

НУБІП України

НУБІП України

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

01.12 – КМР. 463 “С” 2023.03.28. 027 ПЗ

**БАБЯК АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ**

**2023 р.**

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Факультет Конструювання та дизайну

УДК 61:01-5/1694-3

ПОГОДЖЕНО ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри  
Налійності техніки  
(назва кафедри)

Новицький А.В.

(підпис)

(ПІБ)

“ ” 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Підвищення ефективності відновлення посадкових отворів у

корпусних деталях сільськогосподарської техніки композицією на основі

е.ластомеру»

Спеціальність

133 – «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітня програма «Технічний сервіс машин та обладнання

сільськогосподарського виробництва

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Новицький А.В.

(підпис)

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Банний О.О.

Виконав:

(підпис)

(ПІБ)

Бабяк А.М.

(підпис)

(ПІБ)

КИЇВ - 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факкультет Конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Надійності техніки

(назва кафедри)

к.т.н., доцент

Новицький А.В.

(підпис)

(ПІБ)

“ ” 2022 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Бабяк Андрій Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність

133 – «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітня програма «Технічний сервіс машин та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»

(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи «Підвищення ефективності відновлення  
посадкових отворів у корпусних деталях сільськогосподарської техніки  
композицією на основі еластомеру»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 28 березня 2023р.

№ 463 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру

2023.11.12

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи у процесі експлуатації  
сільськогосподарських машин від 30 до 50 % усіх відмов посідає  
підшипникові вузли через зношування. Для відновлення підшипників  
найперспективнішим у цьому відношенні є виконані композицією на основі  
еластомера Ф-400С

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз відмов підрозподільників автотракторної техніки;
2. Підвищити ресурс золотників
3. Отримати від технології композиційне хімічне нікелювання позитивний економічний ефект.

Дата видачі завдання “15” жовтня 2022 року

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Банний О.О.

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Бабяк А.М.

(ПІБ)

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	11
1.1 Податливість опор кочення при відновленні корпусних деталей еластомерами.....	11
1.2 Відновлення підшипникових гнізд у корпусних деталях полімерними матеріалами.....	25
1.3 Температурний режим підшипникових вузлів, відновлених полімерними матеріалами.....	33
1.4 Висновки. Мета та завдання досліджень.....	38
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ ПОЛІМЕРНИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ.....	42
2.1 Теоретичні аспекти зниження податливості опор кочення при відновленні посадкових отворів наповненими еластомерами.....	42
2.1.1 Дослідження коефіцієнта податливості опор, відновлених полімерними матеріалами.....	42
2.2 Підвищення ефективності еластомерів під час введення дисперсних металевих порошків.....	45
2.2.1 Підвищення міцності та довговічності еластомерів при наповненні високодисперсними твердими частинками.....	45
Висновки до 2 розділу.....	53
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	54
3.1 Загальна методика досліджень.....	54
3.2 Методика дослідження деформаційно-міцності плівок полімерної композиції на основі еластомеру Ф-40С.....	56
3.3 Методика дослідження довговічності та теплового балансу нерухомих сполук, відновлених полімерною композицією на основі еластомеру Ф-40С.....	59

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ..... 62

4.1 Дослідження деформаційно-міцнісних властивостей плівок полімерної композиції на основі еластомеру Ф-40С..... 62

4.1.1 Дослідження впливу температури та часу затвердіння на деформаційно-міцнісні властивості плівок полімерної композиції на основі еластомеру Ф-40С..... 62

4.1.2 Дослідження модуля пружності полімерної композиції на основі еластомеру Ф-40С ..... 64

4.2 Дослідження довговічності та теплового балансу нерухомих сполук, відновлених полімерною композицією на основі еластомеру Ф-40С..... 68

РОЗДІЛ 5. РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ..... 72

5.1 Технологічні рекомендації ..... 72

5.2 Розрахунок економічної ефективності технології відновлення підшипникових гнізд корпусних деталей композицією еластомеру Ф-40С... 72

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ..... 76

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 78

ДОДАТКИ..... 87

## ВСТУП

Конкуренентоспроможність продукції вітчизняних сільськогосподарських товаровиробників значною мірою залежить від її ціни. Витрати на технічне обслуговування та ремонт сільськогосподарської техніки та технологічного обладнання істотно впливають на собівартість виробництва сільськогосподарської продукції.

Відновлення зношених деталей є основним резервом зниження витрат за ремонт сільськогосподарської техніки. Ціна відновлених деталей не перевищує 40% від ціни нових. Сучасні технології відновлення, крім компенсації зносу, забезпечують деталям підвищений післяремонтний технічний ресурс, що призводить до підвищення надійності вузлів, агрегатів і машини в цілому [1. 26].

Розробка нових полімерних композиційних матеріалів та технологій відновлення із застосуванням цих матеріалів спрямовані на модернізацію ремонтного виробництва підприємств АПК. Це дозволить значно підвищити надійність сільськогосподарської техніки та знизити витрати на її підтримку у працездатному стані, підвищити конкурентоспроможність продукції сільськогосподарських товаровиробників.

Корпусні деталі є найбільш дорогими деталями в конструкції машин, а також відносяться до категорії базисних, ресурсних деталей, які значною мірою визначають довговічність всього агрегату.

Знос посадкових отворів в корпусних деталях агрегатів трансмісії мобільних машин викликає зміну взаємного розташування валів з підшипниками. З цієї причини порушується співвісність і паралельність валів, взаємне розташування поверхонь деталей, що сполучаються. Перекоси осей посадкових отворів корпусних деталей агрегатів трансмісії призводять до перекосу кілець підшипників і збільшення нерівномірності навантаження на зубцях шестерень. При перекосі кілець підшипників збільшується навантаження на тіла та доріжки конення і вони інтенсивно зношуються. Відхилення від паралельності осей призводить до зміни міжцентрової відстані

зубчастих коліс і, як наслідок, до зростання динамічних навантажень на зубах, що може призвести до їх фарбування, зламу, різкого скорочення ресурсу.

Основною причиною зношування посадкових отворів під підшипники в корпусних деталях є фреттинг-корозія [28...32].

Існує безліч способів відновлення посадкових отворів у корпусних деталях. До них відносяться: встановлення додаткової деталі, різні види наплавлення, електроосадження гальванічних покриттів, приварювання сталеві стрічки електроконтактним способом та ін [23]. Зазначені вище

способи відновлення мають загальні недоліки: складна технологія та дороге технологічне обладнання, потреба в механічній обробці відновлюваних поверхонь, підвищені енерговитрати та собівартість, низька фреттингостійкість.

Способи відновлення корпусних деталей полімерними матеріалами не мають таких недоліків [8, 12 ... 14]. У посадкових отворах, відновлених полімерними матеріалами, під радіальним навантаженням зовнішнє кільце пружно деформується, завдяки чому в підшипнику знижується навантаженість центрального тіла кочення і збільшується його ресурс. Через пружний полімерний шар зростає деформація доріжок під тиском навантажених тіл кочення і в результаті збільшується площа площі контакту і зменшується контактна напруга.

Наприклад, при відновленні нерухомих з'єднань підшипників анаеробним герметиком АН-103 ресурс підшипника 208 збільшується в порівнянні з розрахунковим до 5 разів [33]. При відновленні герметиком 6Ф ресурс підшипника 208 проти розрахунковим підвищується до 8,5 разів залежно від виду навантаження на підшипник [8].

Перспективним напрямом у підвищенні ефективності відновлення корпусних деталей є розробка полімерних композиційних матеріалів.

Введення нановиготовачів у полімер дозволяє значно покращувати споживчі властивості матеріалу, такі як міцність, теплопровідність та ін., відновлювати деталі з великим зносом, зменшувати енергоємність технології та, як правило,

суттєво знижувати вартість матеріалу. Формуються умови для розробки високоефективних технологій відновлення, що забезпечують збільшення ресурсу корпусних деталей та зниження собівартості ремонту сільськогосподарської техніки та технологічного обладнання.

**Ступінь розробленості теми.** Питанням відновлення корпусних деталей сільськогосподарської техніки полімерними матеріалами присвячені праці Башкирцева В. Н., Гаджієва А. А., Гвоздева А. А., Котіна А. В., Кононенко А. С., Курчаткіна В. В., Лі Р І., Мельниченко І. М., Шубіна А. Г. та багатьох інших вітчизняних учених. Корпусні діти відновлюють епоксидними складами, анаеробними герметиками та їх композиціями, еластомерами. Технології відновлення підшипникових гнізд у корпусних деталях еластомерами відрізняються простою, не вимагають складного обладнання та оснащення, мають низьку собі вартість процесу.

Аналіз відомих технологій і полімерних матеріалів показав, що питання наповнення еластомерів, призначених для відновлення посадкових отворів у корпусних деталях машин, не досліджено. Відсутні вимоги до наповнювачів, які враховують умови експлуатації полімерних покриттів у корпусних деталях. Не вивчено питання збільшення модуля пружності та зменшення податливості наповнених еластомерів. Вимагають дослідження питання зниження енергоємності та підвищення якості полімерних покриттів при відновленні корпусних деталей наповненими еластомерами.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності відновлення підшипникових гнізд у корпусних деталях агрегатів трансмісії сільськогосподарської техніки наповненими еластомерами, що забезпечують збільшення довговічності корпусних деталей та зниження собівартості їх відновлення.

**Наукова новизна роботи** полягає в теоретичному обґрунтуванні зниження податливості опор кочення, відновлених наповненими еластомерами, сформульованих вимогах до наповнювачів для еластомерів, призначених для відновлення посадкових отворів у корпусних деталях,



регресійної моделі міцності композиції на основі та адгезійних властивостей, теплопровідності, оцінки якості композиції еластомеру Ф-40С, дослідження теплового балансу та довговічності підшипникових вузлів у корпусних деталях, відновлених композицією еластомеру Ф-40С.

**Об'єкти досліджень.** Плівки та полімерні покриття, нерухомі з'єднання «корпус-підшипник», виконані композицією на основі еластомеру Ф-40С

**Предмет дослідження.** Деформаційно-міцнісні властивості плівок, адгезійна міцність, пористість і теплопровідність покриттів композиції на основі еластомеру Ф-40С, теплоутворення та довговічність нерухомих з'єднань «корпус-підшипник», виконаних композицією на основі еластомеру Ф-40С.

Матеріали магістерської роботи пройшли апробацію та обговорення на:

X Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 116-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 23-24 лют. 2023 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2023.

Кваліфікаційна магістерська робота містить: вступ, шість розділів, загальні висновки, бібліографічний список та додатки. Обсяг роботи 87 сторінок машинописного тексту. Робота включає 44 рисунки, 8 таблиць, та бібліографічний список із 87 найменування.

**На захист виносяться:**

- теоретичні передумови підвищення ефективності відновлення корпусних деталей полімерними композиційними матеріалами;
- регресійна модель міцності композиції на основі еластомеру Ф-40С, результати експериментального дослідження деформаційно-міцнісних властивостей плівок, адгезійної міцності, пористості та теплопровідності покриттів композиції на основі еластомеру Ф-40С, теплоутворення та довговічності нерухомих сполук «корпус-під на основі еластомеру Ф-40С;

- технологія відновлення підшипникових гнізд у корпусних деталях  
НУБІП України  
новою композицією еластомеру Ф-40С та оцінка економічної ефективності її  
застосування.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ

## ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Податливість опор кочення при відновленні корпусних деталей еластомерами

Корпусні деталі є найдорожчими деталями конструкції машин. Як впливає з таблиці 1.1, в автомобілі КАМАЗ: вартість картера коробки передач становить 22% від вартості коробки передач у зборі, картера роздавальної коробки - 36,2% від вартості роздавальної коробки в зборі, блоку циліндрів - 29,5% від вартості двигуна.

Таблиця 1.1 - Ціна на корпусні деталі та агрегати автомобіля КАМАЗ

№ п/п	Найменування корпусної деталі (агрегату)	Умовне позначення	Ціна, грн	Ціна корпусної деталі у % від
1	Картер коробки	1701010-1,54	21 337	22
2	Картер роздавальної	1802010-10-65111	21 765	36,2
3	Блок циліндрів Двигун	1002012-21-74021	95 398	29,5

Корпусні деталі відносяться до базисних, ресурсних деталей і значною мірою визначають довговічність всього агрегату [34, 35].

За даними джерела [36] через зношування посадкових місць підшипників від 61 до 90% корпусних деталей підлягають відновленню.

У роботі Котіна А. В. проведено мікрометражні дослідження технічного стану деталей коробок передач автомобіля ГАЗ-53 [13]. Аналіз результатів мікрометражу показав, що 83% картерів КП мають перекіс, 79% — непаралельність осей посадкових отворів більше допустимих значень, встановлених технічними вимогами ремонту агрегату (рисунок 1.1).

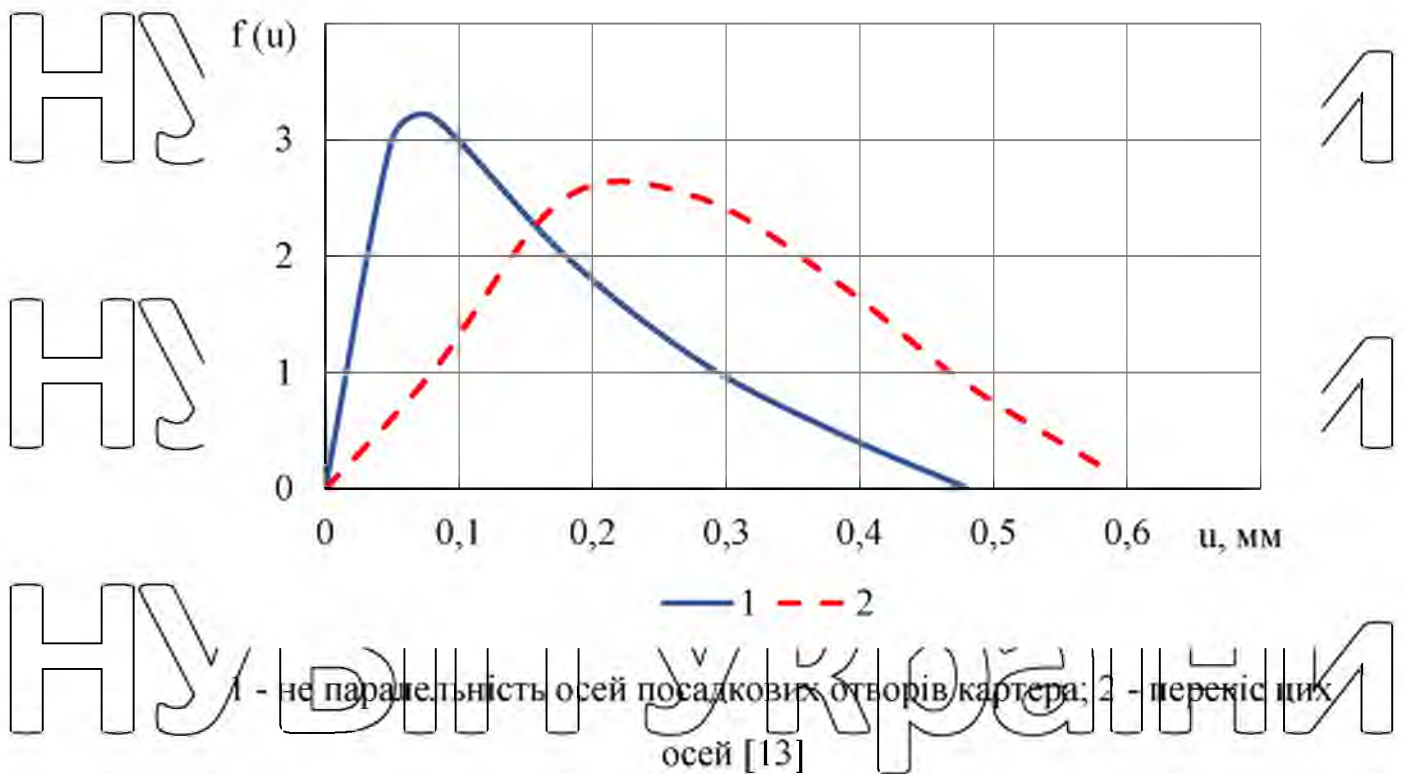


Рисунок 1.1 - Розподіл відхилень осей посадкових отворів картера під

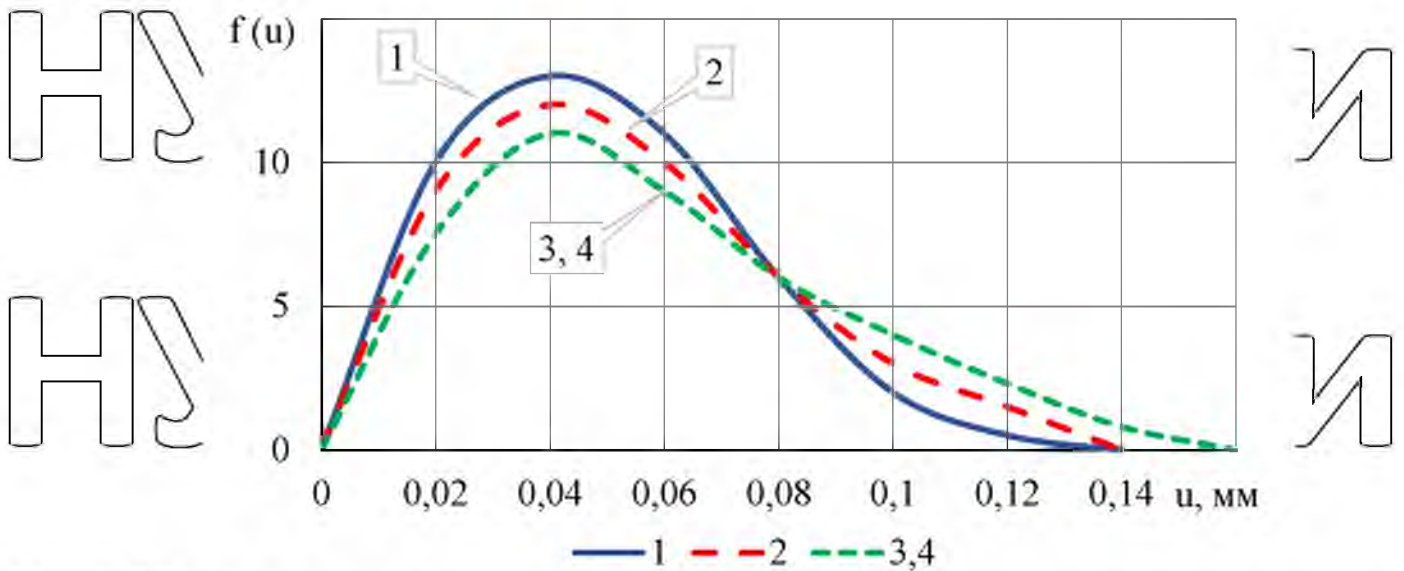
підшипники первинного та вторинного валів і блоку шестерень проміжку точного валу:

Мікрометраж посадкових отворів під підшипники в картері КП показав, що максимальне значення зношування не перевищує 0,2 мм, при цьому в середньому 40% отворів вимагають відновлення посадкової поверхні (рисунок 1.2).

Овальність зношених отворів досягає 0,09 мм, причому максимальні значення спостерігаються біля отвору під задній підшипник вторинного валу.

Автор пояснює це значними навантаженнями, які діють опору із боку заднього моста.

Знос посадкових отворів у корпусних деталях агрегатів трансмісії мобільних машин призводить до зміни взаємного розташування валів з підшипниками.



1 - задній первинний вал, 2 - передній вторинний вал;  
3 - передній блок шестерень проміжного валу, 4 - задній блок шестерень проміжного валу

Рисунок 1.2 - Розподіл зношування посадкових отворів картера під підшипники валів.

При цьому порушується співвісність і паралельність валів, порушується взаємне розташування поверхонь деталей, що сполучаються. Геометричні параметри корпусних деталей входять до складальних розмірних ланцюгів механізму як складових ланок, і тому до їх відхилень пред'являються жорсткі вимоги. Наприклад, допуски на перекіс і непаралельність осей отворів картерів коробок передач автомобіля ЗІЛ-130 складають 0,08 мм, автомобіля ГАЗ-53 - 0,04 мм на довжині деталі.

Просторово-геометричні відхилення корпусної деталі негативно впливають на умови роботи деталей та з'єднань усієї складальної одиниці. Перекоси осей посадкових отворів корпусних деталей агрегатів трансмісії призводять до перекосу кілець підшипників і більш нерівномірному розподілу навантаження на зуби шестерень. Відхилення від паралельності осей веде до зміни міжцентрової відстані зубчастих коліс, і як наслідок до зростання динамічних навантажень на зубах, що може призвести до їхнього фарбування або навіть зламу [15, 37, 38].

У роботі [34] проведено експериментальні дослідження впливу зазору в посадковому отворі та перекосу підшипників на швидкість абразивного зношування. Встановлено, що при зазорах 0,3 мм швидкість зношування підшипників підвищується в 1,25...1,35 рази, а при збільшенні зазору до 0,4...0,8 мм — в 1,67... 75 рази. Дослідження Шубіна А. Г. показали, що при посадці підшипника із зазором 0,02 мм у порівнянні з посадкою з натягом, тривалість роботи підшипника до появи на внутрішньому кільці слідів викрашування знижується на 40...50% [39].

У роботі [12] встановлено, що відносна довговічність підшипника кочення більшою мірою залежить від кута перекосу його вілець, який викликаний неспіввісністю зношених посадкових отворів корпусної деталі. Провертання зовнішнього кільця інтенсифікує зношування посадкових поверхонь, утруднюється приробіток елементів підшипника, що істотно скорочує його ресурс. Для вирішення проблеми забезпечення співвісності отворів при відновленні з'єднань пропонується розміщувати між контактуючими поверхнями деталей еластичну полімерну прокладку.

Відсутність технологічного обладнання, що забезпечує необхідну точність розташування поверхонь корпусних деталей при їх відновленні та відповідних контрольних засобів, призводить до того, що просторово-геометричні параметри корпусних деталей після ремонту набагато перевищують допустимі величини, що негативно позначається на міжремонтному ресурсі агрегату [34, 35 38].

Однією з причин непаралельності та перекосу осей отворів корпусної деталі є її деформація через внутрішні напруги. Дослідження коробок передач автомобіля ЗІЛ-130 показало, що у нових картерів протягом 10 місяців експлуатації відхилення від паралельності осей посадкових отворів збільшилися від 0,01 до 0,31 мм, а перекоси від 0,12 до 0,17 мм на довжині корпусу [35, 41].

Технологія ремонту агрегатів трансмісії сільськогосподарської техніки, крім відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення, повинна

забезпечувати необхідну кінематичну точність зубчастих зачеплень, яка значною мірою залежить від точності взаємного розташування осей валів. У роботі [40] встановлено, що основною причиною викрашування зубів шестерень коробок передач в ході експлуатації, є збільшення навантаження через перекосяк в зачепленні. При підвищенні навантаження в  $n$  разів довговічність зубчастої сполуки знижується в  $n^3$  разів. Це зниження викликано зменшенням площі контакту зубів, що сподучаються при перекосяк осей валів [35, 40]. У роботі [35] отримана пряма залежність конусного зношування зубів шестерень від діючих у зачепленні перекосяків.

