням врізання та перебігу різця:

$$L = l + y, \quad (2.15)$$

де  $l$  – довжина поверхні деталі, що обробляється;

$y$  – величина врізання та перебігу, мм ( $y=2$ ).

$$L = 49 + 2 = 51 \text{ мм.}$$

Основний час розраховуємо по формулі;

$$T_o = \frac{51 \cdot 1}{80 \cdot 1} = 0,63 \text{ хв.}$$

Визначаємо допоміжний час. Згідно [18, 19] час на встановлення та зняття деталі становитиме  $T_{д1} = 0,8$  хв при роботі на верстаті з висотою центрів 600 мм, допоміжний час, пов'язаний з проходом, складає  $T_{д2} = 0,9$  хв.

Загальний допоміжний час складе:

$$T_d = 0,8 + 0,9 = 1,7 \text{ хв.}$$

Перехід 2. Точити поверхню 3 з  $\varnothing 213$  мм до  $\varnothing 215$  мм на довжині 47 мм.

Режим різання такий же як і у переході 1.

Визначаємо довжину поверхні, що обробляється з врахуванням врізання та перебігу різця:

$$L = 47 + 2 = 49 \text{ мм.}$$

Основний час розраховуємо по формулі;

$$T_o = \frac{49 \cdot 1}{80 \cdot 1} = 0,61 \text{ хв.}$$

Визначаємо допоміжний час. Згідно [19] час на встановлення та зняття деталі становитиме  $T_{d1} = 0,8$  хв при роботі на верстаті з висотою центрів 600 мм, допоміжний час, пов'язаний з проходом, складає  $T_{d2} = 0,9$  хв.

Загальний допоміжний час складе:

$$T_d = 0,8 + 0,9 = 1,7 \text{ хв.}$$

Тоді загальний основний час складе

$$T_o = 0,63 + 0,61 = 1,24 \text{ хв.}$$

Загальний допоміжний час:

$$T_d = 1,7 + 1,7 = 3,4 \text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$T_{оп} = 1,24 + 3,4 = 4,64 \text{ хв.}$$

Додатковий час на операцію

$$T_{доо} = \frac{4,64 \cdot 8}{100} = 0,37 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучний час складає  $T_{пз} = 9$  хв.

Норма часу на операцію складає:

$$T_n = 1,24 + 3,4 + 0,37 + 9/1 = 14 \text{ хв.}$$

## 020 Свердлильна

Перехід 1. Свердлити поверхню (дефект 1) до  $\varnothing 6,7$  мм на довжині 20 мм

Розрахуємо глибину різання.

$$t = \frac{D_{св}}{2} = \frac{6,7}{2} = 3,35 \text{ мм.} \quad (2.16)$$

де  $D_{св}$  - діаметр свердла, мм.

Подача вибирається з таблиці і дорівнює  $S = 0,22$  мм/об,

Швидкість різання дорівнює  $V = 20$  м/хв., а число обертів визначаємо за формулою :

$$n = 318 \cdot \frac{20}{6,7} = 949 \text{ хв}^{-1}.$$

Основний час на виконання даного проходу дорівнює:

Основний час ( $T_o$ ) при свердлінні отвору визначається за формулою:

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S} = \frac{27}{949 \cdot 0,22} = 0,13 \text{ хв} \quad (2.17)$$

Довжина обробки визначається як:

$$L = l + y = 20 + 7 = 27 \text{ мм}, \quad (2.18)$$

де  $l$  – глибина отвору, мм.

$y$  – величина врізання і вихода інструмента, при свердлінні на прохід 7 мм.

Так як у нас 8 отворів основний час складе  $T_o = 0,13 \times 8 = 1$  хв.

Допоміжний час, пов'язаний з проходом, буде дорівнювати  $T_d = 0,6$  хв. Час пов'язаний з проходом становить  $T_{d2} = 0,14$  хв. На перший отвір і 0,06 на наступні. Так як у нас 8 отворів то допоміжний час пов'язаний з проходом становитиме  $T_{d2} = 0,14 + (7 \times 0,06) = 0,56$  хв.

$$T_{\text{доп}} = 0,6 + 0,56 = 1,16 \text{ хв.}$$

Перехід 2. Нарізати різьбу М 8 х 1,5 в 8 отворах на довжині 20 мм.

Частота обертання інструменту

$$n = \frac{318 \cdot 4,5}{6,7} = 213,6 \text{ об/хв}$$

Основний час ( $T_o$ ) при нарізанні різьби визначається за формулою:

$$T_o = \frac{27}{213,6 \cdot 0,18} = 0,7 \text{ хв}$$

У нас 8 отворів  $T_o = 0,7 \cdot 8 = 5,6$  хв.

Допоміжний час, пов'язаний з проходом, буде дорівнювати  $T_{\text{доп}} = 0,75$  хв.

Так як у нас 8 отворів то допоміжний час становитиме  $T_{\text{доп}} = 6$  хв.

Тоді загальний основний час складе

$$T_o = 1 + 5,6 = 6,6 \text{ хв.}$$

Загальний допоміжний час:

$$T_d = 1,16 + 6 = 7,16 \text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$T_{оп} = 6,6 + 7,16 = 13,76 \text{ хв.}$$

Додатковий час на операцію

$$T_{дод} = \frac{13,76 \cdot 8}{100} = 1,1 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучний час складає  $T_{пз} = 9$  хв.

Норма часу на операцію складає:

$$T_n = 6,6 + 7,16 + 1,1 + 9/1 = 23,86 \text{ хв.}$$

## 025 Шліфувальна

Перехід 1. Шліфувати поверхню 2 з  $\varnothing 180$  мм до  $\varnothing 180,05$  мм на довжині 49 мм.

Визначаємо припуск на обробку при чистовому шліфуванні по наплавленій поверхні.

При шліфуванні посадочних поверхонь:

$$h = \frac{180,05 - 180}{2} = 0,025 \text{ мм.}$$

Визначаємо число проходів при шліфуванні посадочних поверхонь:

$$i = \frac{0,025}{0,025} = 1$$

Швидкість різання при чистовій обробці приймаємо 45 м/хв., повздовжня подача  $s = 0,3$  мм/об.

Число обертів деталі становить

$$n = \frac{318 \cdot 45}{180} = 79,5 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо  $n = 80$  об/хв. Так як у верстата безступінчасте регулювання обертів.

Основний час на проведення операції визначимо за формулою.

$$T_o = \frac{49 \cdot 1}{80 \cdot 0,3} \cdot 1,7 = 3,5 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на встановлення та зняття деталі складає  $T_{д1} = 0,5$  хв, а допоміжний час пов'язаний з проходом  $T_{д2} = 1$  хв. (на першій поверхні однієї деталі). Таким чином допоміжний час складе:

$$T_d = 0,5 + 1 = 1,5 \text{ хв.}$$

Перехід 2. Шліфувати поверхню 2 з  $\varnothing 215$  мм до  $\varnothing 215,05$  мм на довжині 47 мм.

Режими такі ж як і у першому переході.

Основний час на проведення операції визначимо за формулою.

$$T_o = \frac{47 \cdot 1}{80 \cdot 0,3} \cdot 1,7 = 3,3 \text{ хв.}$$

Допоміжний час пов'язаний з проходом  $T_{д2} = 1$  хв.

Основний час на операцію

$$T_o = 3,5 + 3,3 = 6,8 \text{ хв.}$$

Таким чином допоміжний час на операцію складе:

$$T_d = 1,5 + 1 = 2,5 \text{ хв.}$$

Оперативний час складе:

$$T_{оп} = 6,8 + 2,5 = 9,3 \text{ хв.}$$

Додатковий час визначаємо за формулою:

$$T_{дод} = \frac{9,3 \cdot 9}{100} = 0,83 \text{ хв.}$$

Підготовчо - заключний час на шліфувальні операції складає  $T_{пз} = 8 \text{ хв.}$

Норма часу на операцію становить

$$T_n = 6,8 + 2,5 + 0,83 + 8/1 = 18,13 \text{ хв.}$$

### **030 Контрольна**

Контроль розмірів поверхонь (деф.1, 2, 3) деталі.

Таким чином норма часу на відновлення деталі складе

$$T_{нзаг} = 64,2 + 10,95 + 14 + 23,86 + 18,13 = 131,14 \text{ хв.}$$

Таким чином час відновлення деталі становить 131, 14 хв.

### **2.3.5. Розрахунок норми часу нанесення металополімеру**

#### **005 Нанесення металополімеру**

Перехід 1. Нанести металополімер на поверхню 2 під підшипник з  $\varnothing 180,07$  мм до  $\varnothing 178$  мм на довжині 49 мм,

Основні режими при наплавленні становитимуть

Режими нанесення металополімеру:

- товщина шару  $t = 2$  мм;
- швидкість нанесення металополімеру на деталі  $V_n = 7$  м/хв;

Частота обертання деталі становитиме

$$n = 318 \frac{V}{d} = 318 \frac{7}{180,07} = 12,3 \text{ об/хв.}$$

де  $V_{\text{нап}}$  - швидкість нанесення металополімеру на поверхню деталі,

$d$  – діаметр до нанесення, мм

Кількість проходів

$$i = \frac{D-d}{2 \cdot t} = \frac{180,07-178}{2 \cdot 1} = 1$$

де  $D$  – діаметр після нанесення полімеру, мм;

$t$  – товщина шару, мм.

Основний час при наплавленні за формулою

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} = \frac{49 \cdot 1}{12,3 \cdot 1} = 3,9 \text{ хв.}$$

Визначаємо допоміжний час. Для деталі, що встановлена в центрах, час на встановлення та зняття складає  $T_{д1}=0,5$  хв., допоміжний час, який пов'язаний з нанесенням металополімеру складає  $T_{д2}=0,9$  хв на один прохід [18, 20].

Тоді загальний допоміжний час складає

$$T_d = T_{д1} + T_{д2} = 0,5 + 0,9 = 1,4 \text{ хв.}$$

Перехід 2. Поверхню 3 під підшипник з  $\varnothing 215,07$  мм до  $\varnothing 213$  мм на довжині 47 мм.

Режими тіж, що й для першого переходу.

Основний час при нанесенні покриттів за формулою

$$T_o = \frac{47 \cdot 1}{7 \cdot 1} = 6,7 \text{ хв.}$$

Визначаємо допоміжний час. Для деталі, що встановлена в центрах, час на встановлення та зняття складає  $T_{д1}=0,5$  хв., допоміжний час, який пов'язаний з нанесенням металополімерів складає  $T_{д2}=0,9$  хв на один прохід [20].

Тоді загальний допоміжний час складає

$$T_d = 0,5 + 0,9 = 1,4 \text{ хв.}$$

Таким чином загальний основний час складе:

$$T_o = T_{o1} + T_{o2} = 3,9 + 6,7 = 10,6 \text{ хв.}$$

Загальний допоміжний час:

$$T_d = T_{д1} + T_{д2} = 1,4 + 1,4 = 2,8 \text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$T_{оп} = 10,6 + 2,8 = 13,4 \text{ хв.}$$

Додатковий час на операцію

$$T_{дод} = \frac{T_{оп} \cdot K}{100} = \frac{13,4 \cdot 15}{100} = 2,01 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час складає  $T_{пз} = 9$  хв.

Норма часу на операцію складає:

$$T_n = T_o + T_d + T_{дод} + T_{пз}/n = 10,6 + 2,8 + 2,01 + 9/1 = 24,41 \text{ хв.}$$

Ефективність відновлення деталі металополімером наведена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Порівняння технологічних процесів відновлення деталі

№	Операція	Позначення	Норма часу, хв	
			Базова	Впроваджена
1	Наплавлення	005	64,2	24,41
2	Зварювальна	010	14	14
3	Токарна	015	10,95	10,95
4	Свердлильна	020	23,86	23,86
5	Шліфувальна	025	18,13	18,13
Всього			131,14	52,94

На підставі даних таблиці можна дійти висновку, що застосована технологія забезпечує зменшення витрат на 40,3 %.

#### 2.4. Висновок

У даному розділі наведено розроблений технологічний процес нанесення металополімерного матеріалу на відновлювані поверхні, а також сформовано маршрут відновлення картера редуктора ведучих коліс. Розрахунки показали, що за використання традиційної технології наплавлення посадочних поверхонь тривалість відновлення деталі становила 131,14 хв. У запропонованому ж технологічному процесі передбачено заміну операції наплавлення на нанесення металополімерного покриття, що дало змогу істотно скоротити сумарний час відновлення, оскільки сама операція нанесення металополімеру триває лише 24,41 хв. У результаті загальна норма часу на відновлення картера становить 52,94 хв., що на 40,3 % менше порівняно з базовим варіантом технології.

## РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1. Матеріали та обладнання для металополімерного відновлення

#### 3.1.1. Вибір металополімерної композиції

Для відновлення посадочних поверхонь під підшипники у картері планетарного редуктора 151.39.102-231 до матеріалу висуваються такі основні вимоги: достатня адгезія до сталі та чавуну, можливість роботи в умовах змінних навантажень і вібрацій, стійкість до трансмісійних оливо, мастил та робочих температур, а також здатність надійно працювати в локальних зазорах від десятих часток міліметра до 0,4–0,5 мм. Саме такі умови характерні для посадок підшипників у корпусних деталях трансмісій тракторів сімейства ХТЗ.

Одним із базових матеріалів, які доцільно використати у даній роботі, є анаеробний фіксатор Loctite 660 із серії фіксаторів таблиця 3.1. Це однокомпонентна метакрилатна пастоподібна композиція, спеціально призначена для фіксації та відновлення циліндричних з'єднань типу вал–втулка, посадкових місць підшипників та шпонкових з'єднань, яка ефективно працює в зазорах до 0,4–0,5 мм. Після затвердіння в умовах відсутності повітря між металевими поверхнями матеріал формує високостійкий до зсуву та вібрацій шар, що дозволяє відновлювати зношені гнізда підшипників без механічної обробки й наплавлення [21].

Таблиця 3.1 - Фізико-механічні характеристики анаеробних клеїв і герметиків фірми «ЛОСТІТЕ» (США)

№ п/п	Марка клею / герметика	Діапазон робочих температур, °С	Максимальний ущільнювальний зазор, мм	Показник міцності, МПа
1	Loctite 242	-55...+150	0,15	8...12
2	Loctite 262	-55...+150	0,15	18...22
3	Loctite 270	-55...+150	0,10	18...20

4	Loctite 290	-55...+150	0,15	10...12
5	Loctite 648	-55...+150	0,25	20...24
6	Loctite 603	-55...+150	0,20	18...20

Для випадків, коли фактичний зазор у посадці менший (до 0,15–0,25 мм), доцільно застосовувати класичні анаеробні фіксатори підшипників Loctite 638 або 603. Вони забезпечують високі зчіпні зусилля, працюють із невеликими зазорами та рекомендовані для фіксації підшипників і втулок у злегка розбитих посадкових місцях [21].

Якщо ж спрацювання перевищує 0,5 мм або геометрія пошкодження складна (вириви, раковини, місцеві тріщини), як базовий металополімерний матеріал доцільно використовувати двокомпонентні епоксидні системи типу Loctite 3478 «рідкий метал», WEICON 1131 (Bearing Metal) або композити Resimac. Loctite 3478 є високоміцною епоксидною пастою, що після полімеризації формує металонаповнений шар із міцністю до 1250 кг/см<sup>2</sup> та добре піддається подальшій механічній обробці, що робить його придатним для відновлення валів, корпусів та посадкових місць під підшипники [22].

WEICON 1131 належить до спеціалізованих «підшипникових металів» на епоксидній основі, призначених для ремонту валів, гнізд підшипників та поверхонь ковзання; матеріал характерний високою зносостійкістю та можливістю роботи при переривчастих навантаженнях [23].

Композити Resimac також застосовуються в Україні для відновлення посадкових місць підшипників на валах та в корпусних деталях, забезпечуючи зниження вартості ремонту на 60–70 % порівняно із заміною деталі.

З урахуванням конструкції картера планетарного редуктора 151.39.102-231, наявності тонких стінок і неможливості великих припусків під механічну обробку, у роботі приймається комбінований підхід: для відновлення посадкових поверхонь із зазором до 0,4–0,5 мм використовується Loctite 660, а для локальних глибоких дефектів перед фінішним формуванням розміру може застосовуватись епоксидний «рідкий метал» (Loctite 3478 або аналогічна металополімерна композиція).

Узагальнену характеристику основних композицій, що фактично представлені на ринку України та можуть бути використані для відновлення посадочних поверхонь корпусних деталей, наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні металополімерні та анаеробні композиції для відновлення посадочних поверхонь корпусних деталей

Найменування матеріалу	Тип матеріалу	Допустимий зазор, мм	Орієнтовний робочий діапазон температур, °С	Типові області застосування	Коротка характеристика
Loctite 660	Анаеробний вал-втулковий фіксатор (метакрилатна паста)	До 0,4–0,5	–55...+150	Відновлення зношених гнізд підшипників, шпонкових з'єднань, посадок вал-втулка	Однокомпонентний склад із високою в'язкістю, добре заповнює зазори, полімеризується без доступу повітря між металевими поверхнями.)
Loctite 638 / 603	Анаеробні фіксатори підшипників і втулок	До 0,15–0,25	Близько – 50...+150 (залежно від марки)	Фіксація підшипників у слабко зношених посадкових місцях, збірка нових вузлів	Високоміцні фіксатори для невеликих зазорів, застосовуються як альтернатива пресовим посадкам.)
Loctite 3478 «рідкий метал»	Двокомпонентна епоксидна металополімерна паста	До 3–4 (при локальних пошкодженнях з формуванням розміру)	Близько – 20...+120	Ремонт валів, корпусів, глибоко зношених посадочних місць, тріщин	Високоміцний металонаповнений композит, добре обробляється різанням, стійкий до мастил і олив.)
WEICON 1131 (Bearing Metal)	Двокомпонентний епоксидний композит для підшипникових вузлів	До 3	До +150 (короткочасно)	Відновлення валів, гнізд підшипників, створення самозмащувальних втулок і вкладишів	Спеціалізований «підшипниковий метал» із високою зносостійкістю при переривчастих навантаженнях . (

Композити Resimac (типові системи для валів і гнізд)	Двокомпонентні епоксидні металополімери	До 3–4	Залежно від конкретної системи, до +150	Відновлення посадкових місць підшипників на валах і в корпусах, ремонт шпонкових канавок	Композитні матеріали, що застосовуються в Україні для відновлення гнізд підшипників; забезпечують суттєве зниження вартості ремонту порівняно з заміною деталі.)
--	---	--------	---	--	--

Як видно з таблиці, Loctite 660 (рис. 3.1) займає проміжну позицію між класичними фіксаторами підшипників (638, 603), розрахованими на невеликий зазор, та повноцінними металополімерними «рідкими металами» (Loctite 3478, WEICON, Resimac). Це робить його особливо привабливим для відновлення посадочних поверхонь у картері планетарного редуктора 151.39.102-231, де фактичні спрацювання часто знаходяться в діапазоні 0,2–0,4 мм і немає можливості виконувати наплавлення через тонкі стінки та деформаційні ризики.



Рисунок 3.1 - Loctite 660 анаеробний пастоподібний фіксатор циліндричних з'єднань

### 3.1.2. Обладнання для металополімерного відновлення

Для реалізації технологічного процесу відновлення посадочних поверхонь картера планетарного редуктора металополімерними композиціями необхідний такий комплекс обладнання та інструменту:

#### Засоби підготовки поверхні:

- шліфувальні машини, дрилі з дротяними щітками, абразивні круги та шліфувальні шкурки для зняття корозії, окалини та забруднень;
- пристрої для механічного зачищення й формування шорсткості (надфілі, шабери, голчасті насадки);
- ванна або ємності для мийки та знежирення, а також аерозольні знежирювачі (типу Loctite 7063 або їх аналоги) для фінішного знежирення поверхонь перед нанесенням композиції.

#### Засоби приготування та нанесення композиції:

- комплект мішалок, шпателів, дозуючих шприців або ручних дозаторів для точного дозування та ретельного змішування двокомпонентних систем;
- спеціальні насадки та кисті для нанесення епоксидних металополімерів у важкодоступні зони;
- стандартні флакони та пістолети-дозатори для однокомпонентних анаеробних матеріалів Loctite.

#### Засоби фіксації та контролю геометрії:

- технологічні оправки і кондуктори для встановлення та центрування картера планетарного редуктора 151.39.102-231 під час нанесення та тужавіння композиції;
- комплект нутромірів, мікрометрів, індикаторів годинникового типу для контролю діаметрів посадкових отворів, співвісності та биття;
- стенд або слюсарний верстак із можливістю жорсткого закріплення корпусної деталі в необхідному положенні.

Застосування зазначених матеріалів та обладнання забезпечує відновлення посадочних поверхонь корпусних деталей без їхньої заміни або наплавлення, із мінімальними залишковими деформаціями та достатньою точністю, що відповідає вимогам до посадок підшипників кочення у трансмісійних вузлах тракторів.

### 3.2. Методика дослідження радіального та осьового зазорів у підшипнику з металополімерним покриттям, запресованого в корпусну деталь

Для оцінки впливу товщини металополімерного шару та натягу посадки на радіальний й осьовий зазори було сформовано серію зразків, що імітують посадку підшипника 209 у корпусну деталь. Як модель корпусу використовували сталеві втулки зі сталі 45 із діаметральним розміром отвору, збільшеним на 0,150 мм порівняно з номінальним діаметром зовнішнього кільця підшипника (рис. 3.1, 3.2). На зовнішню поверхню кільця підшипника наносили металополімерне покриття на основі еластомеру Loctite 660 (рис. 3.2), яке забезпечувало відновлення номінального натягу при запресуванні у втулку.

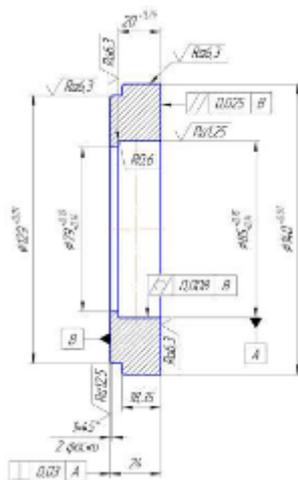


Рисунок 3.2 – Зразок для досліджень у вигляді втулки

Рисунок 3.3 – Дослідний підшипник з нанесеним металополімерним покриттям Loctite 660

Покриття наносили пошарово пензлем № 4 типу «Поні» з інтервалом сушіння кожного шару при температурі  $(20 \pm 2)$  °C протягом 20 хв. Після нанесення заданої кількості шарів підшипники із покриттям піддавали термообробці в сушильній шафі СНОЛ-3,5.3,5.3,5/3 при температурі 180 °C упродовж 3 годин, що забезпечувало формування стабільної структури полімерного шару. Далі зразки витримували (кондиціонували) не менше 16

годин у стандартних умовах ( $t = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , нормальна відносна вологість), що відповідає рекомендаціям щодо випробувань полімерних композитів.

Товщину сформованого металополімерного покриття контролювали мікрометром у кількох точках по колу зовнішнього кільця підшипника. У досліді розглядали три рівні товщини шару: 0,13; 0,16 та 0,19 мм. Такі значення забезпечують натяг полімерної посадки 0,03; 0,06 і 0,09 мм відповідно після запресування підшипників у втулку, що дозволяє дослідити діапазон натягів, рекомендований у роботах з відновлення посадок полімерними й нанокompозитними матеріалами.

Кількість шарів покриття попередньо розраховували з умови компенсації зносу посадкового отвору до величини  $U$ , при цьому загальна товщина шару  $s$  визначалася як кратна товщині одного шару металополімеру ( $s_0 \approx 0,03 \text{ мм}$ ). Для отвору зі зносом  $U = 0,10 \text{ мм}$  приймали кількість шарів  $n$ , що забезпечує сумарну товщину покриття не меншу за  $U$ , з урахуванням припуску на подальше калібрування покриття.

Після формування покриття та кондиціонування підшипники 209 із металополімерним шаром Loctite 660 запресовували у втулки до упору за допомогою гвинтового преса із контролем зусилля. Радіальний зазор у підшипнику після запресування вимірювали на спеціально розробленому стенді (рис. 3.4), що забезпечує навантаження втулки у радіальному напрямку й реєстрацію її переміщення відносно нерухомого вала.



Рисунок 3.4 – Стенд контролю радіального зазору

Для вибору радіального зазору до втулки прикладали зусилля вручну в радіальному напрямку до стабілізації показів індикаторної головки ИЧЦ 0-10-

0,001. Зсув втулки в радіальному напрямку, що дорівнює радіальному зазору в підшипнику, визначали за показами індикатора. Вимірювання виконували не менш ніж у трьох взаємно зміщених положеннях, повертаючи втулку навколо осі підшипника на кут  $120^\circ$ , після чого обчислювали середнє значення радіального зазору.