В даний час для ремонтного виробництва розроблено безліч способів відновлення підшипникових гнізд корпусних деталей (рисунок 1.3) [13].

При відновленні корпусних деталей способом установки додаткової деталі зношені посадкові отвори розточують. Щоб зберегти координати отворів, застосовують спеціальні кондуктори або пристосування. Додаткову деталь запресовують у розточені по садкові отвори з нарядом від 0,05 до 0,15 мм.

Додаткову фіксацію виконують адгезивом, вальцюванням, зварюванням або шпилькою. На завершення отвір шліфують або розточують під номінальний розмір [42...44].

Технології відновлення установкою додаткової деталі відзначаються високою трудомісткістю та собівартістю, вимагають складне технологічне обладнання та не забезпечують високий ресурс відновлених деталей. Після розточування отворів у корпусних деталях зменшується міцність та жорсткість.



Рисунок 1.3 – Способы відновлення корпусних деталей [13]

Різні способи наплавлення отримали досить більше поширення при відновленні посадкових місць підшипників. Найбільше поширення отримала наплавка в середовищі  $\text{CO}_2$ . До недоліків зварювально наплавочних способів слід віднести високу собівартість і енергоємність, великі втрати наплавленого металу і неможливість наплавлення покриттів товщиною менше 0,8 мм. У ході фінішної обробки наплавленого покриття під номінальний розмір значна частина наплавленого металу знімається як припуску. Підвищений нагрів деталей може викликати структурні зміни в матеріалі деталі, змінити геометричні параметри деталей. Метал наплавленого покриття може містити дефекти у вигляді пір, раковин та тріщин [23, 45...47].

Відновлення електроконтактного приварювання сталеві стрічки найбільш переважно для зношених корпусних деталей. При відновленні відсутнє підвищене нагрівання деталі, не виникає внутрішньої напруги в зварному з'єднанні завдяки охолодженню водою ділянки зварювання, глибина-термічного впливу обмежується двома міліметрами. Продуктивність способу в 2...3 рази перевищує продуктивність наплавлення. Витрата металу скорочується у 3...4 рази. До недоліків слід віднести: складність технологічного обладнання та процесу, попередня підготовка стрічки перед приварюванням під розмір посадкового отвору [48...50].



Напилення вигідно відрізняється високою продуктивністю процесу та відносно простим технологічним обладнанням. Однак напилені покриття не відрізняються високою якістю. Вони мають високу твердість, пористість та крихкість, не високу міцність [51]. Спосіб не рекомендується для відновлення деталей, що працюють при динамічних навантаженнях, так як напилені покриття мають низьку зчеплюваність з основним металом деталі, що відновлюється.

Нагрів деталі при відновленні електроіскровим нарощуванням невеликий і, відповідно, зона термічного впливу незначна. До недоліків способу можна віднести: пористість нанесеного покриття та складність фінішної механічної обробки [52, 53].

Способи нанесення гальванічним електроосадженням дозволяють отримати точні покриття товщиною менше 0,3 мм. При нарощуванні не відбувається змін структури основного металу. Хромові покриття відрізняються високою зносостійкістю, у ряді випадків не вимагають фінішної механічної обробки. Можлива механізація та автоматизація технологічних процесів електроосадження. До недоліків належать: висока працездатність, низька продуктивність, наявність токсичних відходів [1, 2, 54...56].

Розглянуті способи не забезпечують стійкість відновлених поверхонь підшипникових з'єднань до фретинг-корозії. Способи мають загальні недоліки: необхідна висока кваліфікація персоналу через складність технологічних процесів, потрібне дороге технологічне обладнання, необхідна попередня механічна обробка деталей, що відновлюються, процеси відрізняються високою трудомісткістю, собівартістю і енерговитратами.

Способи відновлення підшипникових гнізд полімерними матеріалами не мають вищеписаних недоліків [8, 12 ... 14, 23, 57... 67].

У відновленому полімерним матеріалом підшипниковому вузлі при радіальному навантаженні зовнішнє кільце пружно деформується, завдяки чому навантаження з найбільш центрально навантаженого тіла перерозподіляється на бічні тіла кочення. Крім того, зростає деформація

жолоба кільця, внаслідок чого збільшується пляма контакту та знижується напруження в зоні контакту. З цієї причини багаторазово збільшується довговічність підшипника.

Наприклад, при відновленні нерухомих з'єднань підшипників анаеробним герметиком АН-103 ресурс підшипника 208 збільшується порівняно з розрахунковим до 5 разів [33]. При відновленні герметиком 6Ф ресурс підшипника 208 в порівнянні з розрахунковим підвищується до 8,5 разів в залежності від виду навантаження на підшипник [8].

При збільшенні товщини полімерного покриття підвищується деформація зовнішнього кільця при радіальному навантаженні і, відповідно, зміщення валу щодо отвору корпусної деталі. У роботі Ібідлаєва Б. досліджено деформацію при радіальному навантаженні зовнішніх кілець підшипників з полімерним покриттям з герметика 6Ф [68]. На малюнку 1.4 показані епюри пружною деформацією зовнішнього кільця підшипника 208 з радіальним зазором 0,021 мм, встановленого корпус з натягом 0,005 і зазором 0,395 мм.

Зовнішнє кільце підшипника, встановлене з натягом 0,005 мм, під радіальним навантаженням на підшипник 3, 6, 9, 12 і 15 кН деформується незначно (рисунк 1.4, а). Під навантаженням 3 та 6 кН деформація зовнішнього кільця відсутня. Під навантаженням 9 кН виникає деформація кільця під центральним тілом кочення, що становить 2 мкм. Зі збільшенням навантаження до 12 кН деформація кільця під центральним тілом кочення підвищується до 4 мкм. При цьому кільце під першими бічними тілами кочення складає 1 мкм. Навантаження 15 кН деформує кільце на 6 і 3 мкм відповідно. Слід зазначити, що деформація зовнішнього кільця відсутня у верхній ненавантаженій зоні підшипника.

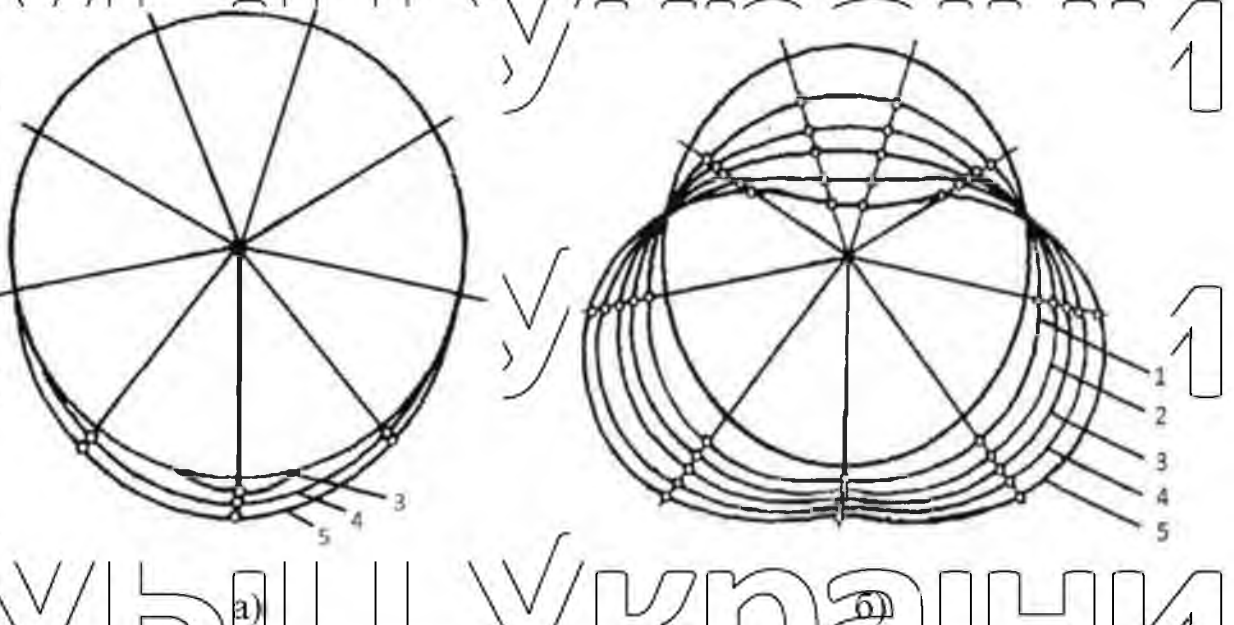
При посадці підшипника із зазором 0,395 мм деформація зовнішнього кільця значно збільшилася (рисунк 1.4 б). Під навантаженням від 3 до 15 кН зовнішнє кільце під центральним тілом кочення деформується в межах від 3 до 1 мкм. Одночасно зі збільшенням деформації кільця в зоні центрального тіла

кочення збільшилася деформація кільця в зоні бічних тел кочення.

Причому деформація кільця в зоні бічних тел кочення зі збільшенням навантаження зростає інтенсивніше і перевищила деформацію кільця в зоні центрального течії. Наприклад, під навантаженням 15 кН деформація кільця в зоні першого бокового тіла кочення досягла значення 28 мкм, другого - 23 мкм.

Це більше деформації кільця у зоні центрального тіла кочення у 2,5 та 2,1 рази відповідно.

При посадці підшипника із зазором спостерігається значна деформація зовнішнього кільця в ненавантаженій зоні.



1, 2, 3, 4, 5 - навантаження на підшипник відповідно 3, 6, 9, 12 і 15 кН [45]

Рисунок 1.4 - Деформація зовнішнього кільця шарикопідшипника 208

при посадці з натягом 0,005 мм (а) та зазором 0,3 мм (б);

Наприклад, під навантаженням 15 кН деформація під третім бічним тілом кочення становила 22 мкм, під четвертим - 44 мкм. Слід зазначити, що деформація в ненавантаженій зоні спрямована в центр кільця підшипника, порівняно з деформацією зовнішнього кільця в навантаженій зоні.

Нерівномірна деформація зовнішнього кільця в зоні тіл кочення пояснюється змінною жорсткістю посадки зовнішнього кільця в корпус. Під

центральним тілом кочення кільце щільно сидить на посадковій поверхні корпусу, і деформація кільця визначається твердістю та шорсткістю посадкової поверхні корпусу, а також значенням радіального навантаження.

Посадка кільця у корпусі у цій зоні має максимальну жорсткість.

Під бічними тілами кочення та в ненавантаженій зоні кільце підшипника з посадковою поверхнею корпусу не контактує. З цієї причини жорсткість системи кільце-корпус тут значно нижча, навантаження припадає безпосередньо на кільце і деформація кільця значно вище.

Зовнішнє кільце підшипника під дією навантаження деформується в еліпс з великою віссю, перпендикулярною до напрямку навантаження. Як писалося раніше, знос отворів, що призводить до посадки зовнішнього кільця із зазором, є причиною не паралельності і перекосів осей отворів. Це дуже наочно показано малюнку 1.4, б. Очевидно, що вісь підшипника при деформації зовнішнього кільця в еліпс буде зміщена щодо осі отвору вниз у напрямку радіального навантаження.

На малюнку 1.5 показано деформацію зовнішнього кільця підшипника відновленого герметиком 6Ф. Кільце при товщині полімерного покриття 0,027 мм і навантаженнях 3, 6, 9 та 12 кН не деформується. Навантаження 15 кН призвело до деформації кільця на 7 мкм (рисунок 1.5, а). Зі збільшенням товщини полімерного покриття до 0,223 мм деформація зовнішнього кільця підшипника підвищилася і має місце як під центральним, так і під першими бічними тілами кочення.

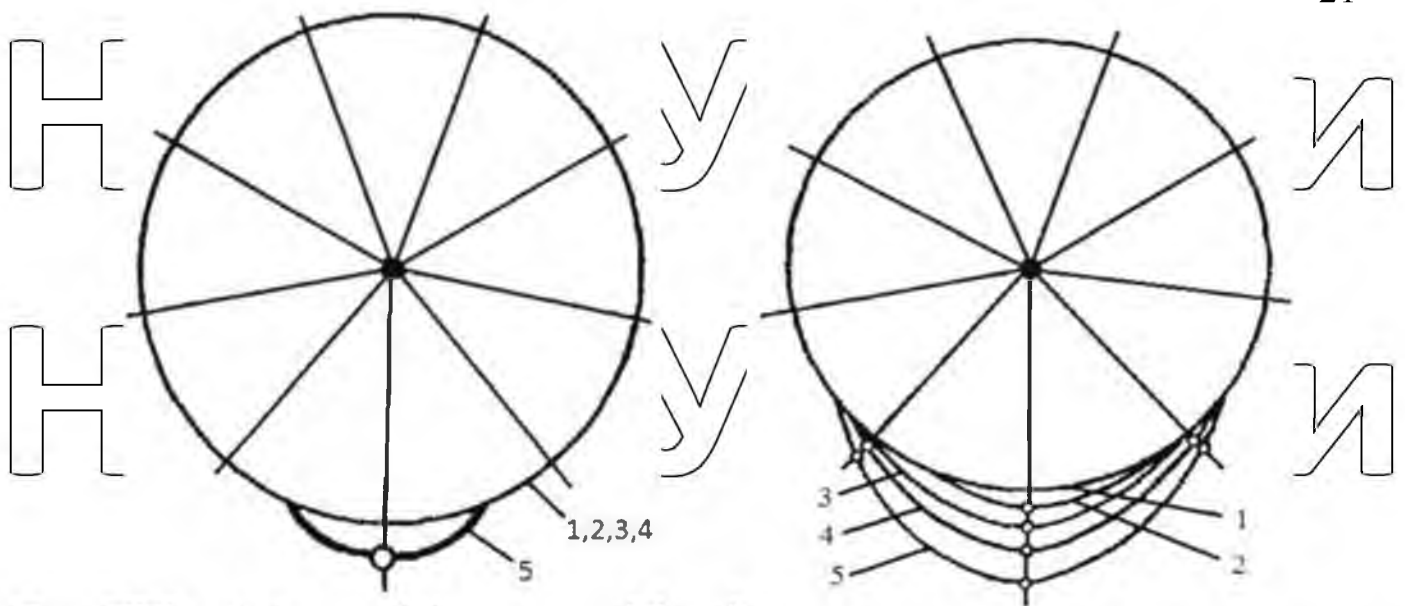


Рисунок 1.5 - Деформація зовнішнього кільця шарикопідшипника 208 з покриттям з герметика 6Ф товщиною 0,022 (2 ) мм:

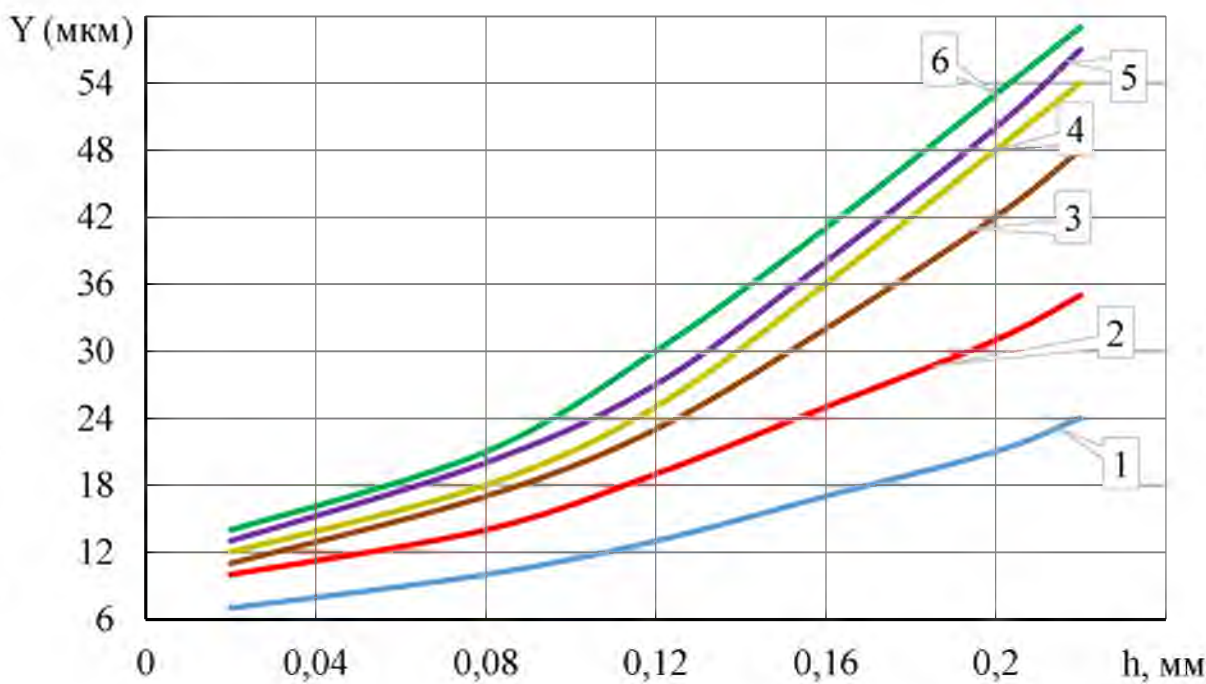
Під максимальним навантаженням 15 кН кільце деформується під центральним тілом кочення на 24 мкм, під першими бічними тілами кочення на 5 мкм (Рисунок 1.5, а). Деформація кільця підшипника з полімерним покриттям 0,027 мм практично не відрізняється від деформації натягом в отвір корпусної деталі. При збільшенні товщини полімерного шару зростає деформація кільця під центральним тілом кочення. У цій області найбільш навантажена зона кільця, яка спирається на пружний полімерний шар, жорсткість якого істотно менша за жорсткість корпусної деталі. Полімерне покриття при навантаженні деформується більшою мірою ніж метал. Завдяки більшій деформації зовнішнього кільця навпроти центрального тіла кочення, зазори між боковими тілами і доріжками кочення вибираються при менших значеннях навантажень. Це призводить до більш рівномірної навантаженості тіл кочення та багаторазового підвищення довговічності підшипника.

На рис. 1.6 показана деформація зовнішнього кільця підшипника під центральним тілом кочення за різної товщини полімерного шару. Зі

збільшенням товщини полімерного покриття деформація зовнішнього кільця зростає у підшипників з усіма радіальними зазорами (рисунк 1.6 а). Чим більший радіальний зазор, тим інтенсивніше зростає деформація кільця зі збільшенням товщини покриття.

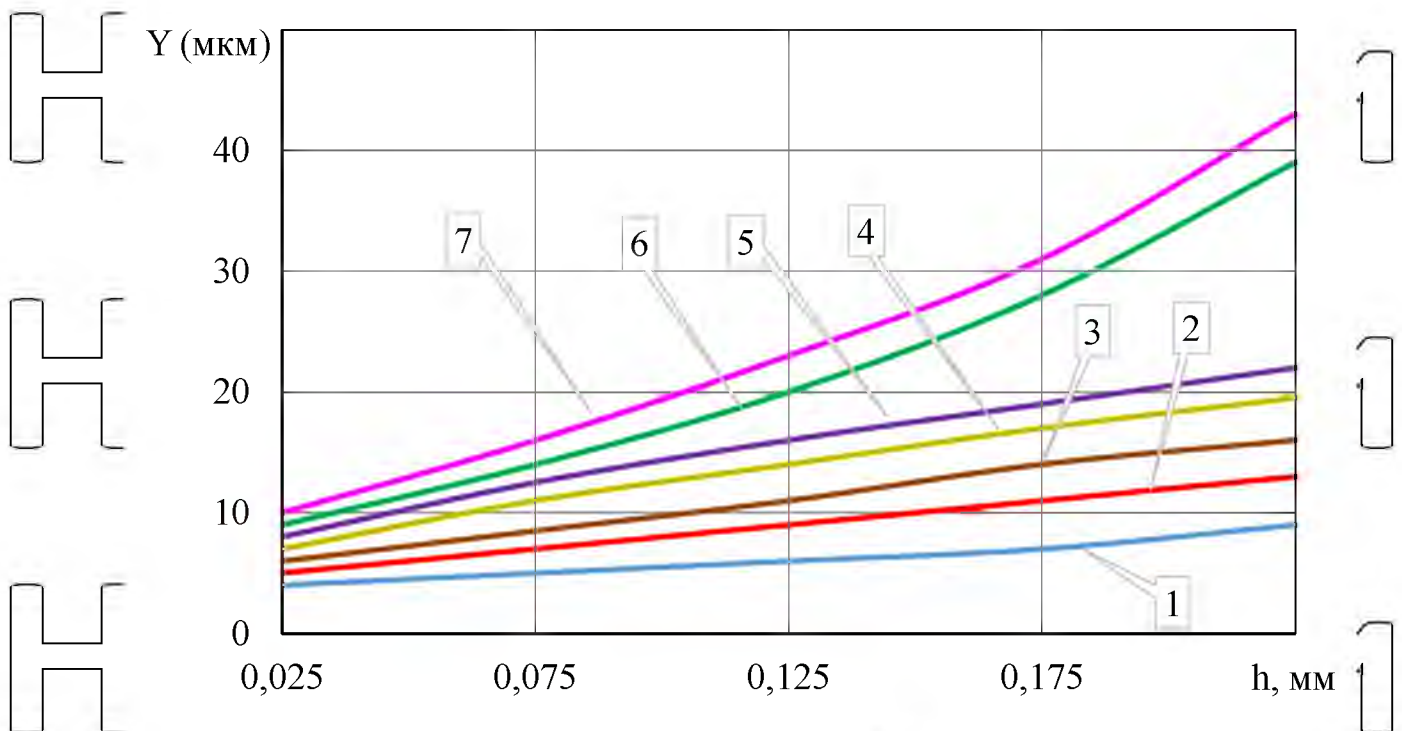
З рис 1.6, а виходить, що деформація зовнішнього кільця з полімерним покриттям герметика 6Ф під центральним тілом кочення визначається товщиною покриття і радіальним зазором у підшипнику. З їх збільшенням деформація кільця під центральним тілом кочення зростає.

При граничній товщині покриття, що рекомендується, 0,1 мм і нормальному радіальному зазорі 0,021 мм деформація зовнішнього кільця становить 12 мкм. Тому у відновлених герметиком 6Ф опорах перекіс і не паралельність осей знаходяться в допустимих межах і довговічність підшипникових вузлів висока.



а)

НУБІП України



б)

а) 1, 2, 3, 4, 5 і б-радіальний зазор підшипника відповідно 0,021; 0,120; 0,220; 0,320; 0,420 та 0,520 мм; б) 1 - АН-6К та АН-8К; 2-АН-6; АН-6В; 3- УГ-9; 4- УГ-8

Рисунок 1.6 - Деформація зовнішнього кільця при зміні товщини полімерного покриття  $h$  (а) та радіального зазору  $S$  (б):

Якщо при відновленні наносити полімерні покриття більшої товщини та використовувати підшипники зі збільшеним радіальним зазором, то деформація зовнішнього кільця і відповідно зміщення осі підшипника щодо осі отвору будуть більшими за допустимі. Наприклад у підшипнику з полімерним покриттям товщиною 0,22 мм і радіальним зазором 0,52 мм деформація зовнішнього кільця складе 58 мкм, що не допустимо.