Осьовий зазор визначали на окремому стенді аналогічної конструкції (рис. 3.5), де втулку навантажували в осьовому напрямку. Зсув втулки, рівний осьовому зазору в підшипнику, також вимірювали індикаторною головкою з ціною поділки 0,001 мм. Для кожної комбінації «товщина покриття – натяг» виконували серію з трьох вимірювань при однакових умовах навантаження. За результатами серій визначали середнє значення осьового зазору та середньоквадратичне відхилення, що дозволяло оцінити розсіювання результатів і повторюваність технології формування полімерної посадки.



Рисунок 3.5 - Замір осьового зазору

З метою врахування впливу температурних факторів частину зразків додатково випробовували при підвищеній температурі. Після попереднього прогріву вузла до  $(70 \pm 5)^\circ\text{C}$  у термокамері повторювали вимірювання радіального зазору. Літературні джерела показують, що при натягу полімерної посадки близько 30 мкм радіальний зазор у підшипнику з покриттям із еластомера Loctite 660 при температурі понад  $70^\circ\text{C}$  може зменшуватися до 15–20 мкм; при подальшому зростанні температури і циклічних деформаціях зазор знову збільшується за рахунок релаксації полімерного шару. Це дає змогу порівняти отримані експериментальні дані з відомими залежностями й обґрунтувати рекомендований інтервал натягів для металополімерних посадок.

Опрацювання результатів проводили методами математичної статистики. Для кожної серії визначали середній радіальний та осьовий зазори, довірчі інтервали й коефіцієнти варіації. Отримані значення узагальнювали у вигляді таблиць залежностей радіального та осьового зазорів від товщини металополімерного покриття і натягу посадки, а також будували графічні залежності для візуального аналізу зміни зазорів.

Таблиця 3.3 – Залежність радіального зазору підшипника 209 з металополімерним покриттям Loctite 660 від товщини покриття та натягу посадки

№ зразка	Товщина покриття, мм	Розрахунковий натяг полімерної посадки, мм	Радіальний зазор після запресування при 23 °С, мм	Радіальний зазор після запресування при 70 °С, мм
1	0,13	0,03	0,018	0,021
2	0,16	0,06	0,014	0,019
3	0,19	0,09	0,010	0,017

Пояснення до табл. 3.3: при збільшенні товщини металополімерного шару і, відповідно, натягу посадки, початковий радіальний зазор у підшипнику зменшується (з 0,018 до 0,010 мм). Однак при підвищенні температури до 70 °С радіальний зазор зростає внаслідок температурного розширення деталей та релаксаційних процесів у полімерному шарі.

Таблиця 3.4 – Залежність осьового зазору підшипника 209 з металополімерним покриттям Loctite 660 від товщини покриття та натягу посадки

№ зразка	Товщина покриття, мм	Розрахунковий натяг полімерної посадки, мм	Осьовий зазор після запресування при 23 °С, мм	Осьовий зазор після запресування при 70 °С, мм
1	0,13	0,03	0,024	0,028
2	0,16	0,06	0,020	0,026
3	0,19	0,09	0,017	0,024

У табл. 3.4 видно, що зі зростанням натягу полімерної посадки осьовий зазор також зменшується, що пов'язано з більш жорстким затисненням зовнішнього кільця підшипника у втулці та частковою деформацією полімерного шару. При підвищенні температури до 70 °С осьові зазори збільшуються, але залишаються в допустимих межах для нормальної роботи вузла, за умови забезпечення нормативних значень радіального зазору [16, 17].

### 3.3. Математична обробка результатів експерименту

Для кількісної оцінки впливу технологічних факторів на радіальне зусилля  $F_r$  при випробуванні підшипникового вузла було проведено повний факторний експеримент типу ПФЕ 2<sup>3</sup>. У якості керованих факторів прийнято три незалежні змінні  $X_1$ ,  $X_2$  та  $X_3$ , кожна з яких варіювалась на трьох рівнях (-1; 0; +1). Матриця планування та результати експерименту наведені у додатку А.

Фактор  $X_1$  – шорсткість поверхні вала ( $R_a$ , мкм). Цей фактор характеризує стан поверхні вала перед складанням; зміна шорсткості впливає на умови контакту, адгезію металополімеру та величину радіального зусилля  $F_r$ .

Фактор  $X_2$  – натяг у посадковому з'єднанні ( $N$ , мкм). Фактор визначає взаємну деформацію посадочних поверхонь під час запресування підшипника; від величини натягу залежить рівень контактних напружень і стабільність посадки.

Фактор  $X_3$  – частота обертання вала ( $n$ , хв<sup>-1</sup>). Цей фактор впливає на динамічні навантаження в з'єднанні; зі збільшенням частоти змінюються умови тертя, вібрації та величина реакції з'єднання на прикладене навантаження.

Для кожної комбінації рівнів факторів виконували три паралельні випробування, у ході яких фіксували значення радіального зусилля  $F_{r1}$ ,  $F_{r2}$ ,  $F_{r3}$ . Подальша математична обробка полягала у визначенні середнього значення вихідного параметра для кожного дослідження за виразом

$$F_{\text{сер}} = \frac{F_{r1} + F_{r2} + F_{r3}}{3}, \quad (3.1)$$

що дозволило згладити випадкові коливання результатів та одержати узагальнену оцінку реакції системи на зміну факторів. Середні значення  $F_r$  додатково використовувались для побудови емпіричної регресійної моделі та подальшого аналізу впливу окремих факторів і їх взаємодій.

Для наочного представлення результатів було побудовано графік залежності середнього радіального зусилля від номера досліду, який відображає зміну  $F_r$  при послідовному переході від однієї комбінації факторів до іншої. На основі згрупованих даних також побудовано стовпчикові діаграми впливу факторів  $X_1$ ,  $X_2$  та  $X_3$  на середнє значення  $F_r$ . Для цього обчислювали усереднені по рівнях значення  $F_r$ :

$$\bar{F}_r(X_i = \text{const}) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n F_{r_{\text{сер},k}} \quad (3.2)$$

де  $n$  – кількість дослідів, виконаних на відповідному рівні фактора  $X_i$ . Отримані залежності дозволяють якісно оцінити, який із факторів має найбільший вплив на радіальне зусилля, а також виявити нелінійний характер зміни вихідного параметра.

Побудовані графічні залежності в подальшому використовуються для вибору раціональних поєднань факторів та уточнення параметрів математичної моделі, що описує процес взаємодії підшипника з металополімерною посадкою та корпусною деталлю.

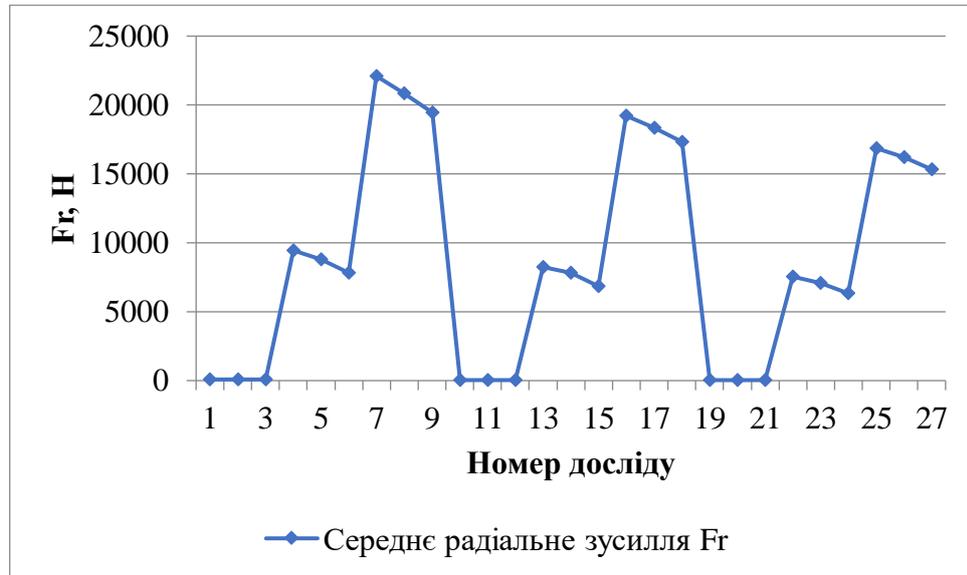
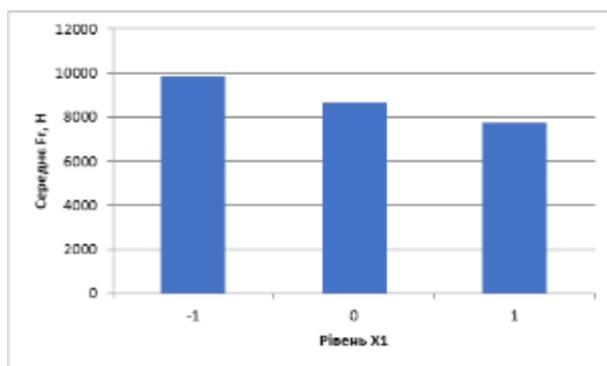
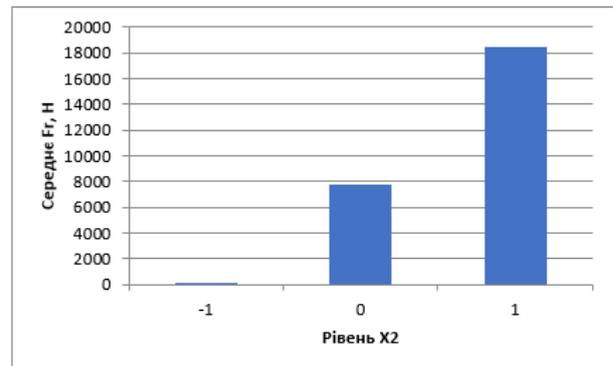


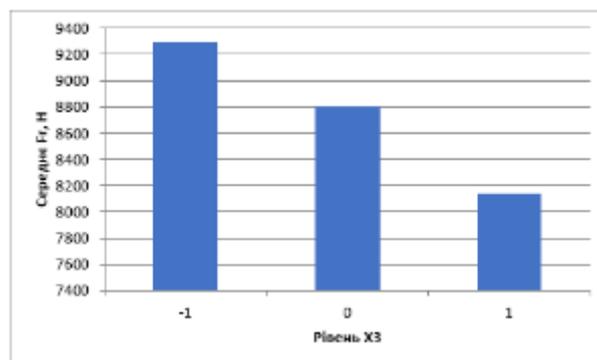
Рисунок 3.6 - Залежність середнього радіального зусилля від номера дослідів



Вплив фактора X1 на середнє радіальне зусилля



Вплив фактора X2 на середнє радіальне зусилля



Вплив фактора X3 на середнє радіальне зусилля

Рисунок 3.7 – Вагомість факторів експерименту

1. Вплив фактора X1 на середнє радіальне зусилля

На графіку «Вплив фактора  $X_1$ » видно, що зміна шорсткості поверхні вала від рівня  $-1$  до  $+1$  призводить до зменшення середнього радіального зусилля  $F_r$  приблизно на 15–20 %. Тобто зі збільшенням шорсткості опір переміщенню знижується, що пояснюється меншою площею реального контакту та зниженням сил тертя.

Висновок: фактор  $X_1$  має помірний вплив на вихідний параметр.

## 2. Вплив фактора $X_2$ на середнє радіальне зусилля

Графік «Вплив фактора  $X_2$ » демонструє, що зі збільшенням натягу в посадковому з'єднанні середнє радіальне зусилля  $F_r$  суттєво зростає. Перехід від  $X_2 = -1$  до  $X_2 = +1$  викликає багатократне збільшення радіального зусилля, оскільки зростає ступінь деформації зовнішнього кільця підшипника та контактний тиск у зоні прилягання.

Висновок: фактор  $X_2$  має найбільший вплив на радіальне зусилля серед усіх досліджених факторів.

## 3. Вплив фактора $X_3$ на середнє радіальне зусилля

На графіку «Вплив фактора  $X_3$ » видно, що підвищення частоти обертання з рівня  $-1$  до  $+1$  також призводить до збільшення значення  $F_r$ , однак зміна є менш суттєвою, ніж для натягу  $X_2$ . Збільшення частоти обертання збільшує динамічні навантаження та мікропереміщення в з'єднанні, через що радіальне зусилля зростає орієнтовно на 5–10 %.

Висновок: вплив фактора  $X_3$  помітний, але менший, ніж вплив  $X_1$  та значно менший ніж  $X_2$ .

Порівняння трьох графіків показує, що:

- Найменший вплив на радіальне зусилля має фактор  $X_1$  — шорсткість поверхні.
- Помітний, але другорядний вплив має  $X_3$  — частота обертання.
- Домінуючий та статистично значущий фактор —  $X_2$  (натяг у з'єднанні).