Товщина клейового шва нерухомих з'єднань підшипників, виконаних анаеробними герметиками марок «Унігерм» і «Анатерм» складала 0,025...0,225 мм. Радіальний проміжок підшипника становив 0,021 мм. Зі збільшенням товщини клейового шва зростає деформація зовнішнього кільця підшипника (рисунок 1.5, б). При товщині 0,225 мм деформація кільця становила 13...18 мкм.

Найменшу деформацію (13 мкм) мають кільця склеєні герметиком УГ-

9 а найбільшу (18 мкм) - герметиками АН-6К та АН-8К.

Податливість опор кочення залежить від жорсткості (модуля пружності) полімерного шару між зовнішнім кільцем та корпусом. Це дуже наочно демонструє рисунок 1.6, б. Незважаючи на те, що гранична товщина клейового шва в 1,5 рази більша за граничну товщину покриття 6Ф і становить 0,15 мм, при нормальних радіальних зазорах у підшипниках деформація зовнішнього кільця не перевищує 10 мкм. Це пояснюється тим, що у анаеробних герметиків, які є реактопластами, модуль пружності значно вищий, ніж у еластомерів. Відповідно податливість опор, відновлених анаеробними герметиками нижче.

Аналіз літературних джерел показав, що питання збільшення модуля пружності та зменшення податливості еластомерів при відновленні корпусних деталей не вивчено. Необхідні теоретичні та експериментальні дослідження у цьому напрямку.

### **Висновки**

1. При виборі полімерного матеріалу або при розробці нових для відновлення посадок підшипників необхідно враховувати його модуль пружності, що характеризує жорсткість матеріалу і, відповідно, податливість відновлених опор кочення.

2. Одним з обмежень щодо збільшення граничної товщини полімерних покриттів з еластомерів є низький модуль пружності, що призводить до підвищеної податливості відновлених опор кочення. Щоб збільшити граничну товщину покриття і забезпечити при цьому зміщення осей підшипника щодо осі отвору в допустимих межах, необхідно збільшити модуль пружності еластомеру.

3. Необхідні теоретичні та експериментальні дослідження щодо збільшення модуля пружності та зменшення податливості еластомерів при відновленні корпусних деталей



## 1.2. Відновлення підшипникових гнізд у корпусних деталях полімерними матеріалами

Відновлення полімерними матеріалами посадкових отворів в корпусних деталях здійснюють трьома способами [8, 13, 14]:

1 - нанесенням полімерного покриття на зношене посадкове відверст з подальшим формуванням під номінальний розмір;

2 - вклеюванням зовнішнього кільця підшипника у зношене посадковий отвір корпусної деталі;

3 - нанесенням полімерного покриття на зношене посадкове відверст з подальшим запресуванням в нього підшипника (без формування).

В роботі Гаджієва А. А. для відновлення посадкових отворів корпусних деталей розроблена композиція, що включає (мас., ч.): епоксидну смолу ЕД-16 – 100, дибутил фталат – 20, затверджувач АФ-2 – 10, АСТ-Т – 35, алюмінієву пудру - 10, герметик 6Ф після ультразвукової

обробки [17]. Композиція призначена для відновлення посадкових місць підшипників зі зношуванням до 0,25 мм. Рекомендований натяг полімерного покриття становить 0,035 мм.

В даний час досить широке поширення, для фіксації деталей, що сполучаються, отримали анаеробні герметики і композиції на їх основі.

Анаеробні герметики є багатокомпонентними складами, які тривалий час зберігають свої властивості і швидко затверджуються в зазорах між металевими поверхнями після витіснення повітря [69].

Анаеробні герметики відрізняються високою адгезією до чорних і кольорових металів, резистентністю до води, олій, палив, кислот, лугів, органічних розчинників та ін. .

Основу анаеробних герметиків складають полімеризаційно- здатні сполуки акрилового ряду, як правило, диметилакрилові ефіри попіалкленіколів, що володіють високою швидкістю перетворення на просторово зв'язні полімери. Анаеробні герметики містять інгібуючі та ініціюючі системи, які забезпечують тривале зберігання матеріалу та його

швидко полімеризацію в зазорах сполук. До складу також входять загусники, модифікатори, барвники та інші добавки.

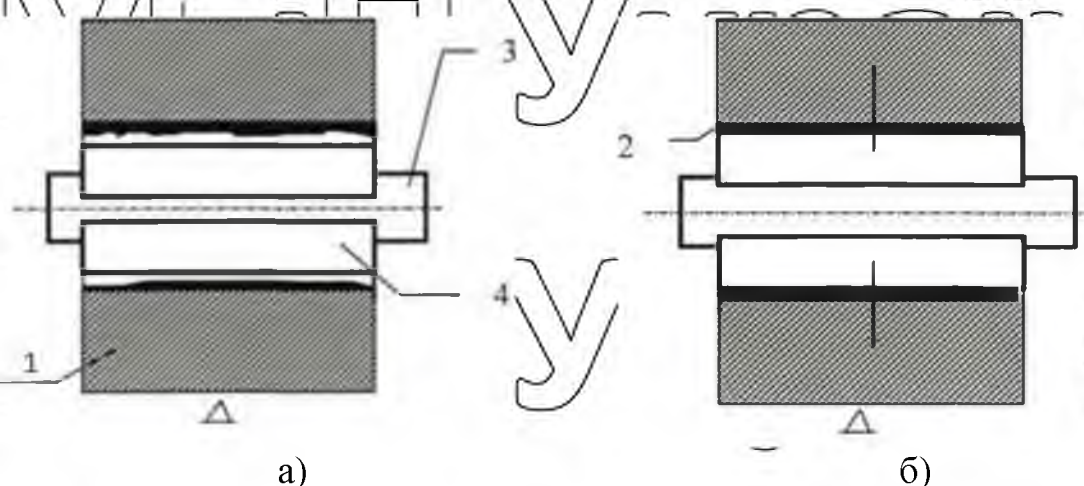
Виробниками анаеробних герметиків є НДІ полімерів ім. Каргіна (Росія), фірми Хенкель (Німеччина), Локтайт (Англія), "THREE BOND" (Японія). Перший випускає анаеробні герметики марок "Анатерм" та "Унігерм".

Анаеробні герметики відрізняються відносно високою ціною, що обмежує їхнє широке застосування. Тому, щоб підвищити економічну ефективність матеріалу, отримати особливі споживчі властивості, в анаеробні герметики вводять різні наповнювачі.

У роботі [13] розроблено композицію на основі адгезиву Анатерм-6В та технологію відновлення підшипникових гнізд у корпусних деталях. Склад полімерної композиції: герметик Анатерм-6В – 100 м.ч., тальк – 20 м.ч., бронзова пудра – 2 м.ч.

Відновлення посадкових отворів корпусних деталей під шпінники виконують калібруванням на зношеній поверхні шару полімерної композиції. Для калібрування використовують спеціальні циліндричні оправки (качалки). Щоб уникнути осьового видавлювання композиції при введенні качалки в отвір її калібрувальний елемент виконаний розсувним.

На рис. 1.7 показано схему формування композиції.



а) оправлення з кільцями у стислому стані; б) калібрування полімерної композиції кільцями, що розтіскаються; 1 – корпусна деталь; 2 - шар полімерної композиції, 3 – оправлення, 4 - розсувні півкільця [13]

Рисунок 1.7 – Схема формування полімерної композиції на поверхні зношених отворів корпусних деталей

Корпусну деталь встановлюють 1 на технологічну базу. Поверхні отворів зачищають до мегалевого блиску та знежирюють. Потім на них наносять шар полімерної композиції і вводять оправлення 3 з розсувними кільцями 4, що знаходяться в стислому стані.

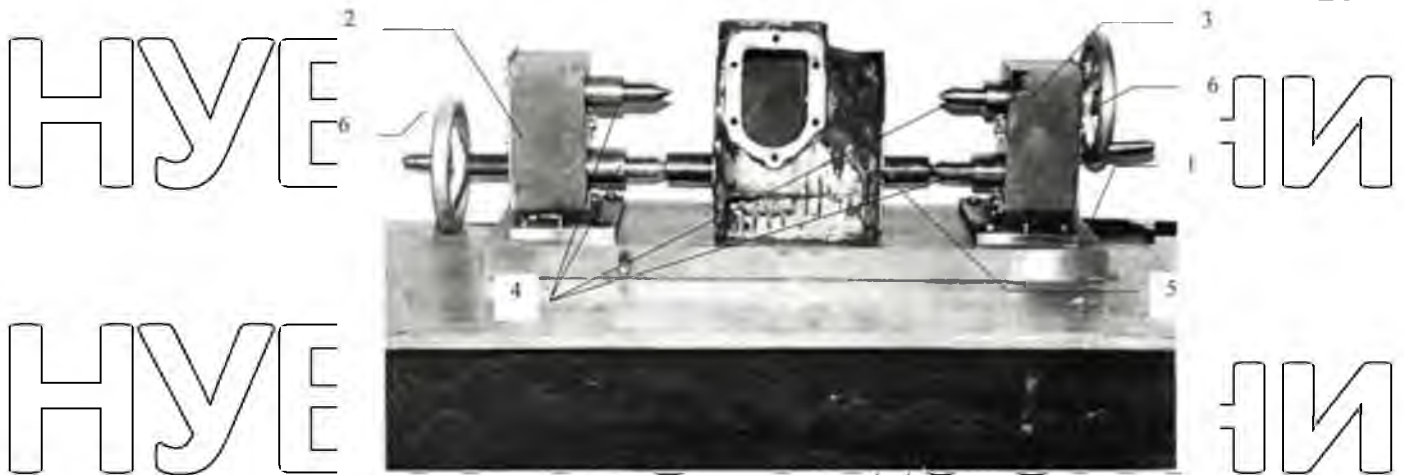
Для запобігання прилипання композиції поверхні кільця оброблені алмазним вигладжуванням до шорсткості  $R_a 0,1$ . Перед формуванням кільця змащують тонким шаром олії АКЗп-6. Після введення в отвір кільця розтискають, і полімерний шар калібрується. Після затвердіння композиції кільця стискають і виправлення виводять з отвору.

Розроблено спеціальний пристрій для відновлення підшипникових отворів корпусу коробки передач автомобіля УАЗ-53 (рисунок 1.8). Пристрій представляє плиту 1, із закріпленими на ній лівою 2 і правою 3 стійками.

Кожна стійка має два центри 4, які встановлені в пінолі і центрують качалки 5. За допомогою маховиків 3 нижній центр лівої стійки 2 і верхній центр стійки 3 переміщуються в горизонтальній площині. Відстань між центрами пристосування становить  $100,625 + 0,05$  мм. Перекіс та непаралельність загальної осі центрів на базовій довжині 250 мм не більше 0,04 мм.

Верхній центр стійки 2 і нижній стійки 3 пружні. Для базування корпусу КП по плиті 1 та осях центрів 4 плита 1 забезпечена двома ромбічними технологічними пальцями. Формуюча поверхня оправок виготовлена як шківця, у вигляді цанг. Цанги під час введення у яких конусів розсуються заданий розмір.

Картер КП з встановленими в отвори качалками 5, цанги яких стиснуті, встановлюють на плиту та поєднують технологічні отвори картера з ромбічними технологічними пальцями. Потім за допомогою маховиків 6 качалки фіксують у центрах 4. Повертаючи маховики 6, можна вводити і виводити качалки з посадкових отворів картера КП.



1 - плита; 2 - ліва стійка; 3 – права стійка; 4- центру; 5 - нижня качалка;  
6 – маховики [13]

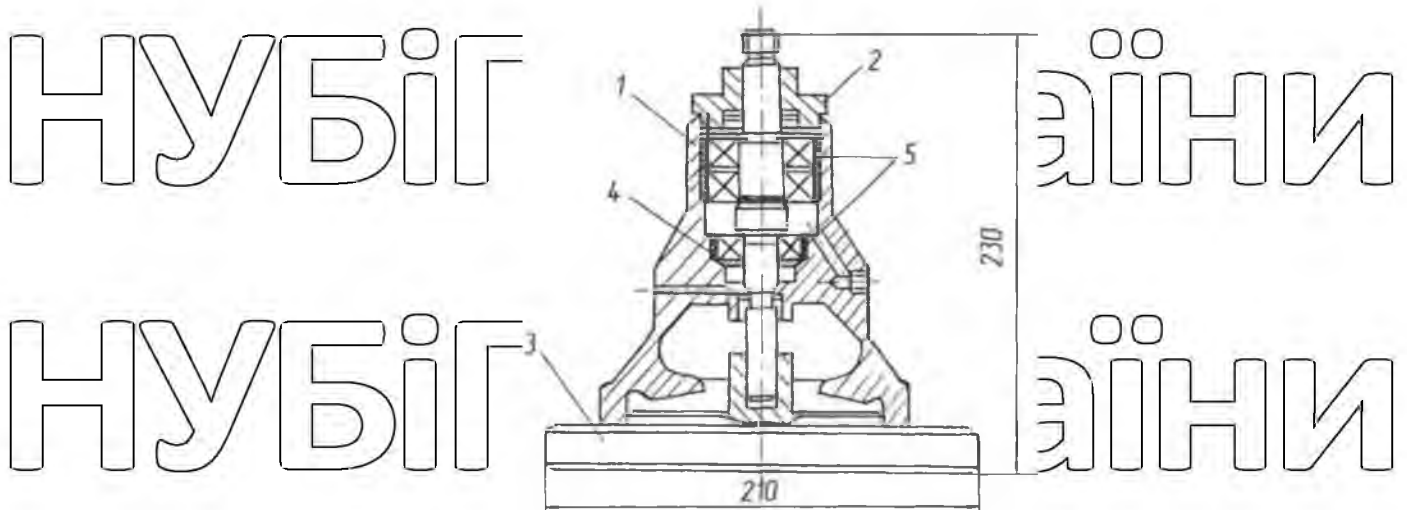
Рисунок 1.8 — Оснащення для формування підшипникових гнізд з полімерним покриттям у корпусі коробки передач.

Після нанесення полімерної композиції на поверхні отворів обертаючи маховики робочі частини скалок повільно вводять в отвори і за допомогою пресування конусів їх робочі поверхні розтискаються, калібруючи шар полімеру в заданий розмір. Після затвердіння композиції конуси виводять з оправок, видаляють качалки обертанням маховиків із відновлених отворів і деталь знімають із пристосування.

При відновленні клеями нерухомих з'єднань підшипників кочення зі зношуванням більше 0,05 мм використовують спеціальні центруючі пристрої [64, 71]. На малюнку 1.9 показано центруючий пристрій для склеювання корпусу водяного насоса і підшипників 304, 305 з валом.

У роботі [72] розроблені композиції на основі анаеробних герметиків :

- 1) графіт – 25%; порошок бронзовий, мідний чи залізний – 0,1%; анаеробний герметик – 74,9%;
- 2) порошок залізний – 15%, анаеробний герметик – 85%;
- 3) тальк – 25%; порошок залізний – 5%; анаеробний герметик – 70%;
- 4) порошок бронзовий або мідний – 15%; анаеробний герметик – 85%;
- 5) алюмінієвий порошок - 25%; порошок бронзовий або мідний – 0,1%; анаеробний герметик – 74,9%.



1 - корпус; 2 - кришка; 3 - основа; 4,5 - адгезив [64, 71]  
 Рисунок 1.9 — Центрувальний пристрій для склеювання корпусу  
 водяного насоса та підшипників 304, 305 з валом:

У роботі [73] отримано композицію на основі анаеробного герметика:

анаеробний герметик АН-111 - 78,08; наповнювачі: порошок акрилового лаку АК-506 - 21,7, порошок сплаву заліза з нікелем нанорозмірний - 0,22%. Міцність клейових сполук виконаних композицією на основі АН-111 становить 28,2 МПа. Це на 22% перевищує міцність клейових сполук не заповненого герметика АН-111. Композиція має недоліки:

1. Висока ціна нанорозмірних порошків, підвищені вимоги щодо точності відбору компонентів;
2. Незначне підвищення міцності клейових сполук композиції, порівняно з міцністю клейових сполук не наповненого герметика АН-111;
3. Введення наповнювачів не скорочує час затвердіння клейових сполук композиції анаеробного герметика АН-111.

У роботі Кондрашина С.І. для відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення запропоновано композицію на основі анаеробного герметика АН-111. Склад композиції (% від загальної маси): анаеробний герметик АН-111 - 100; мікротальк Талькон Т-20 - 9,6; бронзова пудра Б111-1 - 1,2. Міцність клейової сполуки композиції при рівномірному вдриві становить 21,8 МПа, що перевищує міцність сполук ненаповненого герметика

на 17% (18,6 МПа). Вартість композиції на 14% нижча за вартість не наповненого герметика АН-111 [74]. До недоліків можна віднести певну схильність до старіння.

У роботі Бочарова А. Ст розроблена композиція для відновлення нерухомих з'єднань важко навантажених підшипникових вузлів. Склад композиції (в %) анаеробний герметик АН-112 - 100, порошок алюмінієвий ПАЦ-1 - 12; пудра бронзова БПП - 0,35 [75]. До переваг ЦКМ на цій основі можна віднести такі фактори як велику міцність, високу швидкість затвердіння, збільшення теплопровідності клейового шва.

У роботі Бугіна А. В. розроблено полімер-полімерну композицію на основі акрилового адгезиву АН-105. Склад полімер-полімерної композиції: акриловий адгезив АН-105 - 100 мас.ч.; еластомер Ф-40 - 12 мас.ч [76].

Введення розчину еластомеру Ф-40 підвищує деформаційно міцнісні властивості матеріалу та клейових сполук. Питома робота деформації при аксіальному зсуві клейових сполук композиції перевищує на 70% аналогічний показник сполук не наповненого адгезиву АН-105. Модуль механічних втрат композиції на основі адгезиву АН-112 зменшився 54%. Введення еластифікатора підвищило витривалість і відповідно довговічність відновлених підшипникових вузлів при циклічних навантаженнях.

Максимальна допустима товщина клейового шва при відновленні нерухомих сполук адгезивом АН-105 становить 0,125 мм, а композиції на його основі - 0,15 мм. Довговічність підшипника при відновленні нерухомих сполук полімер-полімерною композицією на основі адгезиву АН-105 склала при циклічному навантаженні 186,72 млн.об., що в 4,4 рази перевищує розрахункову і на 15% вище ніж у ненаповненого полімеру. Ціна композиції на 13% нижча за адгезив АН-105.

Для рівномірного розподілу адгезиву по зазору в поєднанні деталей, що склеюються, останні розташовують вертикально (рисунок 9.9). Задача центрування деталей, що склеюються значно ускладнюється, коли відновлюються корпусні деталі агрегатів трансмісії. Непросто зафіксувати у

вертикальному положенні вал з підшипниками і шестернями, виникають проблеми з вибором технологічних баз та ін.

Вищевказаних недоліків позбавлена технологія відновлення посадкових отворів корпусних деталей герметиком 6Ф. Матеріал пошарово наноситься пензлем у вигляді покриття на зношені отвори посадкові корпусної деталі.

Після нанесення покриття, останні піддають термічній обробці при температурі 150°C протягом 3 год. Дослідження Шубі на А. Р. показали, що не потрібно формування нанесеного полімерного покриття. Технологія відрізняється простотою та ефективністю. Відновлення корпусних деталей

герметиком 6Ф дозволяє багаторазово підвищити їхній ресурс. Основним недоліком технології є відносно невисоке значення гранично допустимої товщини покриття 0,2 мм, що не завжди при відновленні буває недостатньо.

Герметик 6Ф є продуктом поєднання смоли ФКУ та каучуку марки СКН-40. Матеріал випускався у вигляді рулонів. Перед застосуванням розчиняли в ацетоні з співвідношення 20 мас.ч. ацетону на 1 мас. ч. Герметика 6Ф. Покриття мають високу адгезію до чорних і кольорових металів і хімічної стійкістю [8, 45...47,52]. Аналогом герметика 6Ф є лак Ф-40. Відмінність у цьому, що лак Ф-40 випускався як розчину, що значно спрощувало його застосування.

Лак Ф-40 (ТУ 6-06-246-92) є розчином композиції каучука і модифікованої фенольної смоли в органічному розчиннику [77]. Як згадувалося раніше, одним з обмежень за призначенням граничної товщини полімерних покриттів з еластомерів є низький модуль пружності, що призводить до підвищеної податливості відновлених опор кочення. Щоб збільшити граничну товщину покриття та забезпечити при цьому зміщення осей підшипника щодо осі отвору в допустимих межах, необхідно збільшити модуль пружності еластомеру.

Одним із способів збільшення модуля пружності полімерних матеріалів є введення в полімерну матрицю дисперсних наповнювачів органічного та неорганічного походження. Розглянемо, які наповнювачі застосовують нині у

ПКМ на основі еластомерів. Еластомери - полімери та матеріали на їх основі, що мають високоеластичні властивості в усьому діапазоні температур їх експлуатації [78].

Найбільш відомим представником таких матеріалів є гума, основу якої складає каучук. Завдяки введенню наповнювачів властивості гум можуть значно відрізнятись. Наповнювачі гум це високодисперсні органічні або неорганічні речовини, які вводять у каучук. В обсязі гумової суміші 10..25% припадає на різні наповнювачі. Призначення наповнювачів гум: 1) зміна механічних властивостей або надання будь-яких спеціальних властивостей (електропровідність, хімічна стійкість та ін.); 2) полегшення обробки гумової суміші; 3) зниження вартості виробу.

Розрізняють активні та інертні наповнювачі. Активні наповнювачі збільшують міцність гум, опір роздиранню та зносостійкості, змінюють пласто-еластичні властивості гумових сумішей. До активних наповнювачів належать сажа (технічний вуглець), синтетичний дво окис кремнію («біла сажа»), карбонат магнію, карбонат кальцію, окис цинку, кремнезем та деякі глини. Найбільш поширеним активним наповнювачем є сажа, т.к. вона є відносно дешевим продуктом та забезпечує найбільший ефект зміцнення.

Інертні наповнювачі не покращують, а в ряді випадків децю погіршують властивості гуми і служать для збільшення маси та об'єму і, відповідно, здешевлення виробу. До таких наповнювачів належать: крейда, каолін та ін.

Введення того чи іншого наповнювача в полімерну матрицю надає ПКМ певні властивості (збільшує міцність, електропровідність і т.д.) або здешевлює матеріал децю погіршуючи його споживчі властивості. До полімерного матеріалу призначеного для відновлення корпусних деталей пред'являються специфічні вимоги: висока адгезія до чорних і кольорових металів, висока міцність і витривалість, стійкість до впливу агресивних середовищ, теплостійкість та ін.

Технічні вимоги до гум і еластомерів, призначених для відновлення корпусних деталей, істотно відрізняються. Тому необхідне обґрунтування



вибору наповнювачів для ела стомірів ремонтного призначення.

### **Висновок**

Необхідні теоретичні дослідження, які дозволить сформулювати вимоги до наповнювачів та цілеспрямовано вибирати їх при розробці нових ПКМ на основі еластомерів, призначених для відновлення посадкових отворів у корпусних деталях. Представляє практичний інтерес розробка ПКМ на основі еластомеру Ф-400.

### **1.3 Температурний режим підшипникових вузлів, відновлених полімерними матеріалами**

Полімерні матеріали відносяться до категорії теплоізолюючих матеріалів. Теплопровідність полімерних матеріалів менша ніж теплопровідність чорних металів приблизно в 100 разів. Тому в процесі експлуатації тепловідведення у відновлених підшипникових вузлах дещо утруднений.

У полімерних матеріалах, що піддаються циклічному навантаженню, частина енергії деформації безповоротно розсіюється як тепла. Таку енергію називають гістерезисними втратами. У підшипникових вузлах, які працюють в умовах підвищених температур і значних знакоперемінних, динамічних навантажень, збільшення температури полімерного матеріалу внаслідок гістерезисних втрат, погіршення тепловідведення може значно підвищити температуру підшипника та мастильного матеріалу. Це може за певних умов суттєво скоротити ресурс під шипника.

Кількість тепла, яке при циклічному навантаженні полімерного зразка виділяється в одиницю часу, має пряму залежність від амплітуди напруги та амплітуди деформації, частоти циклічного навантаження, модуля механічних втрат (рисунок 1.10). Тому ці фактори слід враховувати при розробці полімерних композицій.

Враховується температура довкілля. Як впливає з (рисунок 1.11) вона впливає на температуру полімерного зразка і може спричинити його термічну втомну руйнування.

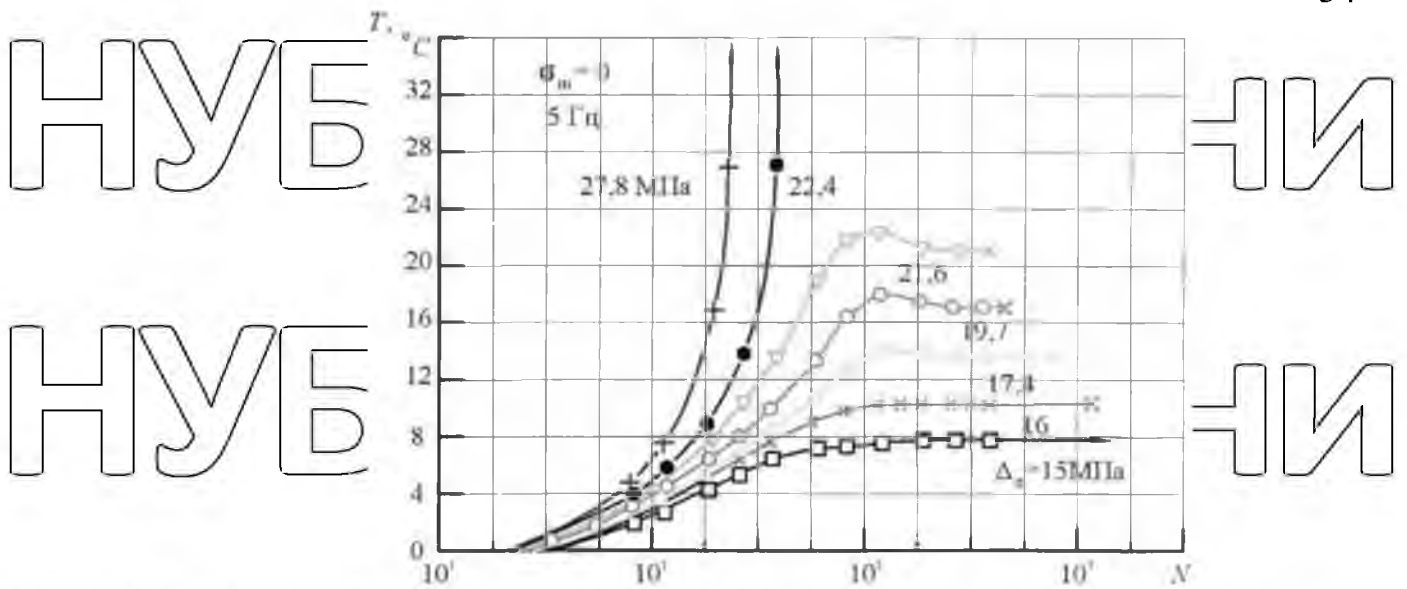


Рисунок 1.10 - Залежність підвищення температури поліетиленоксиду Т від кількості циклів навантаження N та амплітуди напруги [75]

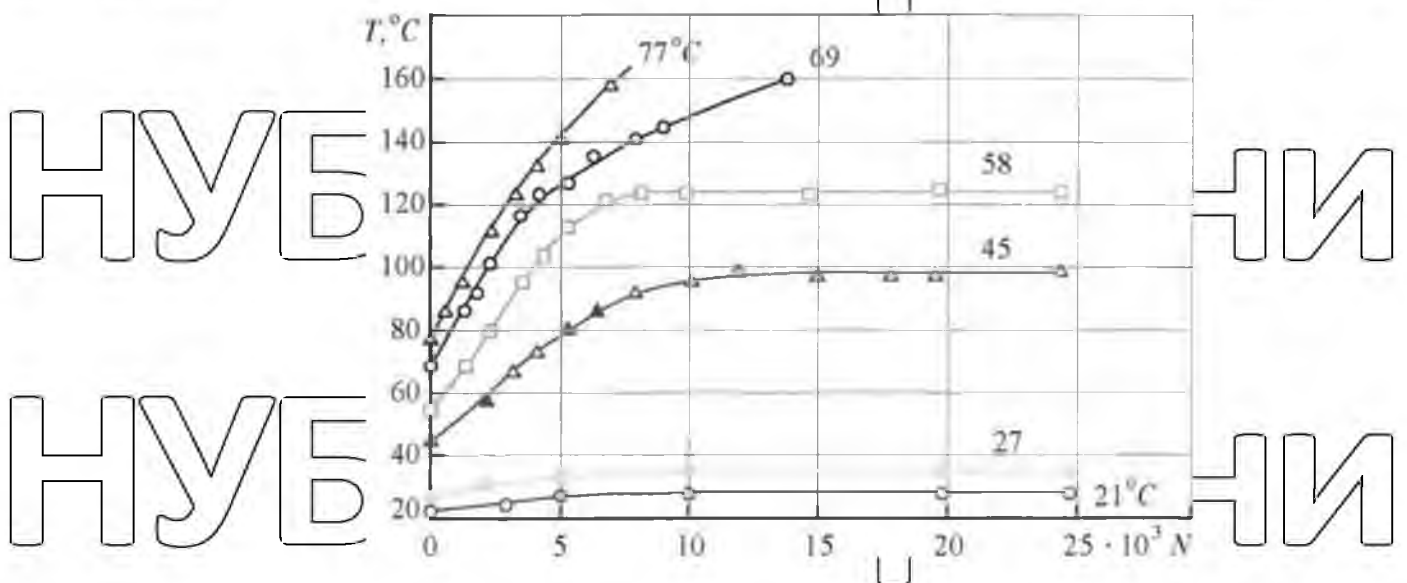


Рисунок 1.11 - Залежність збільшення температури поліаміду б Т від кількості циклів навантаження N та температури навколишнього середовища [75]

У роботах [8, 70] проведено порівняльні дослідження теплового режиму підшипників, запресованих у корпус, з полімерним покриттям герметика бФ та без покриття.

НУБІП України

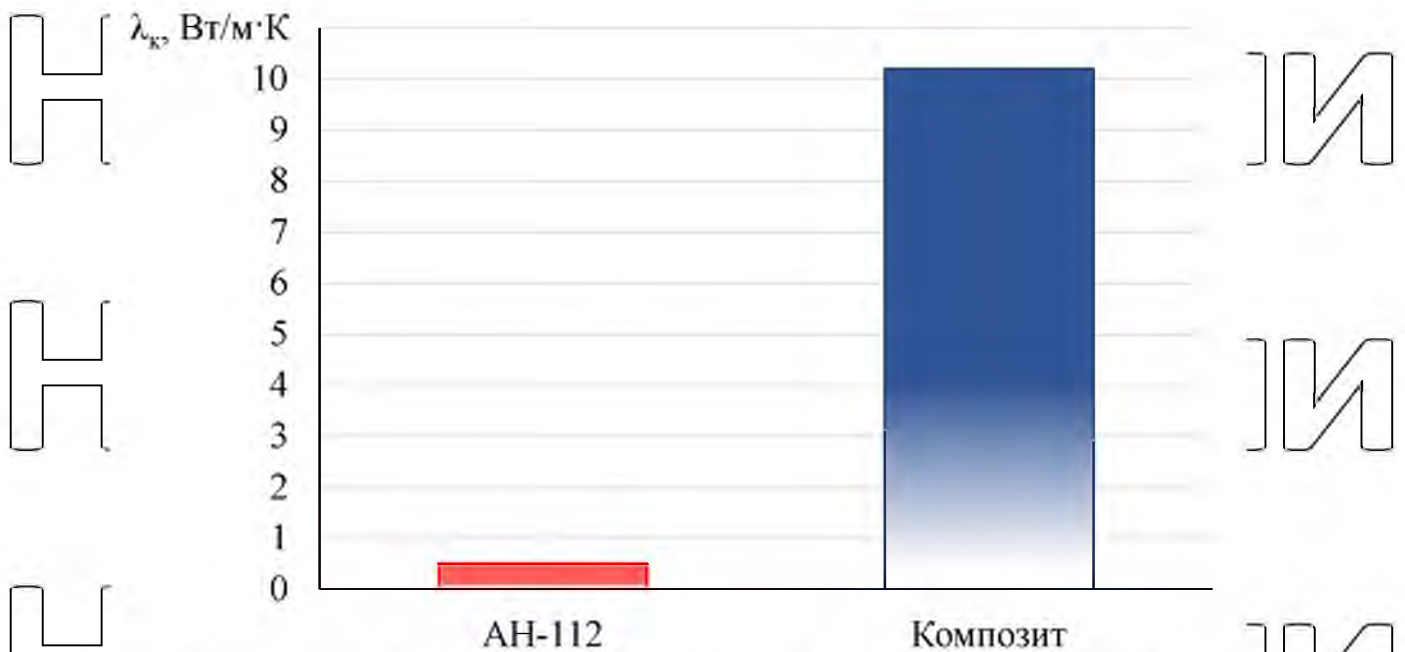


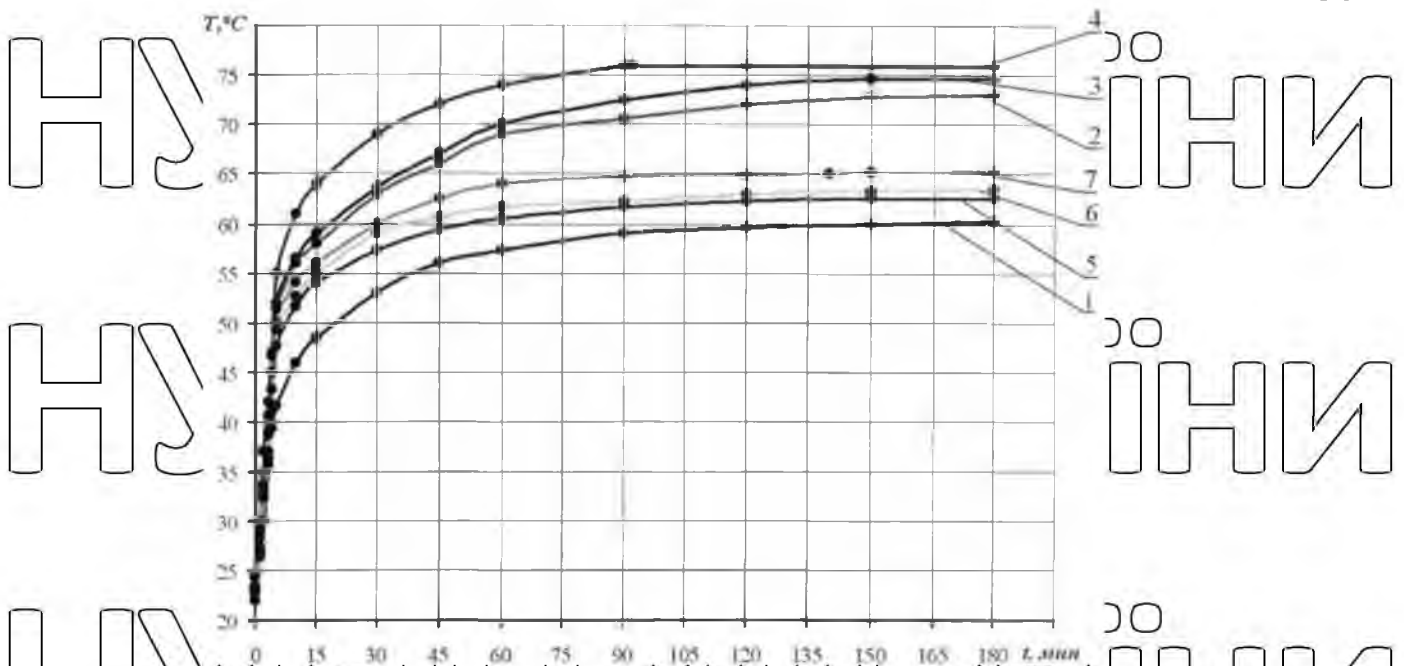
Рисунок 1.12 - Теплопровідність адгезиву АН-112 та його композиції

[75]

У з'єднанні підшипника 209 з герметика АН-112, рівноважна температура була вищою на 13; 15 і 16 $^{\circ}$ С при товщині клейового шва 0,05; 0,125 та 0,2 мм.

У з'єднанні підшипника 209, виконаним ПКМ на основі герметика АН-112, рівноважна температура порівняно з не наповненим герметиком АН-112 була нижчою на 10; 12 і 11 $^{\circ}$ С при товщині клейового шва 0,05; 0,125 та 0,2 мм і відповідно складала  $T_p = 63; 63$  та  $65^{\circ}$ С. У порівнянні з з'єднанням з посадкою  $J_s$  7/16 підшипника 209 середня рівноважна температура при товщині клейового шва 0,05; 0,125 і 0,2 мм виявилася вищою лише на 3; 3 та 5 $^{\circ}$ С.

Температура нагріву клейових з'єднань підшипників, виконаних ПКМ на основі герметика АН-112, у порівнянні з не наповненим матеріалом 39 дм нижче до 12 $^{\circ}$ С і перевищує температуру з'єднання з посадкою  $<7$  s . 7/16 стандартного підшипника 209 лише на 3...5 $^{\circ}$ С.



1 - з'єднання підшипника 209 з посадкою Js7 / H6; 2 - з'єднання підшипника 209 з адгезиву АН-112 з товщиною клейового шва  $h = 0,05$  мм; 3 — з'єднання підшипника 209 з адгезиву АН-112 з  $I = 0,25$  мм; 4 - з'єднання підшипника 209 з адгезиву АН-112 з  $h = 0,2$  мм; 5 - з'єднання підшипника 209, виконане ПКМ на основі герметика АН-112 з  $h = 0,05$  мм; 6 - з'єднання підшипника 209, виконане ПКМ з  $h = 0,125$  мм; 7 - з'єднання підшипника 209, виконане ПКМ з  $I = 0,2$  мм [75]

Рисунок 1.13 - Залежність температури з'єднань підшипника 209 від часу навантаження при циклічному навантаженні  $F = 20,0$  кН.

В роботі [76] досліджували температуру деталей підшипникового вузла, відновленого акриловим адгезивом АН-105 та полімер-полімерною композицією на його основі, що піддаються циклічному навантаженню на вібродисці. Циклічне радіальне навантаження на підшипник становила 9,9; 15,8 та 20,0 кН.

Температура зовнішнього кільця підшипникового вузла відновленого не наповненим адгезивом АН-105 складала 36, 39 і 44 ° С при навантаженнях відповідно 9,9; 15,8 та 20,0 кН (рисунок 1.14).

Температура зовнішнього кільця підшипникового вузла відновленого ПКМ на основі адгезиву АН-105 складала 33, 35 і 39 ° С при тих же

навантаженнях (рисунк 1.15). Це 8,4; 11,3 та 11,4% менше, ніж у чистого пекларезиву.

Температура втулки підшипникового вузла відновленого адгезивом АН-105 складала 52, 58 та 68 °С при навантаженнях 9,9, 15,8 та 20,0 кН.

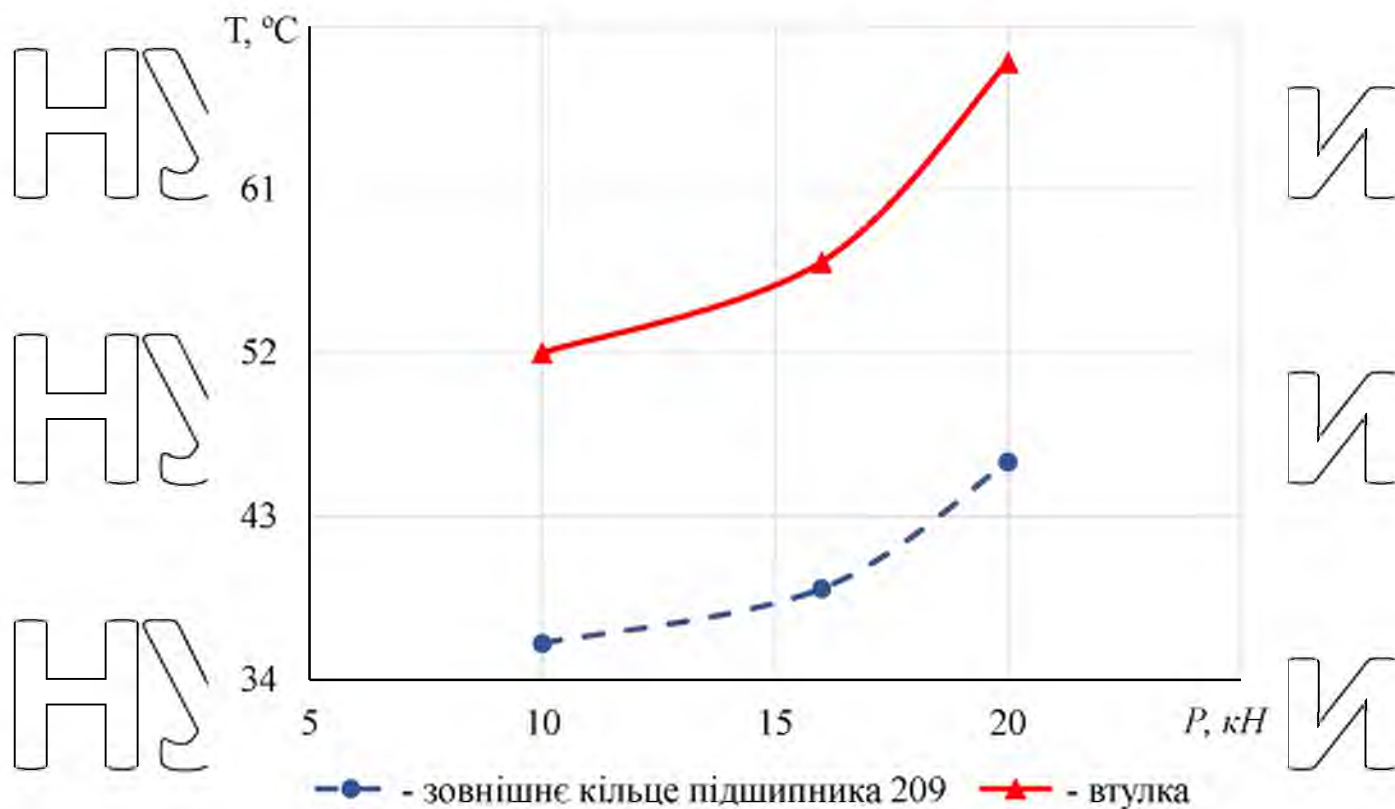


Рисунок 1.14 - Залежність температури деталей підшипникового вузла, відновленого акриловим адгезивом АН-105 від радіального циклічного навантаження P.

Температура втулки підшипникового вузла відновленого ПКМ на основі адгезиву АН-105 складала 51, 56 та 61 °С при тих же навантаженнях. Це на 2; 3,5 та 11,3% менше, ніж у чистого адгезиву.

Автор дійшов висновку, що введення еластифікатора суттєво знижує теплоутворення у клейовому шві, про що свідчить нижча температура деталей підшипникового вузла порівняно з ненаповненим адгезивом.

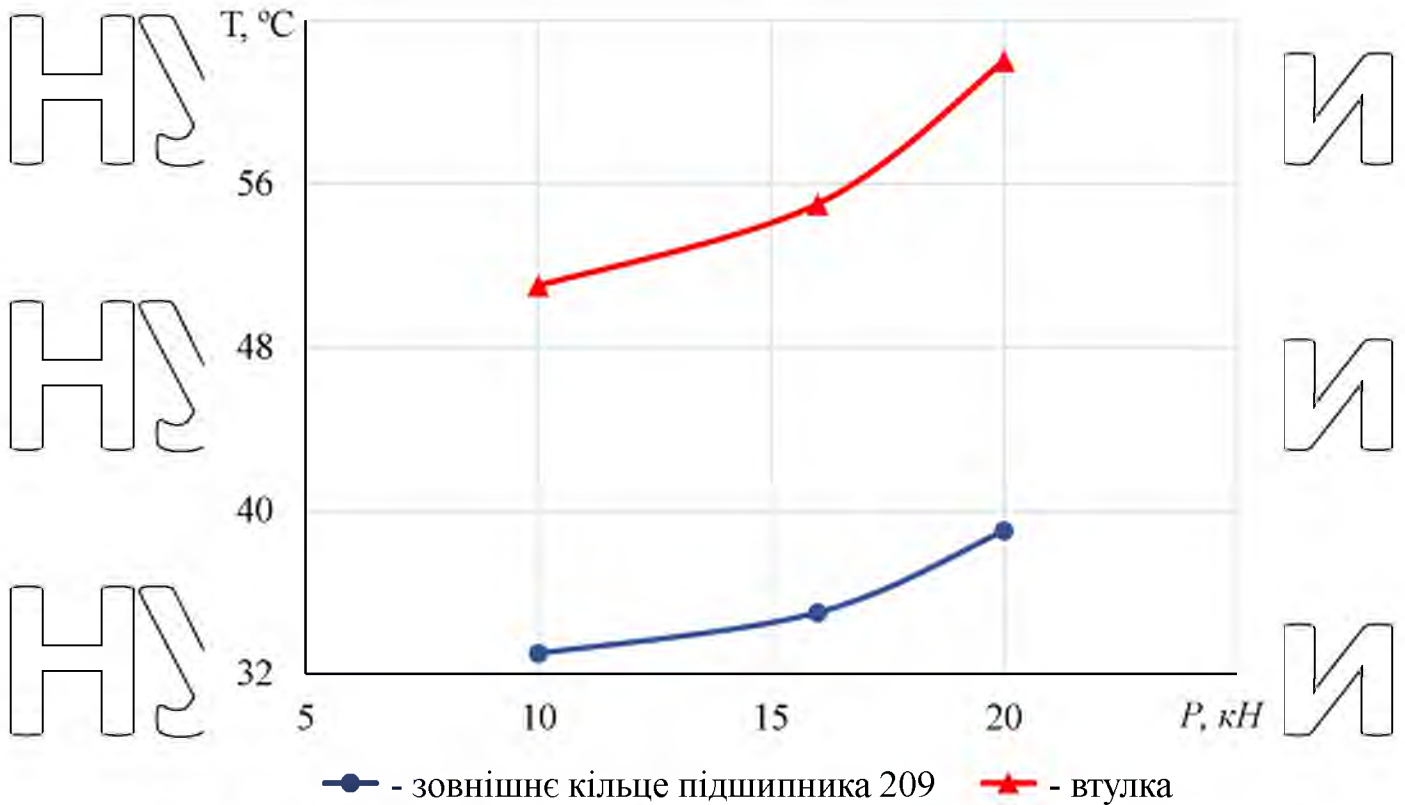


Рисунок 1.15 - Залежність температури  $T$  деталей підшипникового вузла, відновленого композицією адгезиву АН-105 від радіального циклічного навантаження  $P$ .