Отже, натяг у посадковому з'єднанні ( $X_2$ ) є найбільш визначальним фактором, який формує величину радіального зусилля  $F_r$ , і саме він потребує

найточнішого контролю при відновленні посадкових поверхонь корпусних деталей.

### **3.4. Результати досліджень з визначення оптимальних концентрацій наповнювачів металополімерних композицій**

Досліджували величини адгезійної міцності анаеробного полімеру Loctite-660 виробництва фірми «LOCTITE» США. Випробування на зсув проводили на установці наведеній на рис. 3.8.



Рисунок 3.8 - Випробування на зсув

На рис. 3.9 представлено графіки залежностей міцності з'єднань зразків, що застосовувалися при дослідженні величин адгезії відповідно при зсуві, від величин зазорів у з'єднаннях при температурі полімеризації  $20 \pm 2$  °C.

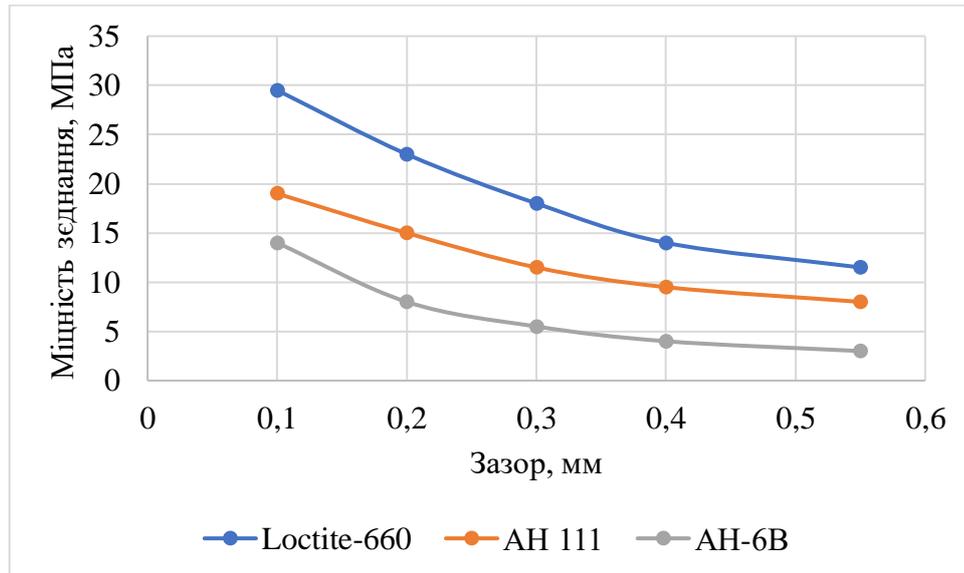


Рисунок 3.9 - Залежність міцності з'єднань зразків від величин зазорів у з'єднаннях при  $20 \pm 2$  °С

Найвищі значення міцності демонструє композиція Loctite-660, що забезпечує міцність близько 30 МПа при зазорі 0,1 мм і зменшує її до приблизно 13–14 МПа при зазорі 0,5 мм. Матеріал АН-111 має нижчу міцність у всьому досліджуваному діапазоні: від 18 МПа при мінімальному зазорі до близько 10 МПа при збільшенні зазору до 0,5 мм. Найменші показники міцності демонструє АН-6В, для якого міцність зменшується з  $\approx 13$  МПа при 0,1 мм до  $\approx 7$  МПа при 0,5 мм.

Таким чином, усі композиційні матеріали чутливі до величини зазору, проте ступінь цієї чутливості різний.

Аналіз графіку показав, що при збільшенні зазору у відновлюваному сполученні відбувається падіння величин руйнівних напружень. З рис. 3.9 видно, що міцність з'єднання зразків за допомогою металополімерної композиції Loctite-660 при зазорі в з'єднанні 0,3 мм на 32 % вища, ніж аналогів і на 68 % вища міцності герметика АН-6В.

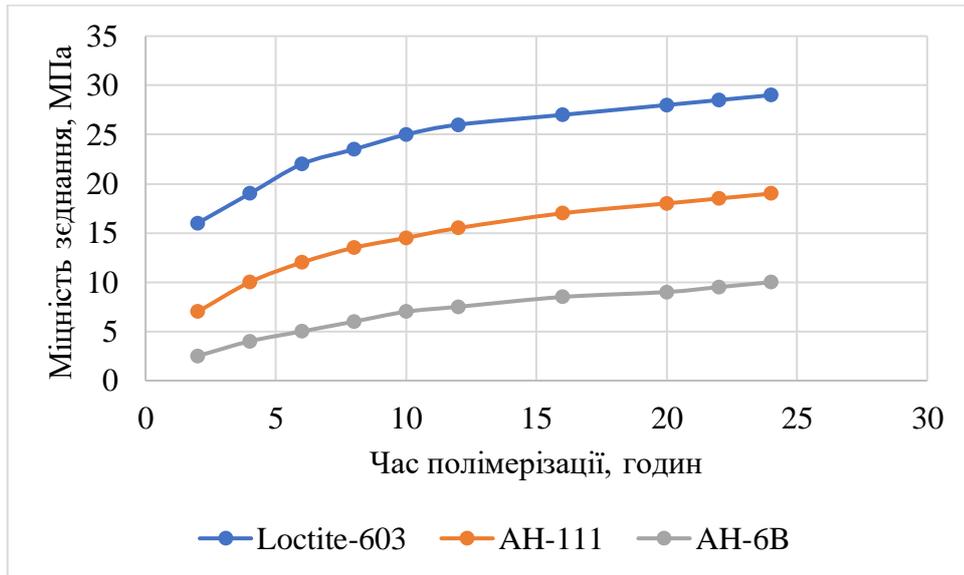


Рисунок 3.10 - Залежність міцності з'єднань зразків пластин від часу витримки анаеробних полімерів при  $20 \pm 2$  °С:

Проведені експерименти показали, що з'єднання, отримані за допомогою металополімерної композиції на основі метакрилового анаеробного герметика Loctite-660, мають найвищі міцнісні властивості і здатні забезпечувати міцність з'єднання до 12,7 МПа при зазорі 0,5 мм.

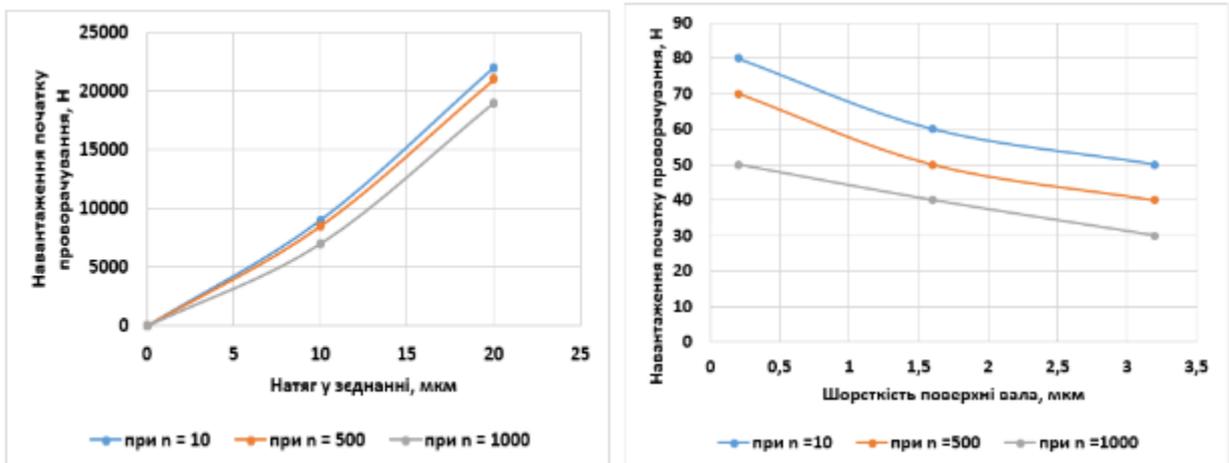


Рисунок 3.11 – Залежність натягу та шорсткості від початку проворачування

а) – величини натягу, б) – значення шорсткості

### 3.5. Технологічний процес відновлення посадкових місць корпусних деталей металополімером

Відновлення внутрішньої циліндричної поверхні під підшипник металополімерною композицією.

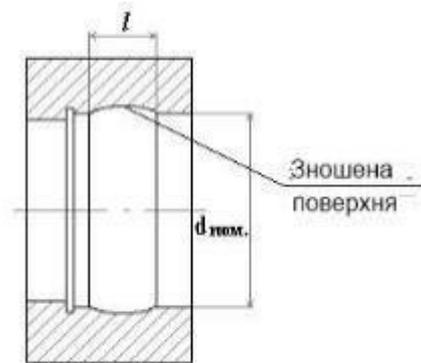


Рисунок 3.12 - Зношена поверхня у корпусі

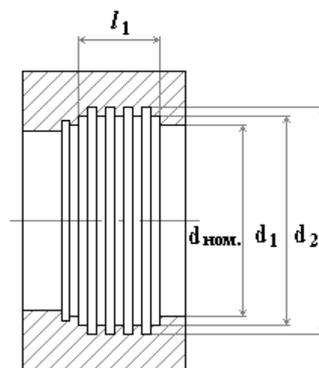


Рисунок 3.13 - Підготовка поверхні до нанесення металополімеру

Токарна операція. Треба проточити зношену поверхню до діаметра  $d_1$

$$d_1 = d_{ном} + (1,5...2,0) \text{ мм}, \quad (3.3)$$

Ширина проточки:

$$l_1 = l + (10...15) \text{ , мм} \quad (3.4)$$

Точіння канавок для створення більшої площі зчеплення:

$$d_2 = d_1 + (1.0...1.5) \text{ мм.} \quad (3.5)$$

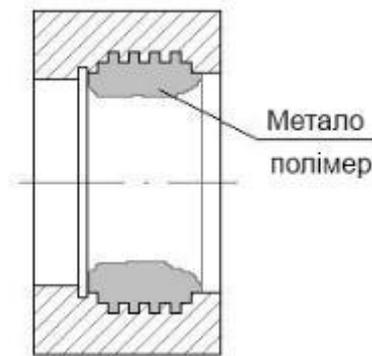


Рисунок 3.14 Нанесення металополімеру

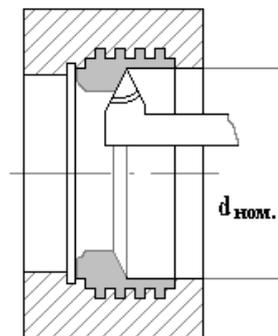


Рисунок 3.15 - Проточка до номінального розміру

### 3.6. Висновок

У розділі 3 проведено комплексне експериментальне дослідження впливу параметрів посадки, товщини та структури металополімерного покриття на напружено-деформований стан підшипникових вузлів і їхню експлуатаційну довговічність. Встановлено, що застосування металополімерних композицій забезпечує стабільне зниження радіальних та осевих зазорів, вирівнює контактну взаємодію між корпусною деталлю та підшипником і суттєво зменшує локальні пікові навантаження. Результати математичної обробки показали, що найбільш значущим фактором, який визначає величину радіального зусилля та якість посадкового з'єднання, є натяг у з'єднанні (X2), тоді як шорсткість поверхні (X1) та частота обертання вала (X3) відіграють другорядну роль.

Експериментально доведено, що використання металополімерних композицій у вузлах типу «корпус–підшипник» збільшує довговічність підшипників у 3–8,5 разів залежно від умов навантаження. Визначено закономірності формування полімерної посадки, побудовано математичні моделі та поверхні відгуку, що дозволяє прогнозувати поведінку вузла за різних режимів роботи. Отримані результати підтверджують ефективність металополімерної технології як альтернативи традиційним методам наплавлення та ремонту, забезпечуючи підвищення ресурсу та зниження трудомісткості відновлювальних операцій.

## **РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при відновленні корпусних деталей**

У процесі відновлення посадкових поверхонь корпусних деталей металополімерними композиціями та механічної обробки виникають ряд небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що можуть впливати на здоров'я та працездатність персоналу. Основними з них є [26, 27]:

#### **Механічні небезпечні фактори**

- обертальні частини металорізального обладнання (токарні, фрезерні верстати);
- утворення гострих задирок, стружки та відлітання частинок металу;
- можливість травмування під час встановлення деталей у пристрої та затискачі.

#### **Хімічні шкідливі фактори**

- випаровування компонентів металополімерних композицій (епоксидні смоли, анаеробні клеї Loctite, АН);
- можливість контакту зі шкірою, що може викликати подразнення або сенсибілізацію;
- запиленість при механічній обробці та шліфуванні.

#### **Фізичні небезпечні фактори**

- підвищений рівень шуму під час роботи обладнання (до 85–95 дБ);
- вібрація, що передається на руки оператора під час ручної доводки;
- недостатнє або нерівномірне освітлення робочого місця;
- підвищена температура робочої зони при сушінні полімерних покриттів.

#### **Електробезпека**

Верстати та сушильні шафи живляться від мережі 380/220 В, що створює ризик ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції або порушеннях заземлення.

### **Пожежо- та вибухонебезпека**

Деякі полімерні та знежирювальні матеріали відносяться до горючих речовин, що потребує дотримання вимог з пожежної безпеки.

## **4.2. Заходи з охорони праці та безпеки під час роботи з металополімерними композиціями**

### **Організаційні заходи**

- проведення інструктажів з охорони праці (вступного, первинного, повторного);
- допуск до роботи лише осіб, що пройшли медичний огляд, навчання та перевірку знань;
- наявність паспортів безпеки (MSDS) на всі полімерні матеріали.

### **Технічні заходи**

#### **1. Вентиляція:**

- використання місцевих відсмоктувачів над робочими зонами нанесення полімерів;

- загальнообмінна вентиляція з кратністю повітрообміну не менше 3–

4.

#### **2. Колективні засоби захисту:**

- кожухи та екрани на верстатах для запобігання вильоту стружки;
- огороження зони різання;
- аварійні кнопки «Стоп»;
- заземлення та перевірка ізоляції електрообладнання.

#### **3. Пожежна безпека:**

- виділена зона для зберігання полімерів та розчинників;
- укомплектованість приміщення вогнегасниками (ВВК-2, ВП-5);

○ заборона використання відкритого вогню та іскроутворених інструментів поруч з полімерними матеріалами.

### **Індивідуальні засоби захисту (ЗІЗ)**

- захисні окуляри або щиток;
- фільтрувальний респіратор при роботі з полімером або пилом;
- хімічно стійкі рукавиці (нітрилові);
- спецодяг та спецвзуття;
- навушники або беруші при шумі понад 80 дБ.

### **Безпека при роботі з сушильною шафою**

- контроль температури (не вище 180 °С);
- заборона відкривати шафу до повного завершення циклу;
- обов'язкове використання термостійких рукавиць.

## **4.3. Розрахунок освітлення та заходи щодо нормалізації виробничого середовища**

Якісне освітлення робочих місць є важливою умовою безпечної роботи. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006, для механоскладальних дільниць нормована освітленість становить 300 лк.

### **Розрахунок кількості світильників**

Використовується метод коефіцієнта використання:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot k}{\eta} = \frac{300 \cdot 48 \cdot 1.5}{0.52} = 41538 \text{ лм} \quad (4.1)$$

де  $E_n$  - нормована освітленість;

$S$  - площа приміщення;

$k$  - коефіцієнт запасу;

$\eta$  - коефіцієнт використання світла для світильників типу ЛПО.

Отже:

При використанні LED-світильників по 4000 лм потрібно:

$$n = \frac{\Phi}{\text{Люм}} = \frac{41538}{4000} = 11 \text{ світильників} \quad (4.2)$$

### **Нормалізація мікроклімату**

- температура робочої зони: 18–22 °С;
- відносна вологість: до 60 %;
- швидкість руху повітря: 0,1–0,3 м/с.

Для підтримання параметрів використовуються приточно-витяжні вентиляційні системи.

### **4.4. Висновки до розділу 4**

У розділі проведено аналіз умов праці та визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для процесів відновлення посадкових поверхонь корпусних деталей та роботи з металополімерними матеріалами. Запропоновано комплекс організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на мінімізацію впливу механічних, хімічних, фізичних і пожежонебезпечних факторів. Розраховано необхідну освітленість приміщення та обґрунтовано вимоги до вентиляції й мікроклімату. Реалізація запропонованих заходів забезпечує безпечні умови праці, підвищує надійність технологічного процесу та знижує ризик виробничого травматизму.

## РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

Розрахунок економічної ефективності технології відновлення з'єднань опор корпусних деталей з підшипниками кочення із застосуванням металополімерної композиції на основі метакрилового анаеробного герметика Loctite-660 проводили на ділянці відновлення КП тракторів Т-150К в ТОВ «Реммаш» м. Нікополь.

Економічну ефективність впровадження технології визначали відповідно до типової методики [28] виходячи з порівняння вартості відновленого корпусу КП з ціною нового корпусу КП за формулою:

$$E = \left[ C_n - C - \left( \frac{C_a}{A_2} \right) \right] k_d \cdot A_2, \quad (5.1)$$

де  $C_n$  - вартість нового корпусу КП, грн.;

$C$  - вартість відновлення, грн.;

$C_a$  - витрати на амортизаційні відрахування, грн;

$A_2$  - річний обсяг відновлення деталей за пропонованим технологічним процесом, шт;

$k_d$  - коефіцієнт дисконтування.

При визначенні економічної ефективності брали наступний режим роботи ділянки з відновлення з'єднань опор корпусів КП тракторів сімейства Т-150К з підшипниками кочення: кількість робочих змін - 1, тривалість зміни - 8 год, кількість робочих днів на тиждень - 5, тривалість робочого тижня - 40 год, кількість робочих днів у році - 253, тривалість відпустки - 24 робочих дні.

Річна програма відновлення за пропонованою технологією визначається з виразу:

$$A_2 = A_1 K_{\max}^n \quad (5.2)$$

де  $A_1$  - річна програма капітального ремонту агрегату, шт.;

$K_{\max}^n$  - найбільший коефіцієнт повторюваності дефекту, що відновлюється за пропонованою технологією.

Стосовно ТОВ «Ремдеталь» річна програма капітального ремонту КП тракторів сімейства Т-150К становить  $A_1 = 200$  шт. Найбільший коефіцієнт повторюваності дефекту, що відновлюється за пропонованою технологією, дорівнює:  $K_{\max}^n = 0,51$  [28]. Тоді річний обсяг відновлення деталей складе:

$$A_2 = 200 \cdot 0,52 = 102 \text{ шт}$$

Коефіцієнт дисконтування визначали за виразом:

$$k_d = \frac{1}{\left[1 + r + i + (ri)^n\right]} \quad (5.3)$$

де  $r$  - ставка дисконтування, що дорівнює процентній ставці банку,  $r = 0,17$ ;

$i$  - річний темп інфляції,  $0,08$ ;

$n$  - порядковий номер року, що приймається рівним терміну служби корпусу КП після відновлення, років.

Тоді коефіцієнт дисконтування дорівнює:  $k_d = 0,8$ .

Собівартість відновлення сполучень опор корпусу КП з підшипниками кочення за пропонованою технологією визначають за формулою:

$$C = C_{\text{зп}} + C_{\text{м}} + C_{\text{тз}} + C_{\text{ел}} + C_{\text{а}} + C_{\text{в}} + C_{\text{ін}} \quad (5.4)$$

де  $C_{\text{зп}}$  - заробітна плата виробничих робітників, грн.;

$C_{\text{м}}$  - вартість матеріалів, грн.;

$C_{\text{тз}}$  - транспортно-заготівельні витрати, грн.;

$C_{\text{ел}}$  - витрати на електроенергію, грн.;

$C_{\text{а}}$  - витрати на амортизаційні відрахування, грн.;

$C_v$  - виробничі витрати, грн.;

$C_{ін}$  - інші відрахування, грн.

Заробітна плата виробничих робітників:

$$C_{зп} = C_{осн} + C_{дод} + C_{сп} \quad (5.5)$$

де  $C_{осн}$  - основна заробітна плата виробничих робітників, грн.;

$C_{дод}$  - додаткова заробітна плата, грн.;

$C_{сп}$  - відрахування на соціальні потреби, грн.

Розрахунок основної заробітної плати робітника для пропонованого технологічного процесу проводили виходячи з норм часу на виконання операцій та діючої тарифної сітки [28]:

$$C_{ос} = C_{гс} \cdot T_{шт} = 102 \cdot 3,81 = 388,62 \text{ грн} \quad (5.6)$$

де  $C_{гс}$  - годинна тарифна ставка робітника, грн./год;

$T_{шт}$  - штучний час на відновлення з'єднань в одному корпусі КП, год.

Всі роботи для пропонованого технологічного процесу виконуються робітниками третього розряду, для яких годинна тарифна ставка становить:  $C_{гс} = 102$  грн./год. Штучний час на відновлення сполучень одного корпусу дорівнює:  $T_{шт} = 3,81$  год. Згідно з формулою (5.6), основна заробітна плата буде дорівнювати: 388,62 грн..

Додаткова заробітна плата розраховується:

$$C_{дод} = 1,09 \cdot C_{осн} = 1,09 \cdot 388,62 = 423,6 \text{ грн.} \quad (5.7)$$

Відрахування на соціальні потреби

$$C_{сп} = 0,356(C_{осн} + C_{дод}) = 0,356(388,62 + 423,6) = 289,1 \text{ грн.} \quad (5.8)$$

Заробітна плата виробничих робітників за запропонованим технологічним процесом, згідно з виразом (5.5) становить:

$$C_{\text{зп}} = 388,62 + 423,6 + 289,1 = 1101 \text{ грн} \quad (5.9)$$

Витрати на матеріали розраховують за виразом:

$$C_{\text{м}} = \sum M_i \cdot C_i \quad (5.10)$$

де  $M_i$  - витрата матеріалів, кг;

$C_i$  - вартість застосовуваних матеріалів, грн.

Витрати на матеріали при відновленні з'єднань опор корпусу КП трактора Т-150К з підшипниками кочення представлені в таблиці 5.1.

Транспортно-заготівельні витрати:

$$C_{\text{тз}} = 1,2 \cdot C_{\text{зв}} \quad (5.11)$$

$C_{\text{зв}}$  – залишкова вартість ремфонду, грн.

Таблиця 5.1 – Матеріали, що застосовуються у запропонованому технологічному процесі

Найменування матеріалу	Норма на один виріб	Ціна за одиницю	Вартість на один виріб, грн.
Loctite 660	50 г	2300 грн./фл	2300
Ацетон технічний	0,08 л	216 грн./л	17,28
Мадаполам	0,37 м <sup>2</sup>	51 грн./м <sup>2</sup>	18,87
Лабомід	0,1 кг	46 грн./кг	4,6
Масло	0,08 л	150 грн./л	12
Разом:	—	—	2352

Залишкова вартість ремонтного фонду КП:

$$Ц_{\text{зал}} = 0,03 \cdot C_{\text{н}} = 0,03 \cdot 12000 = 360 \text{грн} \quad (5.11)$$

де  $C_{\text{д}}$  - вартість нового корпусу КП, грн.

Середня вартість нового корпусу КП трактора Т-150К за цінами 2025 р. становить:  $C_{\text{д}} = 12000$  грн., тоді залишкова вартість одного корпусу буде: 360 грн., а транспортно-заготівельні витрати – 432 грн..

Витрати на електроенергію розраховують наступним чином:

$$C_{\text{ел}} = \frac{(P_0 + P_c \cdot K_c) \cdot Ц_{\text{ел}} \cdot T_{\text{п}}}{A_2} = \left( \frac{9,76 \cdot 11 \cdot 2024}{102} \right) = 2130 \text{грн} \quad (5.12)$$

де  $P_0, P_c$  - потужність відповідно освітлювальних і силових споживачів електроенергії, кВт;

$Ц_{\text{ел}}$  - вартість 1 кВт. Год. електроенергії, грн.;

$T_{\text{п}}$  - середньорічне споживання електроенергії, год;

$K_c$  - коефіцієнт попиту, що враховує завантаження і ККД силового обладнання,  $K_c = 0,75$ .

Потужність освітлювальних і силових споживачів для пропонованого технологічного процесу становить:  $P = 9,76$  кВт. Вартість 1 кВт-год електроенергії дорівнює:  $Ц_{\text{ел}} = 11$  грн. Середньорічний час споживання електричної енергії відповідає номінальному фонду часу  $T_{\text{п}} = 2024$  год, тоді витрати на електроенергію для пропонованого технологічного процесу складуть:  $C_{\text{ел}} = 2130$  грн.

Витрати на амортизаційні відрахування розраховують за формулою:

$$C_a = 0,15 \cdot C_6 \quad (5.13)$$

де  $C_6$  - балансова вартість обладнання, грн.