Температура деталей підшипникового вузла, відновленого композицією на основі адгезиву АН-105 до  $7^{\circ}\text{C}$  нижче порівняно з ненаповненим адгезивом.

Як впливає з вивщевикладеного тепловідведення в підшипникових вузлах, відновлених полімерними матеріалами залежить від товщини полімерного шару. Чим більша товщина полімерного шару, тим нижче

тепловідведення. Тому при виборі наповнювачів необхідно вибирати такі, які підвищують теплопровідність ПКМ. Представляє практичний інтерес дослідження теплопровідності ПКМ на основі еластомеру Ф-40С

#### 1.4 Висновки. Мета та завдання досліджень

Корпусні деталі є найбільш дорогими деталями в конструкції машин, а також відносяться до категорії базисних, ресурсних деталей, які значною мірою визначають довговічність всього агрегату.

Знос посадкових отворів в корпусних деталях агрегатів трансмісії мобільних машин викликає зміну взаємного розташування валів з

підшипниками. При цьому порушується співвісність і паралельність валів, взаємне розташування поверхонь деталей, що сполучаються. Перекоси осей посадкових отворів корпусних деталей агрегатів трансмісії призводять до перекосу кілець підшипників та збільшення нерівномірності навантаження на зубцях шестерень. У разі перекосу кілець підшипників збільшується навантаження на тіла та доріжки кочення і вони інтенсивно зношуються. Відхилення від паралельності осей призводить до зміни міжцентрової відстані зубчастих коліс і, як наслідок, до зростання динамічних навантажень на зубах, що може призвести до їх фарбування, зламу, різкого скорочення ресурсу.

Технологія відновлення посадкових отворів корпусних деталей герметиком 6Ф відрізняється простотою та низькою собівартістю. Після відновлення багаторазово збільшується ресурс корпусних деталей і підшипників. Ефективність технології відновлення можна підвищити, якщо збільшити максимально допустиму товщину полімерного покриття, що компенсує зношування. Гранична товщина покриття з еластомеру значною мірою обмежується значенням податливості відновленої опори при навантаженні радіальному підшипника, що впливає на зміщення осей підшипника щодо осі отвору. Для збільшення максимально допустимої товщини полімерного покриття еластомеру та забезпечення при цьому необхідної податливості слід збільшити модуль пружності матеріалу.

Аналіз літературних джерел показав, що питання збільшення модуля пружності та зменшення податливості еластомерів при відновленні 43 корпусних деталей не вивчено. Необхідні теоретичні та експериментальні дослідження щодо збільшення модуля пружності та зменшення податливості еластомерів при відновленні корпусних деталей.

Одним із способів збільшення модуля пружності полімерних матеріалів є введення в полімерну матрицю дисперсних наповнювачів органічного та неорганічного походження. Необхідні теоретичні дослідження, які дозволять сформулювати вимоги до наповнювачів та цілеспрямовано вибирати їх при розробці нових ПКМ на основі еластомерів, призначених для відновлення

посадкових отворів у корпусних деталях. Представляє практичний інтерес розробка ПКМ на основі еластомеру Ф-40С.

Теплопровідність полімерних матеріалів менша ніж теплопровідність чорних металів приблизно в 100 разів. З цієї причини тепловідведення в процесі експлуатації у відновлених підшипникових вузлах дещо утруднене.

У полімерних матеріалах, що піддаються циклічному навантаженню, частина енергії деформації безповоротно розсіюється як тепла. Таку енергію називають гістерезисними втратами. У підшипникових вузлах, які працюють в умовах підвищених температур і значних знакоперемінних, динамічних

навантажень, збільшення температури полімерного матеріалу внаслідок гістерезисних втрат, погіршення тепловідведення може значно підвищити температуру підшипника та мастильного матеріалу. Це може за певних умов зменшити ресурс підшипникового вузла.

Тепловідведення у підшипникових вузлах, відновлених полімерними матеріалами залежить від товщини полімерного шару. Чим більша товщина полімерного шару, тим нижче тепловідведення. Тому при виборі наповнювачів необхідно вибирати такі, що підвищують теплопровідність ПКМ.

Виявляє практичний інтерес дослідження теплопровідності ПКМ на основі еластомеру Ф-40С.

З метою оцінки справедливості теоретичних положень у дисертації слід досліджувати ПКМ на основі еластомеру Ф-40С та розробити технологію відновлення підшипникових гнізд корпусних деталей.

Мета магістерської роботи - підвищення ефективності відновлення посадкових отворів корпусних деталей сільськогосподарської техніки композицією на основі еластомеру Ф-40С за рахунок підвищення якості полімерних покриттів, збільшення їх теплопровідності, підвищення міцності та довговічності, менших енерговитрат технології, відновлення деталей з великим зносом.

Проведений літературний огляд та аналіз сформулювали у дисертації такі завдання досліджень:



- дослідити теоретичні аспекти зниження податливості опор кочення  
 відновленні посадкових отворів наповненими еластомерами ,  
 - розробити теоретичні передумови підвищення ефективності  
 еластомерів для відновлення корпусних деталей під час введення  
 наповнювачів ;

- дослідити деформаційно-міцнісні властивості плівок полімерної  
 композиції на основі еластомеру Ф-40С;  
 - дослідити адгезію полімерної композиції на основі еластомеру Ф-40С;  
 - дослідити теплопровідність полімерної композиції на основі  
 еластомеру Ф-40С.

- дослідити пористість плівок полімерної композиції на основі  
 еластомеру Ф-40С;  
 - дослідити довговічність і тепловий баланс нерухомих з'єднань ,  
 відновлених полімерною композицією на основі еластомеру Ф-40С;

- розробити технологію відновлення посадкових отворів корпусних  
 деталей полімерної композиції на основі еластомеру Ф-40С та дати оцінку її  
 економічній ефективності.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ ПОЛІМЕРНИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

### 2.1 Теоретичні аспекти зниження податливості опор кочення при відновленні посадкових отворів наповненими еластомерами

#### 2.1.1 Дослідження коефіцієнта податливості опор, відновлених полімерними матеріалами

Зі збільшенням товщини полімерного покриття зростає деформація зовнішнього кільця при радіальному навантаженні і, відповідно, зміщення валу щодо отвору корпусної деталі. Особливо ця проблема актуальна для еластомерів, які мають високу еластичність (за податливістю). Слід зазначити, що гранична товщина покриття з еластомера значною мірою обмежується значенням податливості відновленої опори при радіальному навантаженні підшипника. Порушення співвісності валу та отвори корпусної деталі негативно впливає на ресурс зубчастих коліс, встановлених на валах трансмісії сільськогосподарської техніки. Тому при виборі полімерних матеріалів або при розробці нових важливо враховувати їх деформаційно-міцнісні властивості, в аспекті забезпечення допустимої співвісності валу та отвору корпусної деталі, при радіальному навантаженні підшипника. Розглянемо зв'язок податливості пружного полімерного матеріалу з його деформаційно-міцнісними характеристиками.

Центральне тіло кочення в підшипнику є найбільш навантаженим. Тому деформація зовнішнього кільця під центральним тілом гойдання при радіальному навантаженні підшипника буде максимальною. Прийнято припущення, що зсув валу з підшипником щодо отвору корпусної деталі під радіальним навантаженням дорівнює деформації зовнішнього кільця навпроти центрального тіла кочення.

Деформацію зовнішнього кільця підшипника під центральним тілом кочення визначають за формулою [8]

$$y_0 = -\frac{1}{8EJ\beta^3} (P_0 + 2P_1 e^{\beta l_1} (\sin \beta l_1 + \cos \beta l_1) + 2P_2 e^{-2\beta l_1} (\sin 2\beta l_1 + \cos 2\beta l_1)), \quad (2.1)$$

де  $E$  - модуль пружності матеріалу підшипника;

$J$  - момент інерції поперечного перерізу балки (зовнішнього кільця підшипника);

$l_1$  - відстань між тілами кочення;

$P_0, P_1, P_2$  - навантаженість центрального, першого і другого тіл, відповідно,

$\beta$  - коефіцієнт,

$$\beta = \sqrt{\frac{k}{4EJ}}, \quad (2.2)$$

де  $k$  - погонний коефіцієнт постілі.

$$k = k_n b, \quad (2.3)$$

де  $k_n$  - коефіцієнт ліжка,  $\text{H}/\text{м}^3$ ;

$b$  - ширина балки.

Визначимо залежність між коефіцієнтом податливості і модулем пружності матеріалу полімерного покриття.

Коефіцієнт податливості  $k_n$  відповідно до формули Вінклера [79]

$$k_n = \frac{P}{S}, \quad (2.4)$$

де  $P$  - тиск на поверхні пружної основи,

$S$  - прогин (повне осадження) пружної основи, що стискається.

Прогин полімерного покриття під тиском  $P$  можна визначити за

формулою

$$S = \frac{P(1+\mu_n)(1-2\mu_n)h_n}{(1-\mu_n)E_n}, \quad (2.5)$$

де  $\mu$  і  $E_n$  — середні коефіцієнт Пуассона і модуль пружності матеріалу

полімерного покриття в межах стискуючої товщини  $h_n$ , відповідно.

Підставимо (2.5) у (2.4) отримаємо

1

$$k_n = \frac{(1-\mu_n)E_n}{P(1+\mu_n)(1-2\mu_n)h_n} \quad (2.6)$$

Як випливає з формули (2.6) коефіцієнт податливості до залежить від товщини полімерного покриття  $h_n$  у зворотній пропорційній залежності . Чим

більша товщина товщини полімерного покриття  $h_n$  , тим менше значення коефіцієнта податливості  $k_n$  і більше прогин полімерного покриття  $S$  .

Коефіцієнт податливості  $k_n$  має пряму пропорційну залежність від модуля пружності полімерного матеріалу. Чим більший модуль пружності  $E_n$  , тим

більше значення коефіцієнта податливості до і менше прогин полімерного покриття  $S$

Тому, щоб збільшити гранично допустиму товщину полімерного покриття еластомеру і забезпечити при цьому прогин полімерного покриття (зсув зовнішнього кільця підшипника з валом щодо осі посадкового отвору корпусної деталі) в межах, що допускаються, необхідно збільшити модуль пружності еластомеру.

Аналіз формули (2.6) показує, що вона не враховує жорсткість зовнішнього кільця підшипника, яка залежить від типорозміру. Очевидно , що

ця величина істотно впливає на деформацію при навантаженні зовнішнього кільця підшипника, що спирається на пружний полімерний шар.

У нашій роботі розроблено алгоритм визначення значення коефіцієнта ліжка з урахуванням типорозміру підшипника.

Спочатку необхідно визначити циліндричну жорсткість зовнішнього кільця підшипника (балки) за формулою [79]

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \quad (2.7)$$

де  $h$  — висота поперечного перерізу балки еквівалентного поперечному

перетину зовнішнього кільця підшипника;

$E$  та  $\mu$  - модуль пружності та коефіцієнт Пуассона сталі

Потім розраховують величину  $a$

$$\alpha = \sqrt[3]{\frac{E_n}{2D(1-\mu_n^2)}} \quad (2.8)$$

Далі експериментально визначають радіус відбитка  $R$  при контакті навантаженої центральної кульки з біговою доріжкою зовнішнього кільця підшипника за методикою [14].

З таблиці 2.1, за твором  $aR$  визначають значення коефіцієнта  $\eta$

Таблиця 2.1 - Значення коефіцієнта  $\eta$  від величини  $aR$  [79]

Величина	Значення										
$aR$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
$\eta$	0,091	0,147	0,220	0,275	0,313	0,352	0,367	0,364	0,353	0,309	0,263

Потім розраховують величину  $a_0$  за формулою

$$a_0 = 1,91\eta \frac{h_n}{R} \sqrt[3]{\frac{E(1-\mu_n^2)}{E_n(1-\mu_n^2)}} \quad (2.9)$$

Далі розраховують значення коефіцієнта ліжка за формулою

$$k_0 = \frac{Eh^3}{R^4 10^{\alpha_0}} \quad (2.9)$$

У висновку за формулою (2.1) розраховують деформацію зовнішнього кільця при радіальному навантаженні.

## 2.2 Підвищення ефективності еластомерів під час введення дисперсних металевих порошків

### 2.2.1 Підвищення міцності та довговічності еластомерів при наповненні високодисперсними твердими частинками

Відповідно до теорії міцності за Гріффітом руйнування твердих тіл включає три стадії: зародження мікротріщин, їх стабільне зростання і катастрофічне зростання тріщин, що призводить до руйнування матеріалу [84].

При навантаженні у зразку з полімеру виникають мікротріщини. Причиною зародження тріщин є дефекти полімерного матеріалу та області перенапруг [85]. Останні утворюються при формуванні зразку і можуть бути

наслідком не завершених релаксаційних процесів, термічної усадки матеріалу або через флуктуацію теплової енергії, що призводить до розриву хімічних зв'язків.

На другій стадії спостерігається стабільне зростання тріщини. З механіки відомо, що навантаження на тріщину концентрується області її вершини. Зі збільшенням розміру тріщини навантаження у її вершині зростає.

Після досягнення тріщиною певного критичного розміру, сконцентрована в її вершині енергія перевищить термодинамічну поверхневу енергію тіла  $\gamma_m$  і починається катастрофічне зростання тріщини, що призводить до руйнування тіла.

Міцність полімерного матеріалу  $\sigma_F$  можна розрахувати за формулою Гріффіта [75]

$$\sigma_F = Y \sqrt{2E\gamma_F / c}, \quad (2.19)$$

де  $Y$  – коефіцієнт, що залежить від геометричних розмірів тіла;

$\gamma_F$  – питома поверхнева енергія руйнування;  $c$  – розмір тріщини.

Виникнення та зростання тріщин відбувається у часі, тому при тривалому впливі навантаження на матеріал його міцність знижується. Теорія Гріффіта добре пояснює, чому експериментальні значення міцності твердих тіл багато разів нижчі від теоретичних. Однак, якщо мір утворюються тріщин більше критичного, то при їх виникненні матеріал руйнується при зниженому навантаженні [85].

Причини збільшення міцності композиції при наповненні полімеру високодисперсними частинками

З формули (2.19) слід, що міцність полімерного матеріалу залежить від розміру тріщини  $c$ , модуля пружності  $E$  і питомої поверхневої енергії руйнування  $\gamma_F$ . Розглянемо механізм впливу цих факторів на міцність матеріалу.

Розмір тріщин, що виникають у полімерній матриці, значною мірою залежить від розміру частинок, що вводяться наповнювача. При введенні

великих частинок у полімерній матриці виникають тріщини розміром більше певного критичного значення. В результаті полімерний композиційний матеріал руйнується при менших навантаженнях, ніж його полімерна матриця.

. Збільшення розміру частинок викликає зниження міцності еластомеру – гуми на основі бутадієнового каучуку (рисунок 2.1) [80].

При введенні високодисперсних частинок у полімерну матрицю утворюються мікротріщини розміром менше критичного. На утворення та ріст тріщини витрачається енергія  $U_F$ , яка дорівнює добутку площі поверхні, що утворюється на поверхневу енергію матеріалу.

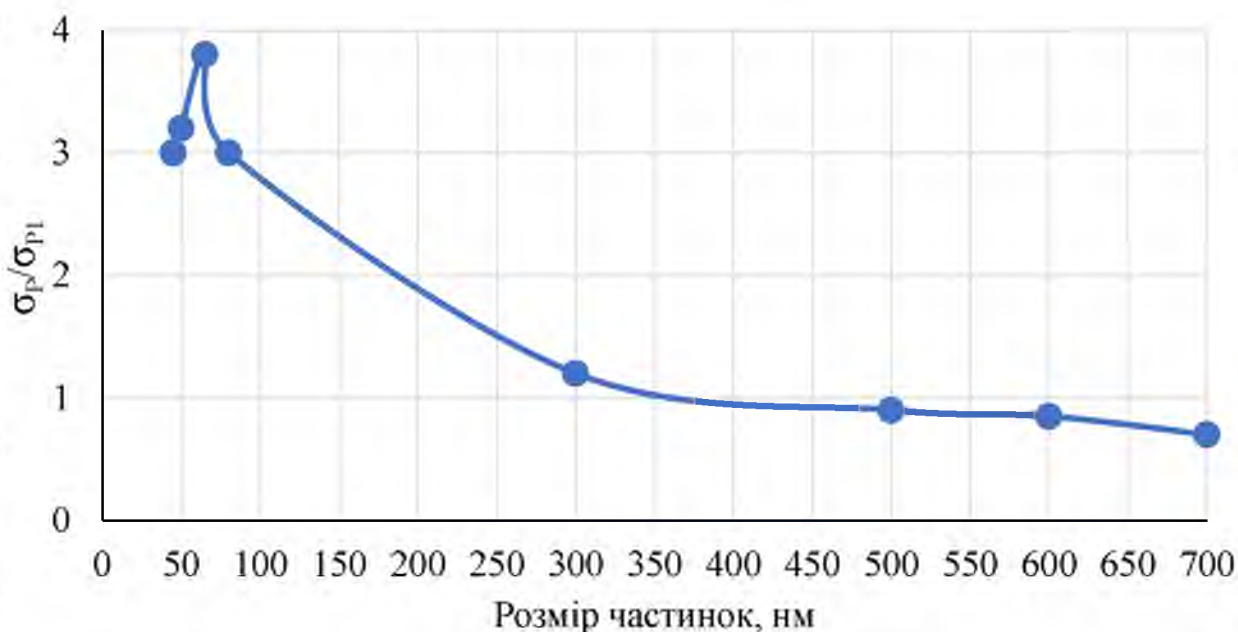


Рисунок 2.1. – Залежність відносної міцності  $\sigma_p/\sigma_{p1}$  гуми на основі бутадієнового каучуку від розміру частинок наповнювача: латексні частки сополімеру стирол: дивінілбензол: акрилонітрил,

Чим більше мікротріщин розміром менше критичного виникає, тим більше потрібно зовнішньої енергії на руйнування зразка і тим вище його міцність. Тому при наповненні високодисперсними частинками збільшується міцність полімерного композиційного матеріалу.

Друга причина підвищення міцності ПКМ – збільшення питомої поверхневої енергії руйнування  $U_F$ . Дослідження багатьох авторів показали, що тріщини, що ростуть, при зустрічі з твердими частинками наповнювача

відбуваються. Це запобігає зростанню тріщини до критичних розмірів і потребує додаткових витрат енергії на утворення нової поверхні.

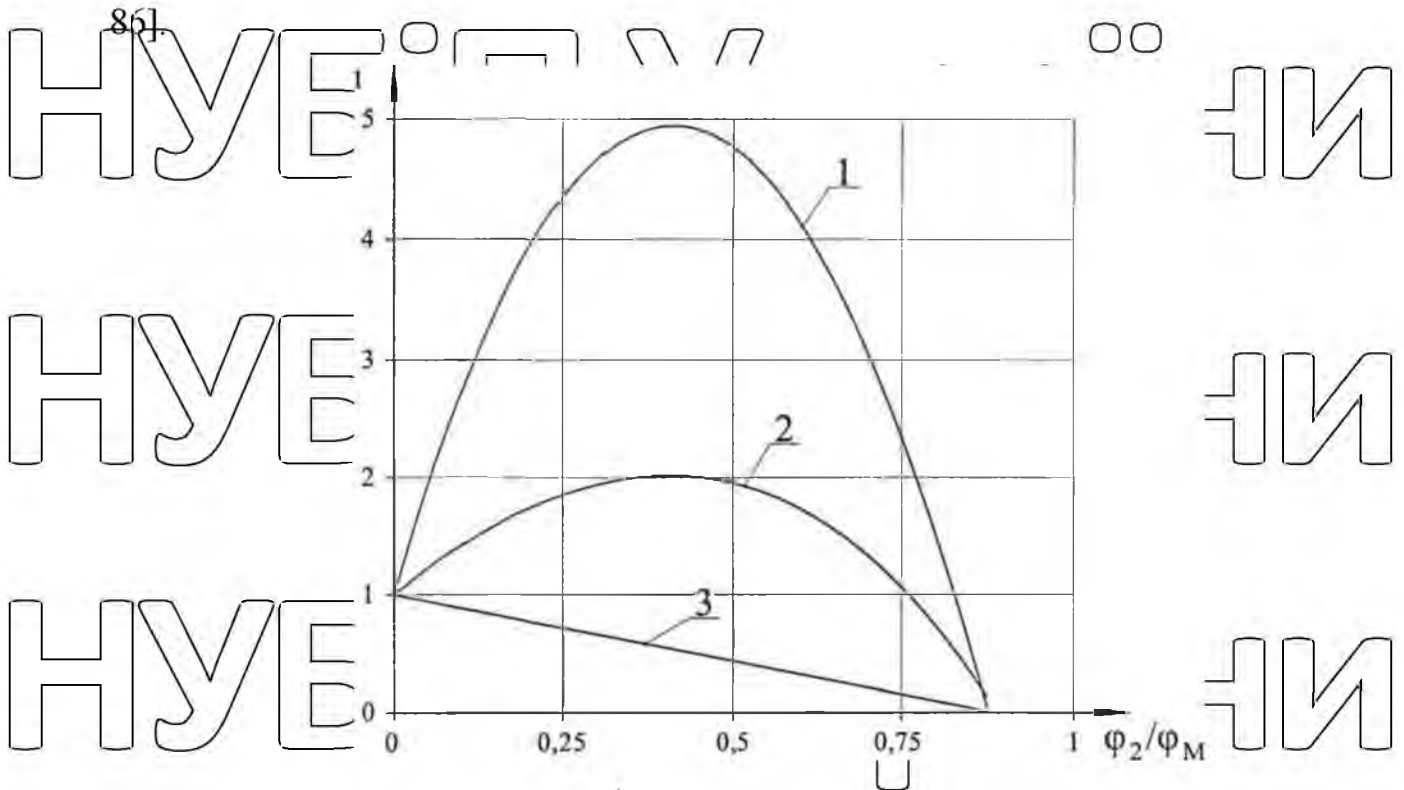
Третя причина підвищення міцності ПКМ — збільшення модуля пружності, як писалося раніше, внаслідок наявності на поверхні наповнювача шару полімеру зі зниженою рухливістю. Цей шар підвищує модуль пружності полімеру  $E$ , відповідно до формули (2.19), підвищує міцність ПКМ. Слід зазначити, що частка полімеру зі зниженою рухливістю тим вище, чим більша питома поверхня частинок наповнювача. Тому зміцнення полімерів буде мати місце при їх наповненні високодисперсними частинками.

Описані вище закономірності зміцнення полімерів справедливі до певної міри заповнення. Для ПКМ, наповнених високодисперсними частинками, зі збільшенням концентрації до оптимальної міцності зростає до максимуму. При концентрації наповнювача більш оптимальною міцність ПКМ зменшується (рисунок 2.2). Таку закономірність називають «оборотністю» змінювальної дії наповнювачів. Причина в наступному: деформування ПКМ обумовлене переміщенням частинок наповнювача та щільна упаковка частинок наповнювача перешкоджає їх переміщенню. При певній концентрації дисперсні частинки утворюють просторову коагуляційну сітку, що нагадує каркас, що перешкоджає деформації. Таку концентрацію наповнювача в полімері називають перколяційною.

У результаті при деформуванні високонаповненого ПКМ в полімерній матриці з'являються великі внутрішні перенапруги, що є причиною зниження міцності матеріалу. Винятком із цієї закономірності є міцність ПКМ при стисканні.

Залежно від фізичного стану полімерної матриці ефект зміцнення ПКМ при наповненні високодисперсними частинками проявляється більшою чи меншою мірою (рис. 2.3). Найбільше зміцнення спостерігається для зшитих полімерів, що знаходяться у високоеластичному стані. Збільшення міцності може становити до 5...10 разів. У значно меншою мірою підвищується міцність склоподібних полімерів та кристалічних полімерів (в 1,2...2 рази) [80,





1 - для зшитих еластомерів при  $T > T_{ст}$ , наповнених високодисперсним наповнювачем; 2 - для аморфних полімерів при  $T < T_{ст}$  і для кристалічних полімерів при  $T < T_{пл}$ , наповнених високодисперсним наповнювачем; 3 - для полімерів, наповнених трн.одисперсним наповнювачем [80]

Рисунок 2.2 - Залежність відносної міцності  $\sigma/\sigma_1$ , при розтягуванні

композиційного полімерного матеріалу від вмісту наповнювача:

Це пояснюється різним ступенем впливу наповнювача на рухливість адсорбованих макромолекул. Зниження рухливості макромолекул при їх адсорбції на поверхні частинок наповнювача викликає збільшення міцності ПКМ. У полімерах, що знаходяться у високоеластичному стані, адсорбція макромолекул на поверхні наповнювача викликає більш істотне зниження їх рухливості, ніж у склоподібних або кристалічних полімерах.

Подібне пояснення звичайно справедливе і для розгляду зміцнення в рамках одного полімерного матеріалу. Наприклад, для гуми при температурі вище температури склування значення відносної міцності  $\sigma/\sigma_1$  становить 4..7, а при охолодженні цієї гуми нижче температури склування відносна міцність

$\sigma/\sigma_0$  знижується до значень менше 2 [80].

На міцність ПКМ впливає адгезія між полімером та наповнювачем. В даний час питання впливу адгезії на зміцнюючу дію високодисперсних наповнювачів досліджено не повною мірою. Передбачається, що максимальне зміцнення має місце за оптимального рівня адгезії між полімером і частинками наповнювача.

При низькій адгезії полімеру до наповнювача робота, що витрачається на утворення нової поверхні між полімером і наповнювачем, невелика. Тому при невеликому навантаженні на матеріал утворюється велика кількість відшаровувань і тріщин і ПКМ має низьку міцність. Як приклад можна навести дієнові гуми, наповнені високодисперсними частинками політетрафторетилену.

У разі коли полімер має дуже високу адгезію до наповнювача, тріщини утворюються в матриці раніше, ніж відбувається відшаровування матриці від поверхні частинок наповнювача. При цьому енергія відшаровування полімеру від наповнювача не витрачається. Тому при надто високій адгезії полімеру до наповнювача останній зміцнює полімерну матрицю меншою мірою, ніж при оптимальній адгезії [87, 88].

Наприклад, високодисперсні частинки полістиролу мають меншу адгезію до матриці з бутадієн-стирольного еластомеру, ніж аналогічного розміру частинки кополімеру стиролу з невеликою кількістю бутадієну. В результаті міцність гуми на основі бутадієн-стирольного еластомеру з

60 частинками полістиролу вище, ніж міцність гуми з наповнювачами другого виду [80].

Механізм зміцнення еластомерів має особливості, і описується двома гіпотезами: релаксаційною Александровою та Лазуркіна та орієнтаційною Догадкіною. Високодисперсні частинки створюють обсягом еластомеру ланцюжкові структури. Композиція складається з первинної структури, що складається з частинок наповнювача, і вторинної, утвореної макромолекулами лімеру, які орієнтовані на поверхні частинок наповнювача і утворюють

поверхневий шар, що володіє зміненими властивостями. Утворені при змішуванні хаотичні зв'язки каучук-наповнювач під напругою деформуються і розриваються. Потім вони відновлюються у нових положеннях, закріплюючи на поверхні наповнювача макромолекули каучуку, які частково орієнтовані у напрямку дії напруги. З цієї причини відбувається вирівнювання місцевих перенапруг і збільшення міцності матеріалу.

Якщо адгезійний зв'язок каучук-наповнювач не перевищує поверхневу енергію матриці, у композиції при деформації одночасно утворюються численні осередки руйнування, що супроводжується підвищенням розсіюванням енергії. Руйнування відбувається стрибкоподібно від однієї поверхні розділу каучук-наповнювач до іншої зигзагоподібної лінії, що збільшує шлях і роботу руйнування і відповідно міцність. За Курчаткін В.

В. збільшення питомої роботи руйнування підвищує стійкість матеріалу до циклічних навантажень, тобто. підвищує його довговічність.

Тому в еластомерах, наповнених високодисперсними частинками, при деформації відбувається вирівнювання напруги та подовження шляху руйнування, відповідно збільшення роботи руйнування, міцності та довговічності.

Міцність збільшується також через підвищений механічний гістерезис наповнених еластомерів, внаслідок енергії, що виділяється при розриві фізичних зв'язків між наповнювачем і каучуком, зниження рухливості макромолекул біля поверхні наповнювача, руйнування його агломератів частинок і ланцюжкових структур. Через підвищений механічний гістерезис ступінь релаксації напруги наповнених еластомерів в області великих деформацій перед вершиною тріщини, що розростається, завжди більше, ніж у не наповнених.

Наявність на поверхні наповнювача шару полімеру зі зниженою рухливістю підвищує модуль пружності. Чим більша питома поверхня частинок наповнювача, тим вища частка полімеру зі зниженою рухливістю. Тому для зміцнення еластомерів слід використовувати високодисперсні

наповнювачі.

Відповідно до статистичної теорії розподілу внутрішніх дефектів у твердому тілі, зміцнююча дія високодисперсного наповнювача пояснюється іншою напруженістю на краях тріщини, більшою релаксацією напруг, їх перерозподілом через збільшення кількості мікротріщин у композиті. В результаті збільшується середня напруга, що веде до руйнування тіла.

Мікротріщина, розростаючись, може «впертись» у частинку наповнювача, причому для її подальшого зростання знадобиться збільшення напруги. Чим

більша концентрація наповнювача в полімері, тим більше перешкод для

розвитку тріщин і з цієї причини відбувається гальмування процесу

руйнування. Однак слід зазначити, що після досягнення оптимального вмісту

наповнювача, міцність ПКМ знижуватиметься з розглянутих вище причин.

Літературний огляд показав, що відсутня інформація про вплив

наповнювачів на питому роботу руйнування еластомерів. У роботі [89]

наводиться вплив типу та змісту наповнювача на питому поверхневу енергію

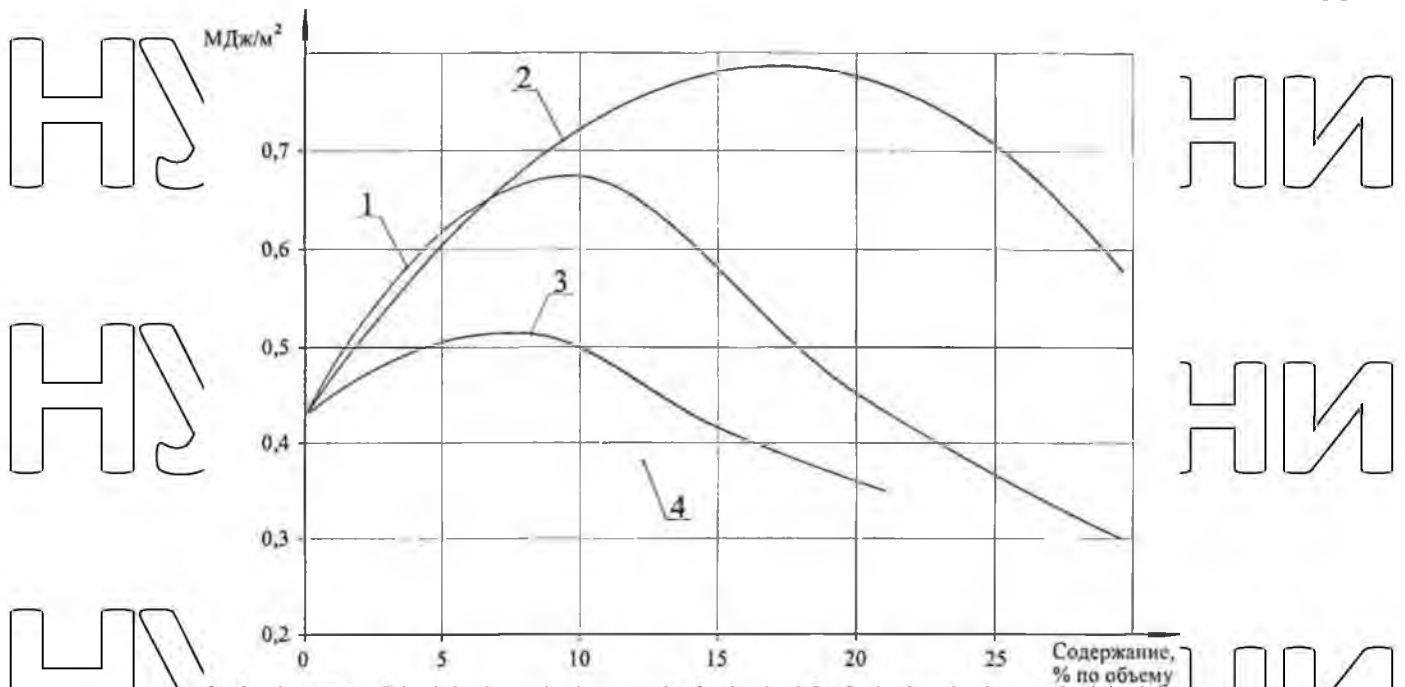
вулканізованого каучуку (рисунок 2.3).

Для збільшення міцності ПКМ необхідно, щоб енергія адгезії полімер-

наповнювача перевищувала енергію когезії полімеру. При порушенні

адгезійного зв'язку зникає поверхня розділу між полімером і наповнювачем і

утворюються рівні за площею фазові поверхні.



1 - окис магнію; 2 - сажа; 3 - каолін; 4 - барит [89]

Рисунок 2.3 - Вплив типу та змісту наповнювача на питому поверхневу енергію вулканізованого каучуку.

Введення наповнювача з вищою поверхневою енергією руйнування в еластомер, дозволить отримати ПКМ з вищою поверхневою енергією руйнування та стійкістю до циклічних навантажень у порівнянні з полімерною матрицею. Підвищення довговічності ПКМ забезпечить відновлення посадкових отворів корпусних деталей з великими значеннями зносу.

#### Висновки до 2 розділу

1. Для збільшення міцності, довговічності та теплопровідності ПКМ на основі еластомерів необхідно використовувати високодисперсний алюмінієвий порошок;

2. Теплопровідність ПКМ на основі еластомерів слід розраховувати за формулою Нільсена;

3. Для зниження температури та скорочення часу термічної обробки, зменшення пористості покриттів ПКМ рекомендується вводити в розчини еластомерів високодисперсні порошки міді або її сплавів.

## РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Загальна методика досліджень

Для вирішення завдань, сформульованих у дисертації, складено загальну схему теоретичних та експериментальних досліджень (рисунок 3.1).

Об'єктами досліджень служили:

- плитки та покриття з композиції на основі еластомеру Ф-40С;
- металеві пластини з полімерною підкладкою з композиції на основі еластомеру Ф-40С;
- підшипникові вузли, з посадковими місцями відновленими композицією на основі еластомеру Ф-40С.

Лак Ф-40 (ТУ 6-06-246-92) є розчином композиції каучука і модифікованої фенольної смоли в органічному розчиннику [8, 14]. Розробник матеріалу ВАТ "НДІ пластичних мас ім. Г. С. Петрова" (м. Москва). Лак Ф-40 поставляється у вигляді розчину в пластикових ємкостях різного об'єму.

Склад лаку Ф-40:

- 1) смола ФКУ (феноло-формальдегідна смола на основі заміщеного фенолу вінілацетиленової структури) – 8 мас.%;
- 2) каучук синтетичний бутадієн-нітрильний марки СКН-40С – 12 мас.%;
- 3) ацетон технічний, ГОСТ 2768-84 – 80 мас.% [77].

Лак Ф-40 – прозора рідина коричневого кольору без механічних включень, що характеризується такими показниками: - масова частка сухого залишку - 20%;

- міцність зв'язку зі сталлю при зсуві при 20°С щонайменше - 5,0 МПа.

В даний час випуск Ф-40 припинено та випускається досвідченими партіями його модифікація Ф-40С.

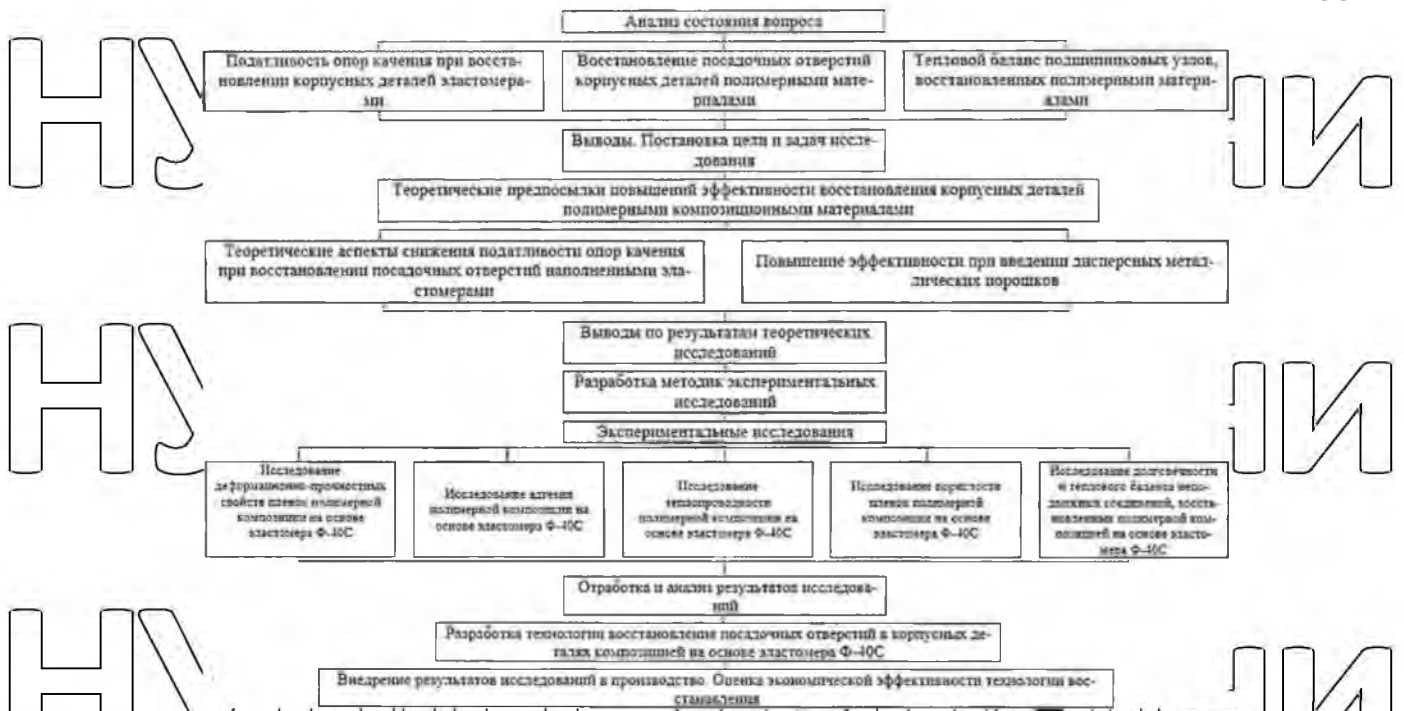


Рисунок 3.1 Загальна схема досліджень

Пудру алюмінієву (ГОСТ 5495-95) виготовляють стиранням первинного алюмінію марки не нижче А5 за ГОСТ 11069 або його відходів, що за хімічним складом не поступають алюмінію марки А5. Одержують пудру п'яти марок: ПАП-1, ПАП-2 ПАГ-1 ПАГ-2 ПАГ-3 (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 - Характеристика алюмінієвої пудри [94]

Марка	Крупи здатність на воді, см <sup>2</sup> /л, не менше	Гранулометричний склад: запуск на ситах, %, не більше			Хімічний склад, %							Витягнення, %, не менше
		+008	+0056	+0045	А	активність	Домішки, не більше			жирових добавок		
						Fe	S	Ci	Mn	вологи		
ПАП-1	7000	1,0	-	-	-	0,5	0,4	0,05	0,01	0,2	3,8	80
ПАП-2	10 000	-	0,3	0,5	-	0,5	0,4	0,05	0,01	0,2	3,8	80
ПАГ-1	6000	1,5	-	-	90	-	-	-	-	-	2,4	-
ПАГ-2	8000	-	0,7	-	88	-	-	-	-	-	3,0	-
ПАГ-3	10 000	-	-	0,5	86	-	-	-	-	-	3,2	-

Алюмінієва пудра ПАП-1 (ГОСТ 5494-95) є в широкому продажі.

При виготовленні бронзової пудри вихідною сировиною є марки бронз, близькі за складом до одержуваної продукції або спеціально приготовані сплави. Одержання пудри включає фрезерування заготовок сплавів, розмілювання крупинок в кульовому млині, полірування частинок в сарабані, що

обертається.

Форма частинок одержуваних пудр - циліндроподібна. Склад пудр, %:  
72-92 Сі, 1,2 А1, < 1,0 Fe, домішок трохи більше 0,8, цинк - інше (таблиця 3.2).

Бронзовий порошок БПП-1 (ТУ 48-21-150-72) є у широкому продажу.

Постачається в поліетиленових пакетах у кількості 10 та 50 г (таблиця 3.2).

Зазор у нерухомих з'єднаннях підшипників до відновлення забезпечували механічною обробкою отвору під підшипник.

Таблиця 3. 2 – Характеристика бронзової пудри [94]

Марка	Масова частка компонентів *, %		Залишок на сіті з сіткою, не більше		Площа покриття, см <sup>2</sup> /г, не менше	Насипна маса після утряски, г/см <sup>2</sup>
	Сі	Fe, не більше	0063	005		
БПП-1	83-87	0,8	2,0	-	1200	1,8-2,6
БПП-2	83-87	1,0	-	0,5	-	-
БПП-3	72-76	0,8	2,0	-	1200	1,8-2,2
БПП-4	88-92	0,8	2,0	-	1200	1,8-2,2

\* - До 1,2% А1; інше - цинк; вміст жирів трохи більше 0,5 %.

Для вимірювання валів використовували скобу важіль (ГОСТ 11098-75), що має ціну поділу 0,002 мм. Розмір кільць підшипників вимірювали індикаторним нутроміром НІ-100 (ГОСТ 868-72) з індикаторною головкою 1-МІГ (ГОСТ 9696-82), яка має ціну поділу 0,001 мм.

В експериментальних дослідженнях застосовували сучасне вимірювальне та випробувальне обладнання, прилади промислового виробництва та стенди, установки та пристрої оригінальної конструкції.

Дослідження проводили за приватними методиками, які наведені нижче.

### 3.2 Методика дослідження деформаційно-міцності плівок полімерної композиції на основі еластомеру Ф-40С

При дослідженні деформаційно-міцнісних властивостей плівок полімерної композиції на основі еластомеру Ф-40С визначали міцність при одноосному розтягуванні плівок  $\sigma_p$ , відносне подовження  $\epsilon_p$  і роботу деформації при розриві плівок  $\sigma_p$  [14].

Як зразки використовували плівки прямокутної форми розмір, яких



становив  $60 \times 15 \times 0,15$  мм, а розрахункова довжина зразка – 30 мм. При виготовленні плівки як підкладка використовували фторопластову пластину розмірами  $200 \times 160 \times 4$  мм. Для отримання прямокутної форми та забезпечення геометричних розмірів плівки використовували рамку-трафарет розмірами  $180 \times 140 \times 0,8$  мм із сталі 3 із трьома вікнами для плівок. Внутрішні розміри вікон –  $60 \times 15$  мм. На фторопластову пластину встановлювали рамку, яку заповнювали, наносячи волоссяним пензлем № 5 шари композиції на основі еластомеру Ф-40С. Щоб забезпечити рівномірну товщину полімерної плівки, поверхню покриття після заповнення рамки формували фторопластовою пластинкою. Відкинуті зразки кондиціонували при стандартній атмосфері  $23^\circ\text{C}$  протягом 16 год [95].

Граничне відхилення розмірів зразків за довжиною та шириною не перевищувало  $\pm 0,1$  мм.

Зразки випробовували на розривній машині IP 5047-50 (рисунок 3.2) з одночасним записом діаграми «навантаження-деформація». Масштаби вимірів: навантаження  $M:1\text{мм}=1,6\text{H}$ ; деформації  $M:1$ .

Навантаження зразків у ході випробувань здійснювали з постійною швидкістю 50 мм/хв.

Зважаючи на те, що швидкість поширення хвиль у високоеластичних полімерних матеріалах становить 30...50, а в склоподібних 1000 м/с, обрана швидкість випробування забезпечила рівномірний розподіл напруг за об'ємом зразка [96].

НУБІ

НУБІ

НУБІ



-ИИ

-ИИ

-ИИ

НУБІП України

Рисунок 3.2 - Розривна машина IP 5047-50

Для визначення роботи руйнування плівок при одновісному розтягуванні  $A$  вимірювали площу на діаграмі, яка обмежена кривою "навантаження-деформація" та віссю абсцис на діаграмі. Тітому роботу руйнування плівок ( $0_p$ ) розраховували поділом значень роботи руйнування  $A$  обсяг полімерної плівки  $V = 180 \times 10^{-9} \text{ м}^3$ .

НУБІП України

Попередній класичний експеримент показав нелінійну залежність руйнівної напруги плівок композиції на основі еластомеру Ф-40С від концентрації наповнювачів. З метою отримання регресійної моделі, що адекватно описує залежність руйнівної напруги плівок композиції на основі еластомеру Ф-40С від концентрації наповнювачів, проведено активний експеримент за композиційним планом  $B_2$  [98... 100].