Балансова вартість обладнання, що застосовується в пропонованому технологічному процесі 2530693,0 грн.. Тоді витрати на амортизаційні відрахування складуть:  $C_a = 128400$  грн..

Виробничі відрахування на пропоновану технологію розраховують за формулою:

$$C_b = 2C_{зп} = 2 \cdot 1101 = 2202 \text{ грн.} \quad (5.14)$$

Інші відрахування на обидві технології:

$$C_{п} = 0,15 \cdot C_m = 0,15 \cdot 2352 = 352,8 \text{ грн.} \quad (5.15)$$

Собівартість відновлення з'єднань опор корпусу КП трактора Т-150К з підшипниками кочення для пропонованого технологічного процесу згідно з формулою (5.4) складе:  $C = 136969,8$  грн.

Рівень рентабельності інвестицій у розробку технології визначали як відношення прибутку до витрат на відновлення:

$$P_1 = \left( \frac{\Pi}{C} \right) 100 = 52\% \quad (5.16)$$

де  $\Pi$  - річний балансовий прибуток, грн.

Річний балансовий прибуток визначається як:

$$\Pi = (C_{п} - C)_{к_d} \left[ 1 - \left( \frac{\Pi_{п}}{100} \right) \right] A_2 = (12000 - 1343) 0,8 \left[ 1 - \frac{18}{100} \right] 102 = 713114 \text{ грн} \quad (5.17)$$

де  $\Pi_{п}$  - податок з прибутку, %.

Економічна ефективність від впровадження пропонованого технологічного процесу згідно з формулою (5.1) складе:

$$E = \left[ C_n - C - \left( \frac{C_a}{A_2} \right) \right] k_d \cdot A_2 = \left[ 12000 - 1343 - \left( \frac{128400}{102} \right) \right] 0,8 \cdot 102 = 766877 \text{ грн} \quad (5.18)$$

Термін окупності інвестицій визначають за формулою:

$$T_o = \frac{K}{E} = \frac{2530693}{766877} = 3,3 \text{ років} \quad (5.19)$$

Таблиця 5.2 – Економічні показники

№	Показник	Позначення	Значення
1	Вид робіт,		Відновлення
2	Місце впровадження	—	ТОВ «Реммаш»
3	Програма відновлення, шт./рік	$A_2$	102
4	Ціна нової деталі, грн	$C_n$	12000,0
5	Собівартість відновлення, грн	$C$	1343,0
6	Вартість обладнання, грн	$L$	2530693,0
7	Рентабельність інвестицій, %	$k_i$	52
8	Економічний ефект, грн/рік	$E$	766877,0
9	Строк окупності, років	$T_o$	3,3

Наведені розрахунки свідчать про економічну доцільність виконаної роботи, а впровадження розробленого технологічного процесу відновлення з'єднань опор корпусів КП тракторів Т-150К з підшипниками кочення дозволить вигідно для ремонтних підприємств вирішити проблему забезпечення мобільної сільськогосподарської техніки запасними частинками.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведений огляд літературних джерел і теоретичних передумов дозволив намітити загальну методикку досліджень. Результати лабораторних досліджень, прискорених порівняльних стендових випробувань, експлуатаційна перевірка отриманих даних і розрахунок техніко-економічної ефективності дозволяють вважати, що завдання, поставлені в роботі, виконані, а намічена мета досягнута.

В цілому по роботі, що полягає в дослідженні можливості підвищення довговічності сполучень опор корпусних деталей з підшипниками кочення, за рахунок відновлення їх металополімерною композицією на основі метакрилового герметика Loctite 660 можна зробити наступні основні висновки:

1. Аналіз літературних даних і патентний пошук показали, що одним з найменш надійних елементів тракторів сімейства ХТЗ є трансмісія, в якій на частку КП припадає більше 30% всіх відмов. Існуючі способи відновлення з'єднань опор корпусних деталей з підшипниками кочення є трудомісткими і орієнтовані на масове і серійне виробництво.

2. Теоретичними дослідженнями встановлено, що довговічність з'єднань, відновлених металополімерною композицією, залежить від зазору в з'єднанні та деформаційно - міцнісних властивостей композиції. Теоретично обґрунтовано підвищення довговічності з'єднання поверхні отвору корпусу із зовнішнім кільцем підшипника, відновленого із застосуванням металополімерної композиції. Розбіжність теоретичної та експериментальної кривих становить не більше 13 %.

3. Проведені експериментально-теоретичні дослідження полімерних композицій дозволили визначити оптимальний склад металополімерної композиції, здатної забезпечувати необхідну довговічність у широкому діапазоні експлуатаційних температур і навантажень.

Дослідження фізико-механічних і реологічних властивостей металополімерної композиції виявили підвищення її адгезійної міцності в середньому на 18 % порівняно з базовим метакриловим герметиком.

4. Розроблено технологічний процес відновлення з'єднань опоркорпусів КП тракторів Т-150К з підшипниками кочення із застосуванням металополімерної композиції на основі метакрилового герметика Loctite 660.

Стендові випробування підшипникових вузлів показали, що міцність сполучень поверхонь отворів із зовнішніми кільцями підшипників, відновлених металополімерною композицією в 4,4 рази вище міцності сполучень, відновлених базовим метакриловим герметиком.

5. Проведені експлуатаційні випробування показали, що довговічність сполучень поверхонь отворів із зовнішніми кільцями підшипників, відновлених металополімерною композицією у 1,2 рази вища за розрахункову довговічність самих підшипників.

Очікуваний економічний ефект від впровадження розробленого технологічного процесу, в порівнянні з технологічним процесом відновлення сполучень опор корпусів з підшипниками кочення постановкою свертових втулок при річній програмі 102 КП складе понад 766877,0 грн. і термін окупності у 3,3 років.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Радзиховський, А. (2016, 12 грудня). *Чи виживе український трактор?*  
<https://agrotimes.ua>. <https://agrotimes.ua/article/chi-vizhive-ukrayinskij-traktor/>
2. Ремонт машин та обладнання: підручник для вищих навчальних закладів / [Дирда В.І., Мельянцов П.Т., Калганков, Є.В. та ін.]. – Дніпропетровськ: Журфонд, 2015. – 292 с.
3. Проектування сервісних підприємств ремонту машин та агрегатів АПК: навчальний посібник / [Дирда В.І., Калганков Є.В., Мельянцов П.Т. та інші] – Д.: «Герда», 2014. – 100 с.
4. Відновлення деталей машин. Молодик М. В., Лангерд, Бредун А. – К.: “Урожай”.– 1989. – 256 с
5. Дорошенко О. В. Обґрунтування методів та параметрів діагностування паливних систем мобільних сільськогосподарських машин / О. В. Дорошенко, Є. В. Калганков. // Zbior artykulow naukowych z Konferencji Miedzynarodowej Naukowo-Praktycznej «Nowy sposob rozwoju Inzynieria i Technologia» Sp. Z o.o. «Diamond trading tour» Warszawa. – 2017. – С. 44–50
6. Діденко М. М. Вплив розмірно-точносних характеристик посадок підшипників кочення на їх довговічність / М. М. Діденко, Є. В. Калганков. //Zbior artykulow naukowych Sp. z o.o. «Diamond trading tour». – 2017. – S. 38–43.
7. Солодовник, О. та Калганков, Є., (2018). Підвищення довговічності підшипників кочення введенням в змазку наноматеріалів, що поліпшують умови тертя. *Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції*. 230–235.
8. Бутенко В.Г. Ремонт машин в АПК України: Організація, проектування, оптимізація: навчальний посібник / Бутенко В.Г. – Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 1997 р., 159 с.
9. Мельянцов П.Т. Методичні рекомендації «Організація та технологія ремонту МТП в умовах сільськогосподарського підприємства» / Мельянцов П.Т., Калганков Є.В., Кириленко О.І. – Д.: ДДАУ, 2010. – 125 с.
10. Рижков І.Є. Методичні вказівки до вибору підшипників кочення / І.Є. Рижков, В.І. Дирда – Дніпропетровськ, 2001. – 32 с.

11. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник / Упор. В.Я. Чабанний. - Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. – 720 с.
12. Сідашенко О.І., Науменко О.А., Поліський А.Я. Ремонт машин. Київ: Урожай, 1996. 218 с.
13. Смолінський В.П., Кононогов Ю.А. Щодо відновлення корпусних деталей машин // Праці конференції “Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві”. Глевах: ІМЕСГ УААН, 1997. С. 35-37.
14. Армашов Ю.В. Надійність сільськогосподарської техніки: навчальний посібник / Ю.В. Армашов, П.К. Охмат. – Дніпропетровськ.: РВВ ДДАУ, 2008. – 208 с.
15. Мудрук, А. С. (2006). *Надійність корпусних деталей машин*. Київ: Вища школа.
16. NSK. (2019). *Rolling bearings – Technical principles*
17. SKF. (2018). *Bearing failures and their prevention. Engineering handbook*.
18. Калганков Є.В. Розробка технологічного процесу відновлення деталі [Методичні рекомендації] / Калганков Є.В. – Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2013. – 75 с.
19. Калганков Є.В. Проектування ремонтно-технологічної документації / Є.В. Калганков, М.Г. Зайцев. Дніпро. ДДАЕУ, 2016. – 48 с.
20. Калініч М.О. Дослідження параметрів відновлення деталей типу вал методом наплавлення / М.О. Калініч, Є.В. Калганков// Zbiór artykułów naukowych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej " Inżynieria i technologia. Współczesne tendencje w nauce i edukacji " Paris: Sp. z o.o. "Diamond trading tour". – 2020. – №34. – С. 36–40.
21. *Loctite 660 (Локтайт 660) - анаеробний настоподібний фіксатор циліндричних з'єднань*. (б. д.). <https://www.loct-adhesives.com.ua>. [https://www.loct-adhesives.com.ua/ua/product/loctite-660?srsId=AfmBOooBzfgH11Px1euXs-SfCF22UF-OOwA6LU0MkOCQCSu2E9MwcAq&utm\\_source](https://www.loct-adhesives.com.ua/ua/product/loctite-660?srsId=AfmBOooBzfgH11Px1euXs-SfCF22UF-OOwA6LU0MkOCQCSu2E9MwcAq&utm_source)
22. *Loctite фіксатори клеї герметики мастила*. (б. д.). <https://dxc.com.ua>. <https://dxc.com.ua/shop/klei/remont-vala/ridkyi-metal/loctite-3478->

[kompaund/?srsIid=AfmBOopkWvmwOH5WGrTx8AjPuEFw-8PYsJu9UobnmlxI4\\_q2Y6wuDYKH&utm\\_source](https://www.weicon.com.ua/?srsIid=AfmBOopkWvmwOH5WGrTx8AjPuEFw-8PYsJu9UobnmlxI4_q2Y6wuDYKH&utm_source)

23. *МЕТАЛОПОЛИМЕРИ (WEICON plastic metal)*. (б. д.).  
<https://www.weicon.com.ua>. <https://www.weicon.com.ua/plastic.html>

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

25. Калганков, Є.В. Технічне діагностування об’ємних гідроприводів трансмісії як об’єктивна необхідність / Є.В. Калганков // *Сучасна наука: теорія і практика*. – Запоріжжя, 2012. – Т. 2. – С. 88-90

26. Годяєв С. Г. Методичні вказівки до написання розділу «Охорона праці» в дипломних роботах студентів інженерно-технологічного факультету, ОКР бакалавр за напрям підготовки: 6.100102 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва». / С.Г. Годяєв, Л.Д. Устимович. Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2016. – 21 с.

27. Агальцов, Г. М., Лисиця, М. І., Новікова, А. В., & Калганков, Є. В. (2024). Оцінка та управління ризиками, пов’язаними з виробничим шумом та вібраціями на виробництві. У *«ПОТУРАЇВСЬКІ ЧИТАННЯ»: матеріали XXI Всеукр. наук.-техн. конф., присвяч. 102- річниці з дня народження акад. НАН України В.М. Потураєва* (с. 61-62). НТУ Дніпровська політехніка. <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/10825>

28. Економіка ремонтного підприємства: підручник. / [Аветісян В.К., Бантковський В.А., Луценко А.П. та інші] – Харків, ХНТУСГ, 2005 – 374 с.