НУБІП України

Функцією відгуку  $Y$  прийняли руйнівну напругу  $\sigma_r$ , МПа плівок композиції на основі еластомеру Ф-40С, а незалежними факторами:  $X_1$  - концентрацію алюмінієвого порошку ПАП-1, мас.ч.,  $X_2$  - бронзового порошку

НУБІП України

БПП-1, мас.ч. Попередні експерименти дозволили вибрати рівні та інтервали варіювання факторів, які представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Рівні та інтервали варіювання факторів в активному експерименті за композиційним планом  $B_2$

Найменування фактора	Кодоване позначення фактора	Рівні варіювання фактора			Інтервали варіювання фактора
		нижній	нульовий	верхній	
Концентрація алюмінієвого порошку	$X_1$	5,0	15	25	10
бронзового порошку	$X_2$	0,6	1,6	2,6	1,0

Математичну обробку результатів активного експерименту проводили за відомою методикою [101].

Модуль пружності при розтягуванні плівок композиції на основі еластомеру Ф-40С визначали як відношення збільшення напруги до відповідного збільшення відносного подовження [102].

### 3.3 Методика дослідження довговічності та теплового балансу нерухомих сполук, відновлених полімерною композицією на основі еластомеру Ф-40С

Дослідження довговічності нерухомих сполук проводили на вібростенді, основу якого складає електро механічний вібратор ІВ-107А (рисунок 3.8), який забезпечує циклічне навантаження нерухомих сполук, відновлених композицією на основі еластомеру Ф-40С.

Вібратор конструктивно є несинхронним короткозамкненим електродвигуном. На кінцях валу ротора кріпляться дебаланси, що створюють коливання, що обурюють. Залежно від кута розведення дебалансу навантаження на підшипник становить 9,9, 15,8 та 20,0 кН [109].

Вібратор встановлений на здвоєних металевих плитах. Маса плити 50 кг, розміри плити 500х500х25 мм. Нижня плита спирається на чотири гвинтові пружини, які встановлені у втулках металевої основи розмірами 500х500х10 мм. Пружини мають висоту 121 мм.

Амплітуда коливань вібратора з плитами складала 1,4 мм. Радіальне навантаження на кожен підшипник 209 становила 20 кН [100]. Частота обертання ротора становить 3000 хв<sup>-1</sup>. Для фіксації кількості циклів навантаження застосовували лічильник, з'єднаний з валом вібростенду.

Підшипникові щити розточували і потім в отвори чи запресували втулки з чавуну СЧ-20 (ГОСТ 1412-80). Зазор у з'єднанні "підшипник-корпус" до відновлення забезпечували розточуванням внутрішньої посадкової поверхні чавунної втулки. Полімерне покриття з композиції еластомеру Ф-40С наносили на зовнішнє кільце підшипника. Термічну обробку покриттів проводили в сушильній шафі ЄНОЛ-3.5, 3.5,3.5/3 при температурі 140°C протягом 2,5 год. Після термічної обробки підшипники запресували в посадкові отвори підшипникових щитів в стенді. Підшипники змащували пластичним мастилом ВШНП-242 (ГОСТ 20241-74).

Випробування відновлених нерухомих сполук проводили до руйнування, яке фіксували зсуву кільця щодо втулки.

При дослідженні теплоутворення типових і відновлених нерухомих сполук циклічне навантаження на підшипникові вузли становило : Р - 9,9; 15,8 та 20,0 кН. Зміну навантаження здійснювали розведенням дебалансів на різні

кути.



Рисунок 3.8 – Стенд для випробувань підшипникових вузлів при

циклічному навантаженні

Для визначення перепаду температури вимірювали температуру зовнішнього кінця підшипника та втулки корпусу інфрачервоним пірометром

Fluke-62 (рисунок 3.9). У таблиці Додатка А представлені технічні характеристики пірометра «Fluke-62»



Рисунок 3.9. Інфрачервоний пірометр "Fluke-62"

## РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

### 4.1 Дослідження деформаційно-міцнісних властивостей плівок полімерної композиції на основі еластомеру Ф-40С

#### 4.1.1 Дослідження впливу температури та часу затвердіння на деформаційно-міцнісні властивості плівок полімерної композиції на основі еластомеру Ф-40С

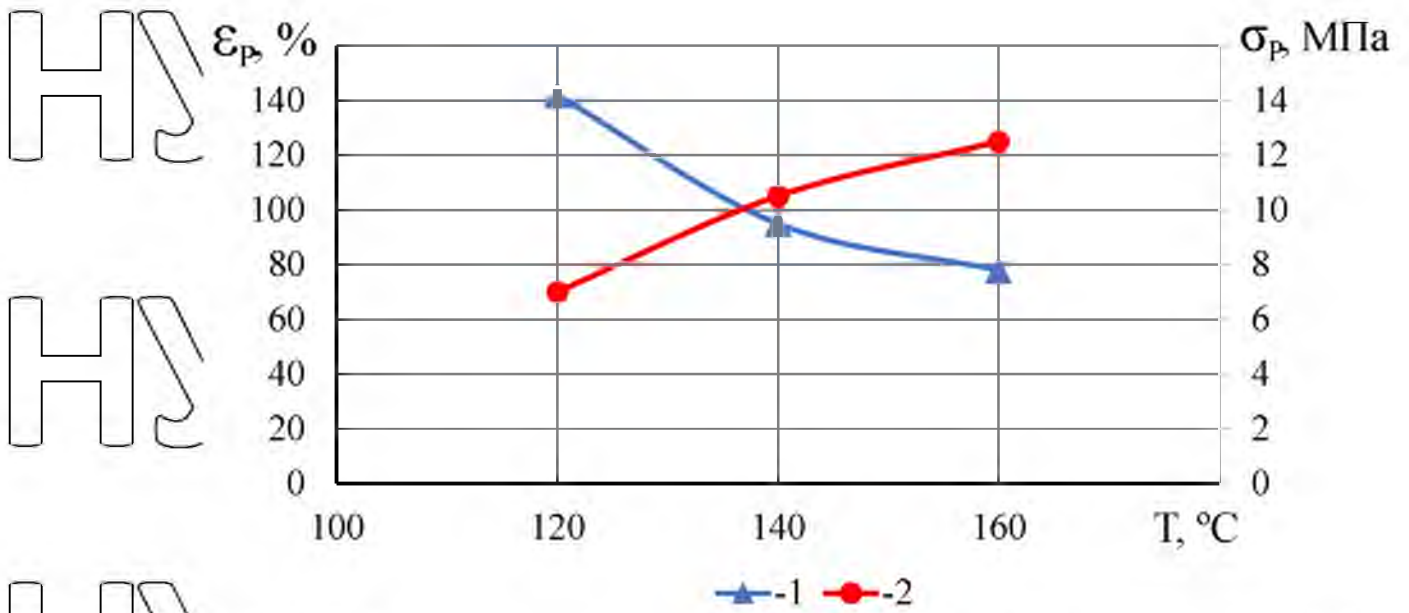
Дослідження проводили з метою вивчення залежності деформаційно-міцності властивостей полімерного композиційного матеріалу на основі еластомеру Ф-40 від температури затвердіння, визначенні оптимального режиму термічної обробки та порівняння результатів з не наповненим матеріалом.

Дослідження показали, що зі збільшенням температури затвердіння знижуються деформаційні властивості матеріалу. При температурі  $T = 120^{\circ}\text{C}$  деформація становить 143% (рис. 4.1, залежність 1).

З підвищенням температури затвердіння до  $T = 140^{\circ}\text{C}$  деформація плівок зменшилася до 96%. Деформація зменшилася в 1,49 разів. При температурі  $T = 160^{\circ}\text{C}$  деформація склала 77,15 %. Зрештою деформація зменшилася в 1,85 раза [110].

Міцність плівок при одновісному розтягуванні зі збільшенням температури затвердіння підвищується. При температурі  $T = 120^{\circ}\text{C}$  міцність становить 7,0 МПа (рисунок 4.1, залежність 2). З підвищенням температури затвердіння до  $T = 140^{\circ}\text{C}$  міцність збільшилася до 10,3 МПа. Міцність збільшилась у 1,47 разу. За температури  $T = 160^{\circ}\text{C}$  міцність становила 12,1 МПа. Через віynu збільшення міцності становило 173 %.

З рис 4.1 випливає, що найбільш оптимальною є температура затвердіння  $140^{\circ}\text{C}$ .



1 – Деформація; 2 – Міцність

Рисунок 4.1 Залежність міцності  $\sigma_p$  та деформації  $\epsilon_p$  плівок композиції

еластомеру Ф-40 від температури затвердіння  $T_c$ .

Потім досліджували вплив часу затвердіння на деформаційно-міцнісні властивості нелінійного композиційного матеріалу на основі еластомеру Ф-40. Встановлено, що при температурі 140°C оптимальним є час затвердіння протягом 2,5 год.

У роботі [11] міцність не наповненого еластомеру Ф-40С становить 9,75 МПа, а деформація 35% при режимі термічної обробки  $T = 180^\circ\text{C}$  та часу  $t = 3$  год.

Плівки композиційного матеріалу мають міцність на 6% вище, а деформацію на 8% нижче порівняно з ненаповненим Ф-40С. Температура термічної обробки композиції знизилася на 20°C, а час на 0,5 год порівняно з не наповненим Ф-40С.

### Висновки

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що введення дисперсних металевих порошоків в еластомер збільшує міцність на 6%, а деформацію зменшує на 8% порівняно з не наповненим Ф-40С. Температура термічної обробки композиції знизилася на 20°C, а час на 0,5 год.

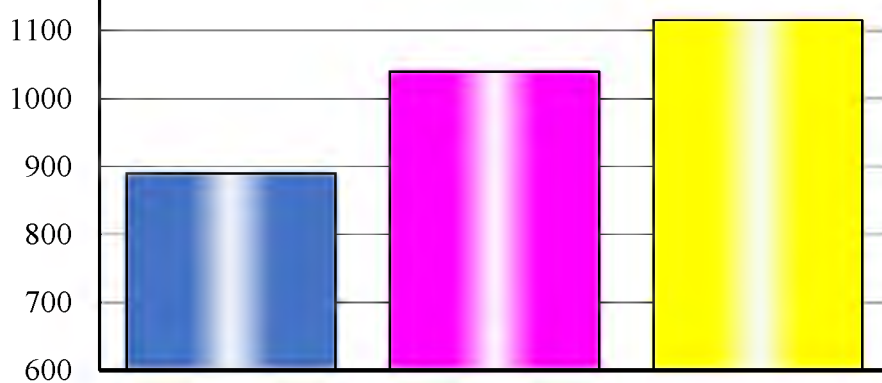
Оптимальний режим термічної обробки композиції становить  $140^{\circ}\text{C}$  протягом 2,5 год.

#### 4.1.2 Дослідження модуля пружності полімерної композиції на основі еластомеру Ф-40С

Модуль пружності істотно визначає податливість опор кочення при експлуатаційних навантаженнях. При підвищеній податливості опорів 101 порушується співвісність валів з отворами корпусної деталі, що вкрай негативно впливає на умови роботи деталей трансмісії. Мета експериментальних досліджень полягала у визначенні модуля пружності еластомеру Ф-40, еластомеру Ф-40С та композиції на основі еластомеру Ф-40С для оцінки справедливості розроблених у дисертації теоретичних пропозицій.

На рисунок 4.4 показано результати експерименту. Як впливає з малюнку, мінімальний модуль пружності має еластомер Ф-40,  $E = 888,9$  МПа. Модуль пружності еластомеру Ф-40С становить  $E = 1037,04$  МПа, що на 17% перевищує модуль пружності еластомеру Ф-40. Найбільше значення модуля пружності має композиція на основі еластомеру Ф-40С,  $E = 1111,1$  МПа, що на 25% перевищує модуль пружності еластомеру Ф-40 і на 8% перевищує модуль пружності еластомеру Ф-40С.

$E_p$ , МПа



Ф-40

Ф-40С

Композит на  
основі Ф-40С

Рисунок 4.4 - Модуль пружності  $E_p$  еластомерів



**Висновок**

Результат експерименту підтверджує коректність розроблених теоретичних передумов: модуль пружності композиції збільшується на 8% порівняно з наповненим матеріалом при введенні дисперсних металевих наповнювачів.

**4.2 Дослідження адгезії полімерної композиції на основі еластомеру****Ф-40С**

Результати експерименту з дослідження адгезійної міцності еластомеру

Ф-40, еластомеру Ф-40С та композиції на основі еластомеру Ф-40С показані

на рис. 4.9

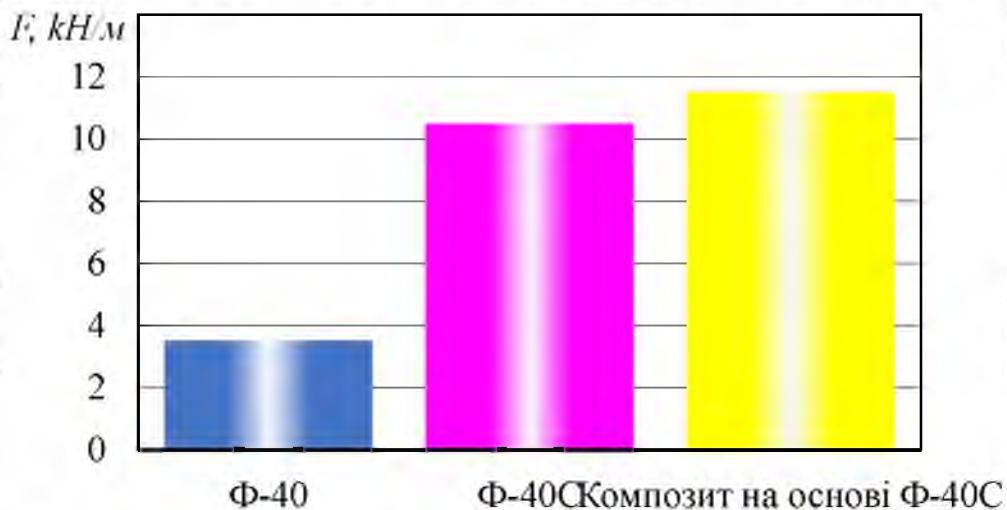


Рисунок 4.9 – Адгезійна міцність еластомерів

Як випливає з малюнка мінімальну міцність зв'язку з металом має еластомер Ф-40,  $F = 3304$  Н/м. Адгезійна міцність еластомеру Ф-40С становить  $F = 10492$  Н/м, що у 3,17 рази перевищує аналогічний показник еластомеру Ф-40. Найбільше значення міцності зв'язку з металом при відшаровуванні має композиція на основі еластомеру Ф-40С,  $F = 11292$  Н/м, що на 9% перевищує аналогічний показник еластомеру Ф-40С і в 3,42 рази перевищує міцність еластомеру Ф-40.

**Висновок**

Результат експерименту підтверджує коректність розроблених теоретичних передумов: адгезійні властивості композиції підвищуються на

9% порівняно з не наповненим матеріалом при введенні дисперсних металевих наповнювачів.

### 4.3 Дослідження теплопровідності полімерної композиції на основі еластомеру Ф-40С

Теплопровідність еластомеру Ф-40С та композиції на його основі досліджувалися на установці (рисунок 3.7). Результати досліджень показано рис. 4.10.

На рис. 4.11 показано теплопровідність адгезиву АН-112 та його композиції [75].

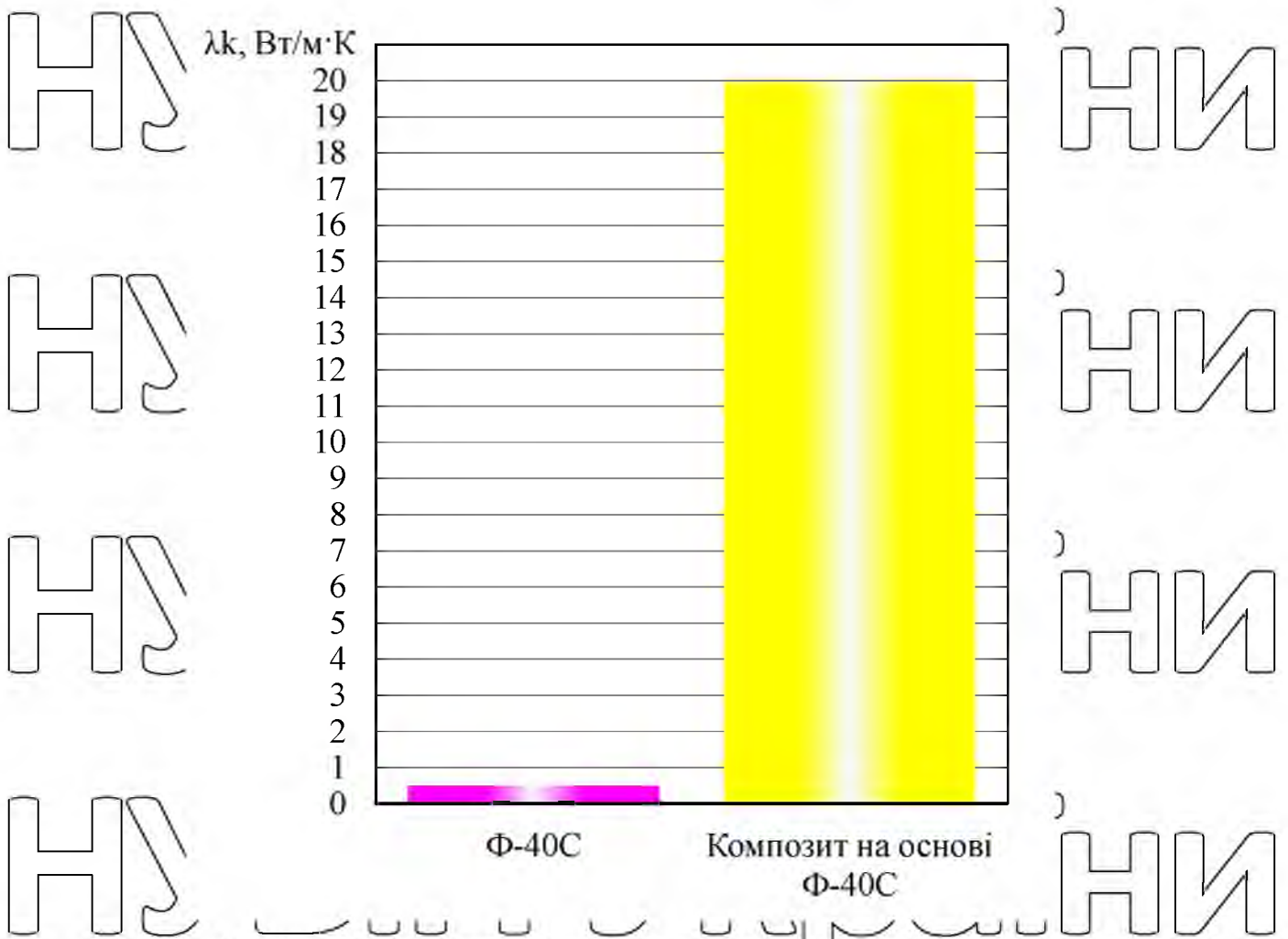


Рисунок 4.10 - Теплопровідність еластомеру Ф-40С та композиції на його основі

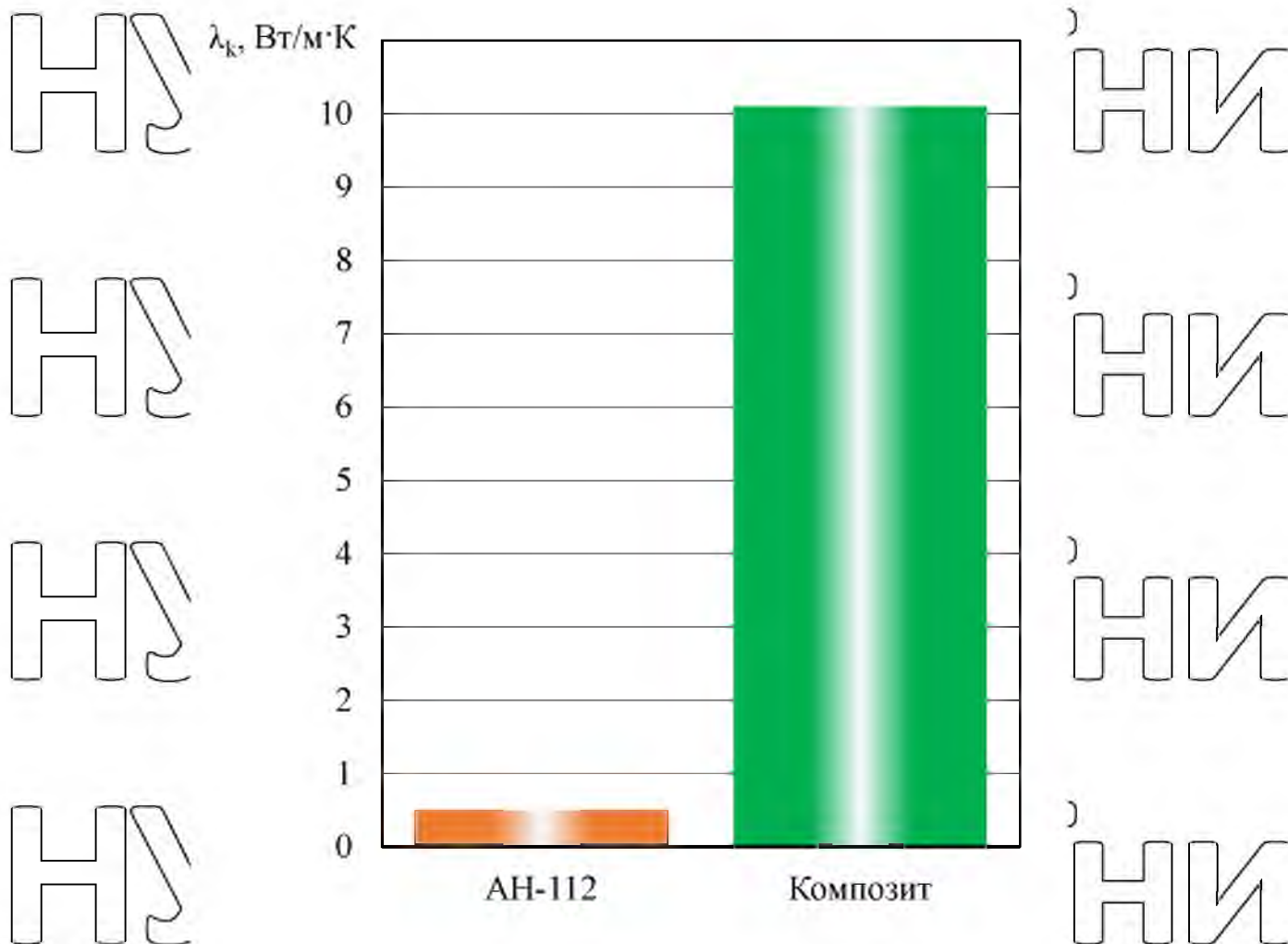


Рисунок 4.11 - Теплопровідність адгезиву АН-112 та його композиції

[75] Теплопровідність полімерної композиції значною мірою залежить від концентрації дисперсних металевих наповнювачів (2,20), чим вища концентрація, тим більша теплопровідність. У композиції на основі еластомеру Ф-40С концентрація алюмінієвого порошку в 1,33, а бронзового порошку в 5,14 рази вище, ніж у композиції на основі анаеробного герметика АН-112. Цим і пояснюється така значна відмінність у значеннях теплопровідності композицій на основі анаеробного герметика АН-112 та еластомеру Ф-40С.