**ДОДАТКИ**

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра інжинірингу технічних систем

**ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ  
ВІДНОВЛЕННЯ ПОСАДОЧНИХ МІСЦЬ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ ПІД  
ПІДШИПНИКИ КОЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ АНАЕРОБНИХ  
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МгАІ-4-24  
**Тихоненко Вадим Олександрович**

**Керівник:** доцент, д.т.н.  
**Васильєв Дмитро Леонідович**

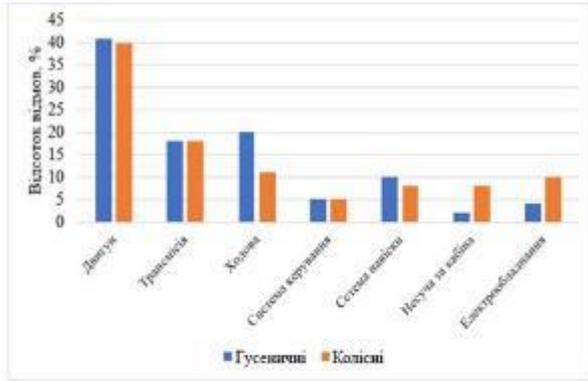
Дніпро-2025

## МЕТА РОБОТИ

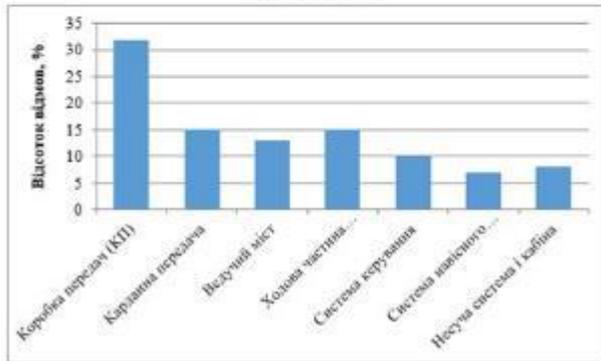
Підвищення довговічності корпусних деталей сільськогосподарської техніки шляхом застосування анаеробних композиційних матеріалів при відновленні з'єднань опор корпусів з підшипниками кочення

## ЗАДАЧІ РОБОТИ

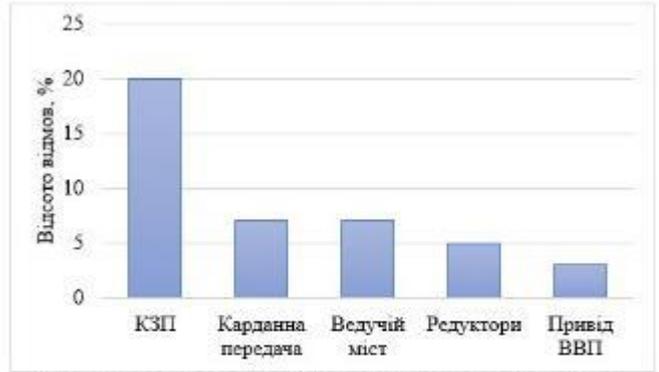
1. Проаналізувати умови експлуатації корпусних деталей та визначити основні чинники, що впливають на знос посадкових поверхонь отворів під підшипники.
2. Дослідити механізми спрацювання підшипникових опор корпусних деталей, включаючи вплив мікропереміщень кілець, фреттинг-корозії, перевантажень та порушення геометрії отворів.
3. Оцінити ефективність існуючих способів відновлення посадкових поверхонь та визначити їх обмеження щодо точності, ресурсу та технологічності.
4. Розробити технологію відновлення посадкових місць корпусних деталей за допомогою анаеробних композиційних матеріалів, обґрунтувати технологічні параметри підготовки та нанесення матеріалу.
5. Провести експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей відновлених посадкових поверхонь і оцінити їх вплив на працездатність та довговічність підшипникових вузлів.



Розподіл відмов по агрегатах і системах тракторів



Розподіл відмов вузлів трансмісії тракторів



Частка відмов, пов'язаних із посадковими місцями в корпусних деталях трансмісії



## Схема технологічного процесу

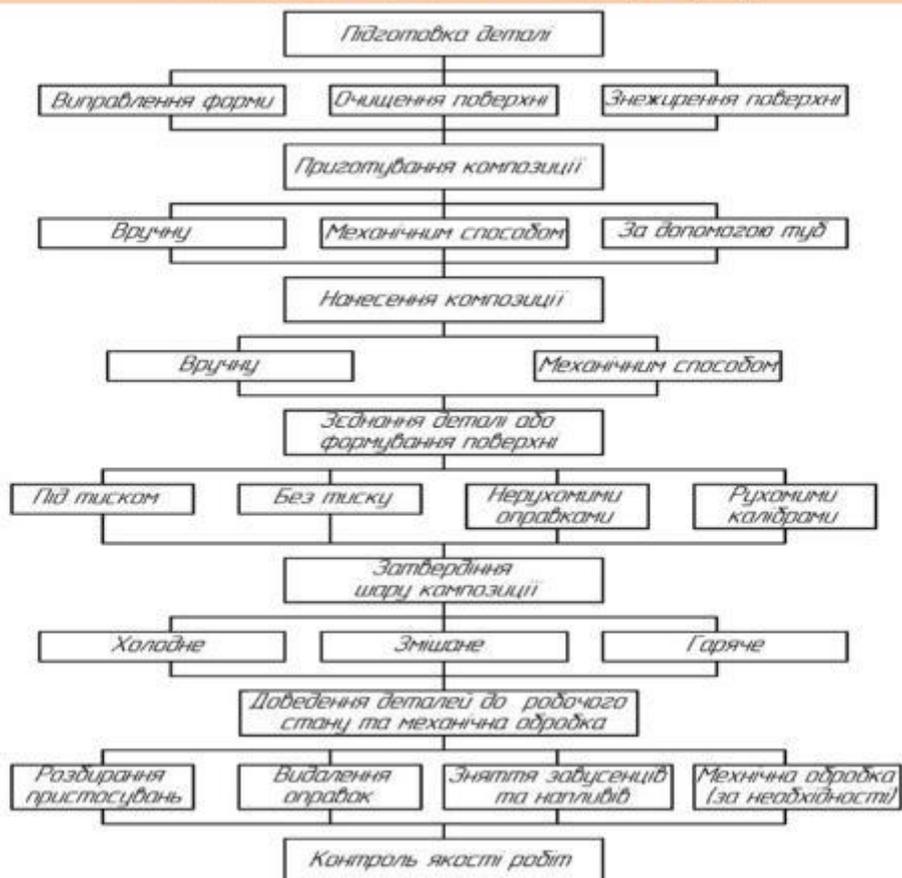
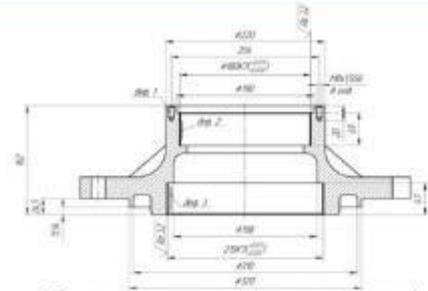




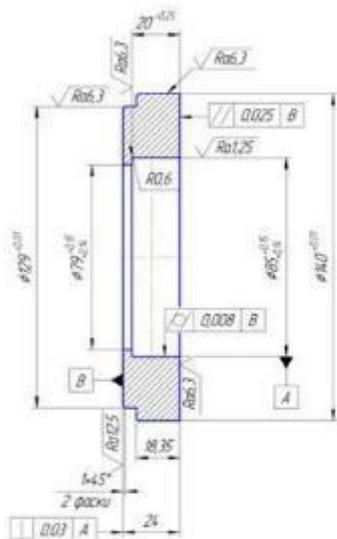
Фото відновленого картера редуктора



Ремонтне креслення деталі

№	Операція	Позначення	Норма часу, хв	
			Базова	Впроваджен а
1	Наплавлення	005	64,2	24,41
2	Зварювальна	010	14	14
3	Токарна	015	10,95	10,95
4	Свердильна	020	23,86	23,86
5	Шліфувальна	025	18,13	18,13
<b>Всього</b>			<b>131,14</b>	<b>52,94</b>

Аналізуючи таблицю можна сказати, що впроваджена технологія на 40,3 % менш витратна.



Зразок втулка матриця



Підшипник 209 з полімерним покриттям



Пристрій для вимірювання осьового зазору у підшипниках



Пристрій для вимірювання радіального зазору у підшипниках

Залежність радіального зазору підшипника 209 з металополімерним покриттям Loctite 660 від товщини покриття та натягу посадки

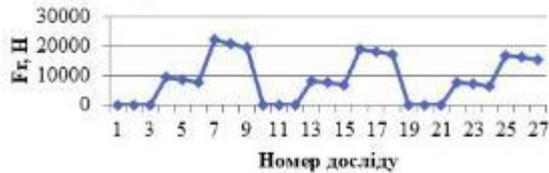
№ зразка	Товщина покриття, мм	Розрахунковий натяг полімерної посадки, мм	Радіальний зазор після запресування при 23 °С, мм	Радіальний зазор після запресування при 70 °С, мм
1	0,13	0,03	0,018	0,021
2	0,16	0,06	0,014	0,019
3	0,19	0,09	0,010	0,017

Залежність осьового зазору підшипника 209 з металополімерним покриттям Loctite 660 від товщини покриття та натягу посадки

№ зразка	Товщина покриття, мм	Розрахунковий натяг полімерної посадки, мм	Осьовий зазор після запресування при 23 °С, мм	Осьовий зазор після запресування при 70 °С, мм
1	0,13	0,03	0,024	0,028
2	0,16	0,06	0,020	0,026
3	0,19	0,09	0,017	0,024

Середнє радіальне зусилля

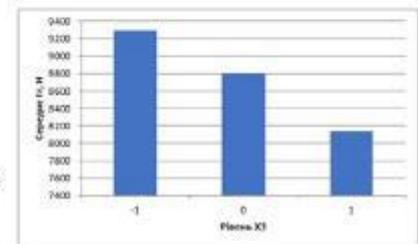
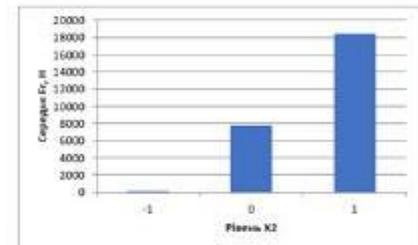
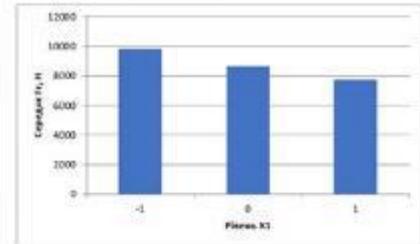
$$F_{\text{ср}} = \frac{F_{r1} + F_{r2} + F_{r3}}{3}$$



—•— Середнє радіальне зусилля Fr

Усреднені по рівнях значення

$$\bar{F}_r(X_i = \text{const}) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n F_{\text{ср},k}$$

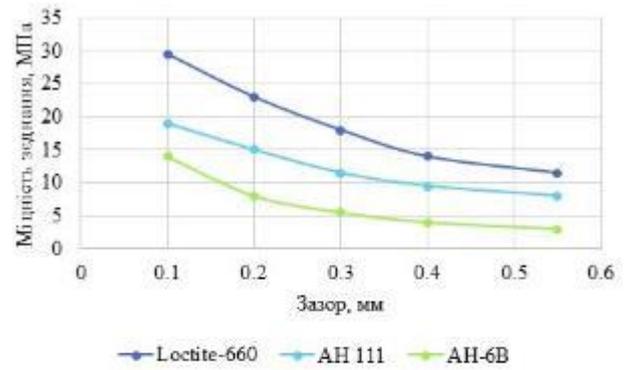
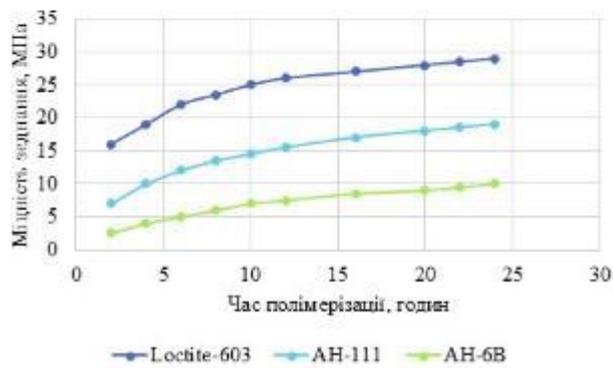


Вагомість факторів експерименту на середнє радіальне зусилля

## 8 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

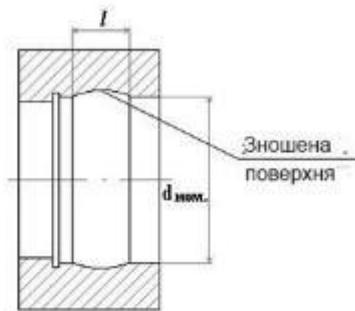


Випробування на зсув

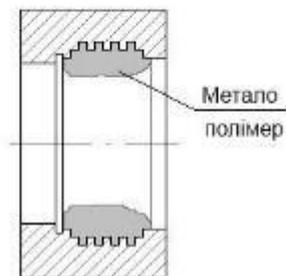


Залежність міцності з'єднань зразків від величин зазорів у з'єднаннях при  $20 \pm 2$  °С

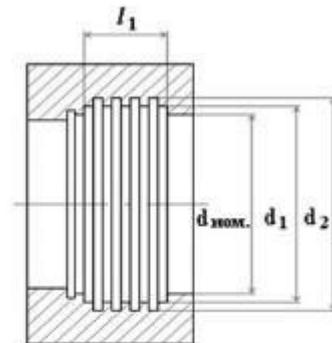
Залежність міцності з'єднань зразків пластин від часу витримки анаеробних полімерів при  $20 \pm 2$  °С



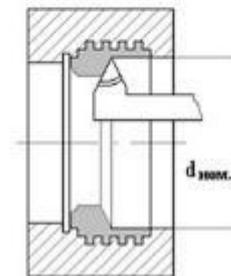
Зношена поверхня у корпусі



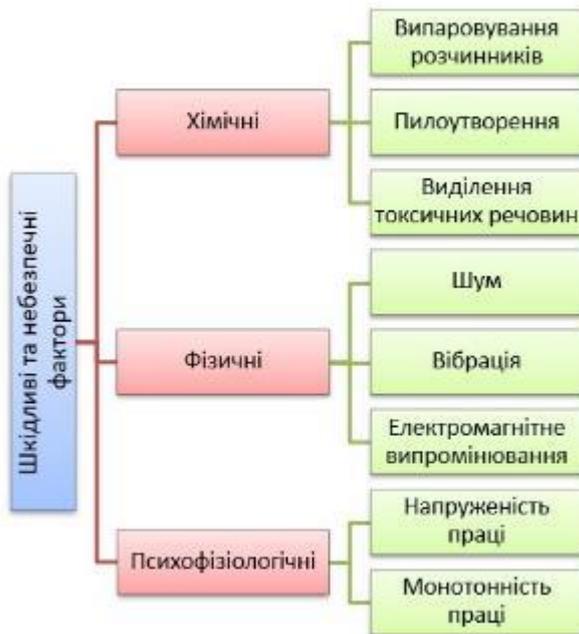
Нанесення металополімеру



Підготовка поверхні до нанесення металополімеру



Проточка до номінального розміру



Фактор	Заходи безпеки
<b>Хімічні фактори</b>	Використання витяжних шаф, респіраторів, захисного одягу, регулярне провітрювання приміщення
<b>Фізичні фактори</b>	Звукоізоляція обладнання, використання віброізолюючих матеріалів, застосування інструментів з низьким рівнем вібрації
<b>Психофізіологічні фактори</b>	Оптимізація режиму роботи та відпочинку, ротация робочих місць, психологічна підтримка працівників

№	Показник	Позначення	Значення
1	Вид робіт,		Відновлення
2	Місце впровадження	—	ТОВ «Реммаш»
3	Програма відновлення, шт./рік	$A_2$	102
4	Ціна нової деталі, грн	$C_n$	12000,0
5	Собівартість відновлення, грн	$C$	1343,0
6	Вартість обладнання, грн	$L$	2530693,0
7	Рентабельність інвестицій, %	$k_i$	52
8	Економічний ефект, грн/рік	$E$	766877,0
9	Строк окупності, років	$T_o$	3,3

Проведений огляд літературних джерел і теоретичних передумов дозволив намітити загальну методику досліджень. Результати лабораторних досліджень, прискорених порівняльних стендових випробувань, експлуатаційна перевірка отриманих даних і розрахунок техніко-економічної ефективності дозволяють вважати, що завдання, поставлені в роботі, виконані, а намічена мета досягнута.

В цілому по роботі, що полягає в дослідженні можливості підвищення довговічності сполучень опор корпусних деталей з підшипниками кочення, за рахунок відновлення їх металополімерною композицією на основі метакрилового герметика Loctite 660 можна зробити наступні основні висновки:

1. Аналіз літературних даних і патентний пошук показали, що одним з найменш надійних елементів тракторів сімейства ХТЗ є трансмісія, в якій на частку КП припадає більше 30% всіх відмов. Існуючі способи відновлення з'єднань опор корпусних деталей з підшипниками кочення є трудомісткими і орієнтовані на масове і серійне виробництво.

2. Теоретичними дослідженнями встановлено, що довговічність з'єднань, відновлених металополімерною композицією, залежить від зазору в з'єднанні та деформаційно - міцнісних властивостей композиції. Теоретично обґрунтовано підвищення довговічності з'єднання поверхні отвору корпусу із зовнішнім кільцем підшипника, відновленого із застосуванням металополімерної композиції. Розбіжність теоретичної та експериментальної кривих становить не більше 13 %.

3. Проведені експериментально-теоретичні дослідження полімерних композицій дозволили визначити оптимальний склад металополімерної композиції, здатної забезпечувати необхідну довговічність у широкому діапазоні експлуатаційних температур і навантажень.

Дослідження фізико-механічних і реологічних властивостей металополімерної композиції виявили підвищення її адгезійної міцності в середньому на 18 % порівняно з базовим метакриловим герметиком.

4. Розроблено технологічний процес відновлення з'єднань опор корпусів КП тракторів Т-150К з підшипниками кочення із застосуванням металополімерної композиції на основі метакрилового герметика Loctite 660.

Стендові випробування підшипникових вузлів показали, що міцність сполучень поверхонь отворів із зовнішніми кільцями підшипників, відновлених металополімерною композицією в 4,4 рази вище міцності сполучень, відновлених базовим метакриловим герметиком.

5. Проведені експлуатаційні випробування показали, що довговічність сполучень поверхонь отворів із зовнішніми кільцями підшипників, відновлених металополімерною композицією у 1,2 раза вища за розрахункову довговічність самих підшипників.

Очікуваний економічний ефект від впровадження розробленого технологічного процесу, в порівнянні з технологічним процесом відновлення сполучень опор корпусів з підшипниками кочення постановкою ДРД втулок при річній програмі 102 КП складе понад 766877,0 грн. і термін окупності у 3,3 років.

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



**ІНЖИНІРИНГ ТЕХНОЛОГІЙ І  
ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ  
АГРОПРОМИСЛОВОГО  
КОМПЛЕКСУ**

**ЗБІРНИК ТЕЗ**

**IV Всеукраїнської науково-практичної конференції  
молодих вчених**

**Частина 1. Інжиніринг технічних систем агропромислового  
виробництва**

*21 листопада 2025 р.*

**Дніпро • 2025**

УДК 63

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

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

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

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

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

УДК 631.3:621.785:620.197

Тихоненко В.О., здобувач вищої освіти СВО Магістр, ОПШ «Агроінженерія»<sup>26</sup>

dsau\_npm@ukr.net

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

### ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ НАНЕСЕННЯ МЕТАЛОПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Відновлення зношених деталей є одним із ключових напрямів підвищення ефективності технічного сервісу сільськогосподарської техніки. Вартість корпусних деталей, що формують базу та ресурс вузлів, значно перевищує вартість інших елементів, а їх заміна супроводжується значними матеріальними та енергетичними витратами [1]. Застосування металополімерних матеріалів дозволяє не лише компенсувати знос, але й продовжити строк служби агрегатів, зменшуючи навантаження на виробничі ресурси та підвищуючи екологічність ремонтних процесів [2, 3].

Теоретичні та експериментальні дослідження свідчать про перспективність використання металополімерів для відновлення посадок типу «вал–підшипник» та «корпус–підшипник». Проте для оптимізації технології нанесення потрібно визначити вплив навантаження, шорсткості та частоти обертання на момент початку провртання підшипникових кілець. Це забезпечує можливість вибору раціональних режимів фіксації та забезпечення стабільної роботи підшипникових вузлів.

Експериментальні дослідження виконані для радіальних шарикопідшипників у діапазоні навантажень 20...22100 Н, натягів 0...20 мкм, шорсткості поверхні вала  $R_a = 0,2...3,2$  мкм та частот обертання 10...1000 хв<sup>-1</sup> (рис. 1). Встановлено, що момент початку провртання внутрішнього кільця

<sup>26</sup> Науковий керівник – Васильєв Д.Л., доктор технічних наук, доцент кафедри інженірингу технічних систем

залежить від комплексу факторів, тому було проведено повний факторний експеримент  $3^3$  для побудови математичної моделі та уточнення режимів роботи з'єднання «кільце–вал». Отримані значення дисперсій підтвердили однорідність вибірки та достовірність експериментальних результатів.

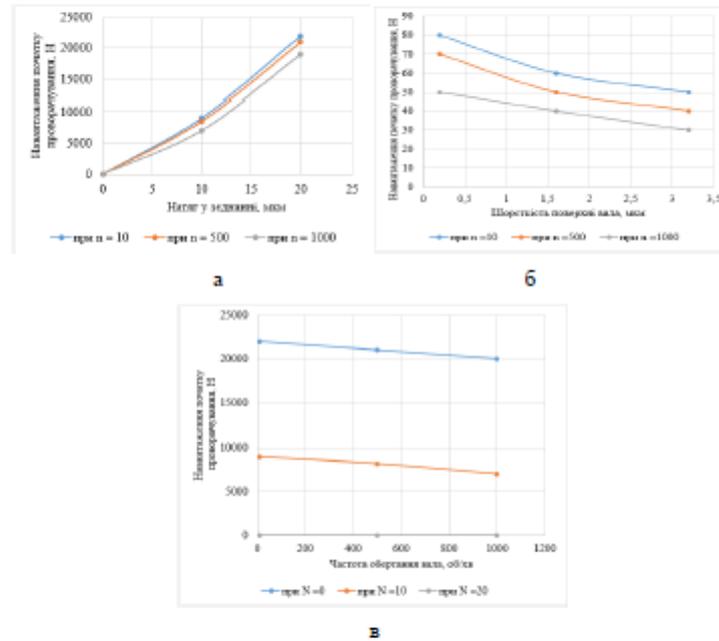


Рисунок 1. Залежність навантаження початку проворачування від а) – натягу у з'єднанні, б) – шорсткості, в) – частоти обертання.

Аналіз показав, що використання анаеробних герметиків АН-103 і 6Ф значно підвищує довговічність підшипникових вузлів. Герметик АН-103 збільшив ресурс підшипника 208 у 4 рази при місцевому навантаженні та у 5 разів при циркуляційному. Для герметика 6Ф приріст довговічності становив

відповідно 3,5 та 8,5 раза. Це свідчить про здатність полімерного шару рівномірно розподіляти навантаження і забезпечувати надійну фіксацію посадки навіть у нагруджених вузлах.

**Висновки.** Металополімерні покриття та анаеробні герметики є ефективним засобом відновлення корпусних деталей та підвищення ресурсу підшипникових вузлів. Проведені дослідження дозволили визначити вплив основних параметрів на момент провертання кілець, встановити оптимальні режими роботи з'єднань та підтвердити значне зростання довговічності відновлених посадок, що робить технологію перспективною для впровадження в аграрному секторі.

#### Список літератури

1. Діденко М. М. Вплив розмірно-точнісних характеристик посадок підшипників ючення на їх довговічність / М. М. Діденко, Є. В. Калганков. // *Zbiór artykułów naukowych Sp. z o.o. «Diamond trading tosh»*. – 2017. – С. 38–43.
2. Дирда В. І. Ремонт машин та обладнання. Підручник для вищих навчальних закладів [Текст] / В. І. Дирда, П. Т. Мельянцов, О. І. Кириленко та ін. – Дніпропетровськ, Журофонд, 2015. – 292 с.
3. Пугач А.М. Дослідження ефекту релаксації напруження та запискової деформації сучасних полімерних матеріалів для захисту поверхонь деталей від зношування / А.М. Пугач, О.А. Черній, Є.В. Калганков// *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Вип. 8(39), ч. I. –Кропивницький, 2023. – С. 76-85. [https://doi.org/10.32515/2664-262x.2023.8\(39\).1.76-84](https://doi.org/10.32515/2664-262x.2023.8(39).1.76-84)

Наукове видання

**ІНЖИНІРИНГ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ  
АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ**

Збірник тез IV Всеукраїнської науково-практичної конференції  
молодих вчених

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

Мови: українська, англійська

Редактор: Ельчин АЛІЄВ  
Комп'ютерна верстка: Ілля БЛЮУС

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

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