#### Висновок

Введення дисперсних металевих наповнювачів збільшує коефіцієнт теплопровідності композиції еластомеру Ф-40С

#### 4.2 Дослідження довговічності та теплового балансу нерухомих сполук, відновлених полімерною композицією на основі еластомеру Ф-40С

На даному етапі дослідження проводили з метою визначення довговічності та максимальної допустимої товщини полімерного покриття при відновленні зношених посадкових місць підшипників кочення полімерною композицією на основі еластомеру Ф-40С.

Результати досліджень, проведені у роботах [8, 14] показують, що довговічність відновленого нерухомого з'єднання знижується зі збільшенням товщини полімерного покриття. Наші дослідження підтверджують цю інформацію. На малюнку 4.15 показано довговічність нерухомих з'єднань підшипників 209 при різній товщині полімерного покриття композиції на основі еластомеру Ф-40С при радіальному навантаженні 20 кН. Залежність є кривою Веллера.

Випробування при максимальній товщині полімерного покриття 0,20 мм показали, що довговічність таких нерухомих сполук мінімальна. Зовнішнє кільце перевірилося в посадковому отворі через 12 год стендових випробувань. Довговічність з'єднання з товщиною полімерного покриття 0,175 мм збільшилася в 2,17 разу і склала 26 год. 0,2 мм у 3,75 рази, а з  $h = 0,175$  мм у 1,73 рази.

При товщині полімерного покриття 0,125 мм з'єднання залишалося працездатним до кінця випробувань. Зсув зовнішнього кільця підшипника в посадковому отворі протягом 330 год ( $e^{5,8} = 330$ ) стендових випробувань виявити не вдалося. З цієї причини максимально допустима товщина полімерного покриття композиції на основі еластомеру Ф-40С при циклічному радіальному навантаженні  $P = 20$  кН становить 0,125 мм, тобто. відновленню підлягають зношені нерухомі з'єднання підшипників з діаметральним зносом до 0,25 мм.

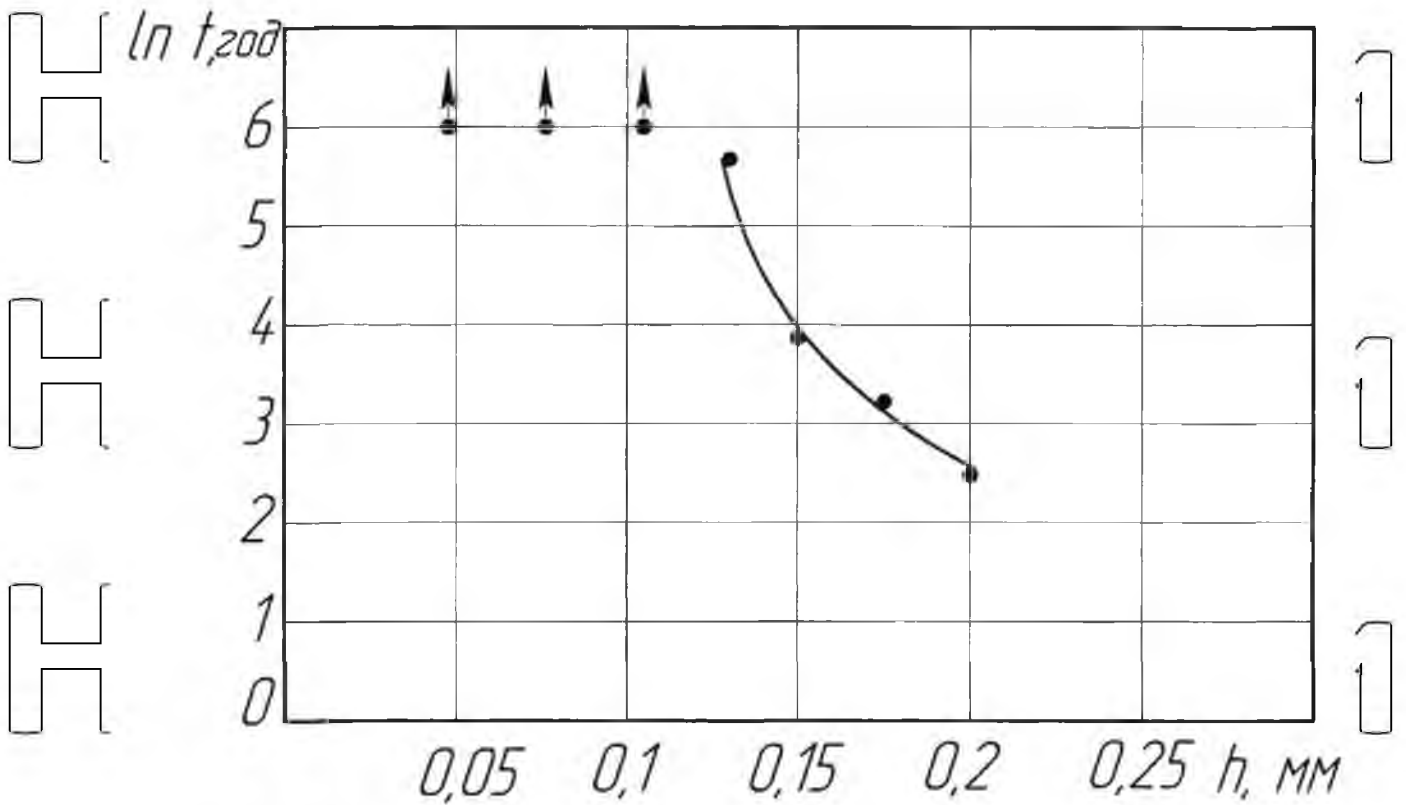


Рисунок 4.15. Довговіність  $t$  нерухомих з'єднань підшипників 209 при різних товщині полімерного покриття композиції на основі еластомера Ф-40С при радіальному навантаженні 20 кН

На наступному етапі досліджували температуру деталей підшипникового вузла, відновленого композицією на основі еластомеру Ф-40С, який навантажували змінним циклічним навантаженням. Залежності температури  $T$  деталей підшипникового з'єднання з еластомеру Ф-40С від значень радіального циклічного навантаження  $P$  показано на рис 4.16.

НУБІП України

НУБІП України

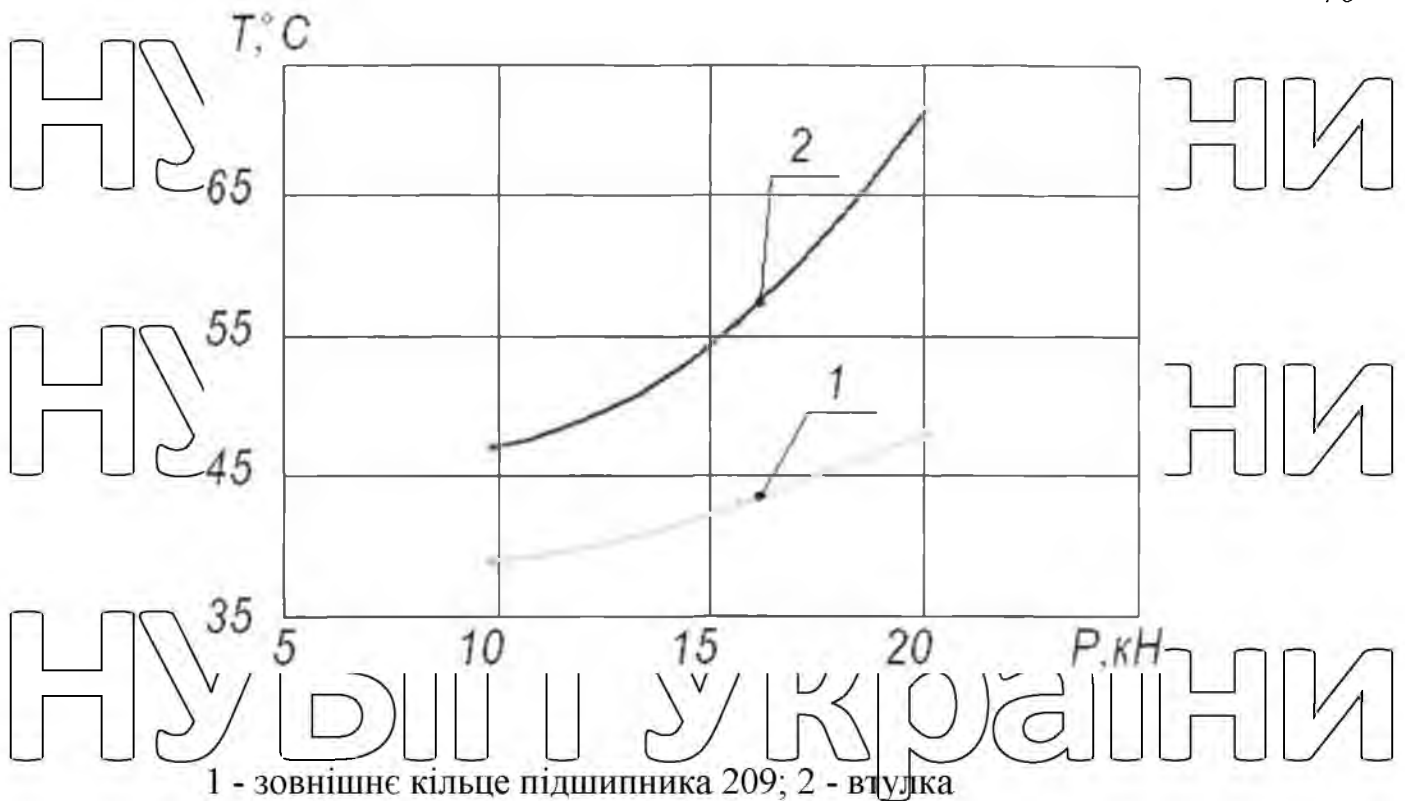


Рисунок 4.16 - Залежності температури  $T$  деталей підшипникового

вузла, відновленого еластомером Ф-40С, від циклічного радіального навантаження  $P$ :

На рис. 4.17 показані залежності температури  $T$  деталей підшипникового

вузла, відновленого еластомером Ф-40С від радіального циклічного

навантаження  $P$ . Зі збільшенням радіального циклічного навантаження  $P$

температура зовнішнього кільця підшипникового вузла, відновленого ела-

стомером Ф-40С, підвищується і становить 39, 43 °С при навантаженнях 9,9;

15,8 та 20,0 кН відповідно. Температура втулки підшипникового вузла,

відновленого еластомером Ф-40С, також зі збільшенням навантаження

підвищується і становить 47, 56 і 71 °С при навантаженнях 9,9, 15,8 та 20,0 кН

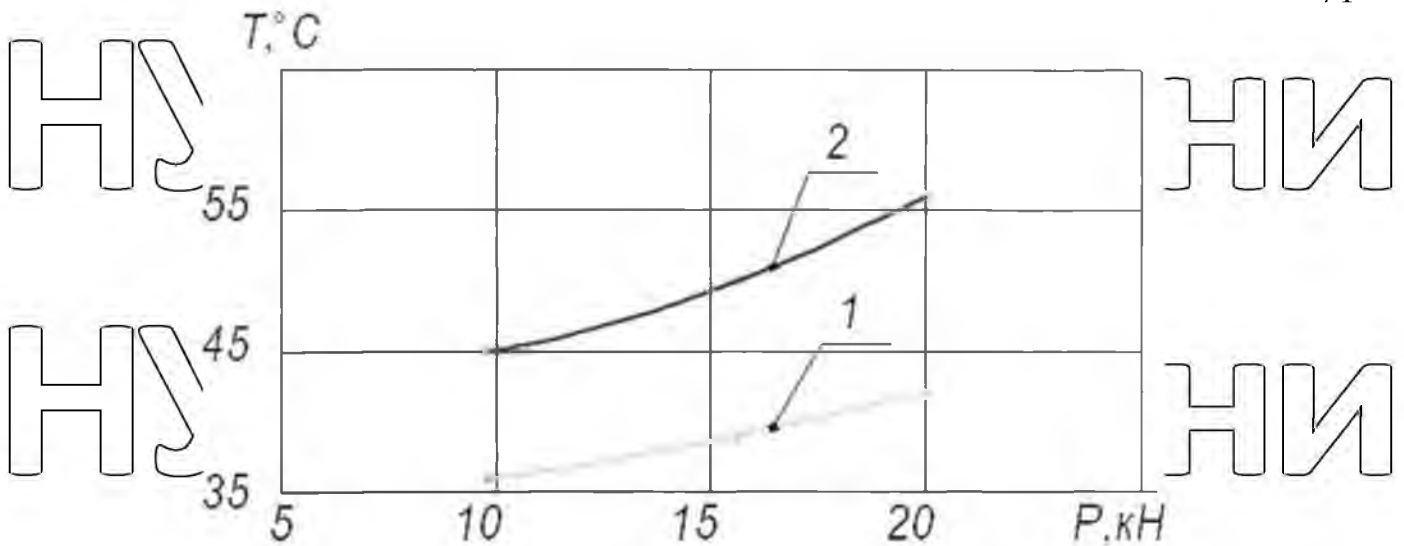
відповідно.

Температура зовнішнього кільця підшипникового вузла відновленого

композицією на основі еластомеру Ф-40С становить 36, 39 і 42 °С при

навантаженнях 9,9; 15,8 та 20,0 кН відповідно, що на 8,3; 10,2 і 14,3% менше

ніж у не наповненого еластомеру.



1 - зовнішнє кільце підшипника 209; 2 - втулка  
 Рисунок 4.17 - Залежності температури  $T$  деталей підшипникового вузла, відновленого композицією еластомеру Ф-40С, від радіального циклічного навантаження  $P$ :

Температура втулки підшипникового вузла відновленого композицією на основі еластомеру Ф-40С становить 45, 50 і 56 °С при навантаженнях 9,9; 15,8 та 20,0 кН відповідно, що на 4,4; 12 і 26,8% менше ніж у не наповненого еластомеру.

Введення дисперсних металевих наповнювачів значно збільшує теплопровідність полімерного покриття, про що свідчить нижча температура деталей підшипникового вузла порівняно з не наповненим еластомером

### Висновки

1. Композицією на основі еластомеру Ф-40С слід відновлювати зношені посадкові отвори під підшипники з діаметральним зносом до 0,25 мм.

2. При наповненні еластомеру Ф-40С дисперсними металевими порошками значно знижується теплоутворення у підшипниковому вузлі.

Температура деталей підшипникового вузла, відновленого композицією на основі еластомеру Ф-40С нижче до 15°С порівняно з не наповненим матеріалом.

## РОЗДІЛ 5. РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

### 5.1 Технологічні рекомендації

Технологія відновлення містить такі операції:

- 1) очищення посадкових отворів під підшипники у корпусній деталі;
- 2) вимірювання посадкових отворів для визначення зносу;
- 3) знежирення посадкових отворів;
- 4) приготування композиції на основі еластомеру Ф-40С;
- 5) нанесення композиції на посадкові отвори до корпусної деталі;
- 6) термічна обробка нанесених полімерних покриттів;
- 7) контроль якості полімерних покриттів у корпусній деталі.

### 5.2 Розрахунок економічної ефективності технології відновлення підшипникових гнізд корпусних деталей композицією еластомеру Ф-40С

Собівартість відновлення 1 дм<sup>2</sup> зношеної поверхні підшипникових гнізд композицією еластомеру Ф-40С [19...21]

$$C_{\text{Д}} = 3\text{П} + C_{\text{М}} \quad (5.1)$$

де 3П - витрати на зарплату робітників ремонтного персоналу, грн/дм<sup>2</sup>;

$C_{\text{М}}$  - ціна матеріалів для відновлення зношеної площі підшипникового гнізда в 1 дм<sup>2</sup>, грн/дм<sup>2</sup>).

Витрати на заробітну плату робітників ремонтного персоналу

$$3\text{П} = 3\text{П}_0 + 3\text{П}_\text{Д} + \text{Н}_{\text{СС}} \quad (5.2)$$

де 3П<sub>0</sub> - витрати на основну заробітну плату робітників ремонтного персоналу, грн.;

3П<sub>Д</sub> - витрати на додаткову заробітну плату робітників ремонтного персоналу, грн.;

$\text{Н}_{\text{СС}}$  - Витрати на нарахування соціального страхування, грн.

Основна заробітна плата робітників ремонтного персоналу розрахована за формулою

$$3\text{П}_0 = T_{\text{Зар}} \cdot \epsilon_{\text{Год}} \quad (5.3)$$

де  $T_{\text{Зар}}$  - загальні витрати праці на відновлення 1 дм<sup>2</sup> зношеної



поверхності, год;

$C_{\text{год}}$  - годинний тариф, грн/год.

Трудомісткість відновлення 1  $\text{дм}^2$  знощеної поверхні підшипникових

гнізд  $T_{\text{заг}}$  зафіксували методом хронометражу (таблиця 5.1). Розрахунок

виконували для корпусних деталей з діаметральним зносом отворів 0,25 мм.

Для операцій технологічного процесу відновлення прийнято четвертий розряд слюсаря зі відрядною оплатою праці та годинним тарифом у 34,50

грн/год.

$$ЗП_0 = 34,50 \cdot 0,04 = 1,38 \text{ грн/дм}^2$$

Додаткова заробітна плата

$$ЗП_Д = ЗП_0 \cdot K_{\text{ДП}}, \quad (5.4)$$

де  $K_{\text{ДП}}$  - коефіцієнт додаткової оплати, що становить 40% від витрат на основну зарплату робочих ремперсоналу.

$$ЗП_Д = 1,38 \cdot 0,4 = 0,552 \text{ грн/дм}^2$$

Нарахування на соціальне страхування визначали за формулою

$$N_{\text{сс}} = (ЗП_0 + ЗП_Д) \cdot K_{\text{сс}} / 100; \quad (5.5)$$

де  $K_{\text{сс}}$  - Коефіцієнт нарахувань соціального страхування, що становить 30,2% від суми витрат на основну і додаткову зарплати ремонтного персоналу.

$$N_{\text{сс}} = (1,38 + 0,552) \cdot 0,302 = 0,6 \text{ грн / дм}^2$$

Таблиця 5.1 - Норма часу на відновлення 1  $\text{дм}^2$  знощеної поверхні підшипникових гнізд корпусних деталей композицією еластомеру Ф-40С

№ п/п	Найменування операції	Норма часу, хв/дм <sup>2</sup>
1	Знежирення поверхні	0,40
2	Підготовка композиту	0,5
3	Нанесення покриття з композиту на отвори посадкові	0,5
4	Завантаження в шафу	0,30
5	Вивантаження із сушильної шафи	0,30
6	Контроль	0,25
Разом		2,25 (0,04 год/дм <sup>2</sup> )

Заробітна плата робітників при відновленні 1 дм<sup>2</sup> зношеної поверхні підшипникових гнізд корпусних деталей

$$377 = 1,38 + 0,552 + 0,6 = 2,5 \text{ грн./дм}^2$$

Ціна матеріалів для відновлення площі в 1 дм<sup>2</sup> зношеної поверхні підшипникових гнізд корпусних деталей

$$C_M = N_M \cdot C_M \quad (5.6)$$

де  $N_M$  - норма витрати матеріалів на відновлення площі в 1 дм<sup>2</sup> зношеної поверхні підшипникових гнізд корпусних деталей, кг/дм<sup>2</sup>;

$C_M$  - ціна одиниці ремонтних матеріалів, грн./кг:

Ціна матеріалів для відновлення підшипникових гнізд корпусних деталей показано у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Ціна матеріалів для відновлення 1 дм<sup>2</sup> підшипникових гнізд корпусних деталей

№ п/п	Найменування матеріалу	Ціна, грн/кг	Витрата, кг/дм <sup>2</sup>	Вартість, грн./дм <sup>2</sup>
1	Еластомер Ф-40С	430	0,0012	15,16
2	Адетон технічний	60	0,015	1,03
3	Бронзовий порошок	800	0,00001	0,008
4	Алюмінієвий порошок	90	0,0002	0,018
Усього				16,4

$$C_M = 16,4 \text{ грн./дм}^2$$

Собівартість відновлення площі 1 дм<sup>2</sup> підшипникових гнізд корпусних деталей композицією еластомеру Ф-40С

$$3_{\text{п}} = 1,38 + 16,4 = 17,1 \text{ грн./дм}^2$$

Річний обсяг витрат при відновленні зношених підшипникових гнізд корпусних деталей автомобілів та тракторів композицією еластомеру Ф-40С

$$3_{\text{н}} = N \cdot C_{\text{п}} \quad (5.7)$$

де  $N$  - річна програма відновлення поверхні посадкових отворів у корпусних деталях, дм<sup>2</sup>.

За результатами вибракування корпусних деталей загальна площа зношеної поверхні, що підлягає відновленню складає  $N = 1545,06 \text{ дм}^2$ .

Річний обсяг витрат при відновленні зношених підшипникових гнізд корпусних деталей за розробленою в дисертації новою технологією складе

$$Z_{\text{н}} = 1545,06 \cdot 17,78 = 27471 \sim 27500 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект від впровадження технології відновлення підшипникових гнізд корпусних деталей

$$C_{\text{рік}} = C_2 - C_1 \quad (5.8)$$

де  $C_2$  - річний обсяг витрат на придбання нових деталей, грн.,  $C_2 = 250000$

грн.,

$C_1$  - річні витрати на відновлення корпусних деталей за новою технологією,  $C_1 = 27500$  грн..

Річний економічний ефект від впровадження технології відновлення підшипникових гнізд корпусних деталей становить

$$C_{\text{рік}} = 250000 - 27500 = 222500 \sim 220 \text{ тис. грн.}$$

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1) Щоб збільшити гранично допустиму товщину полімерного покриття еластомеру при відновленні і забезпечити при цьому зміщення осі підшипника з валом щодо осі посадкового отвору корпусної деталі в межах, що допускаються, слід збільшити модуль пружності еластомеру за рахунок введення високодисперсних металевих наповнювачів.

2) Запропоновано експериментально-розрахункову методику визначення коефіцієнта ліжка та деформації зовнішнього кільця підшипника при радіальному навантаженні. Отримано формулу (2.18) для розрахунку модуля пружності наповненого еластомеру.

3) Для збільшення міцності, довговічності та теплопровідності ПКМ на основі еластомерів необхідно використовувати високодисперсний алюмінієвий порошок. Для зниження температури та скорочення часу термічної обробки, зменшення пористості покриттів ПКМ рекомендується вводити в розчини еластомерів високоенергетичні порошки міді або її сплавів.

4) Введення дисперсних порошоків алюмінію та бронзи в еластомер збільшує міцність на 6 %, а деформацію зменшує на 8 % у порівнянні з не наповненим Ф-40С. Температура термічної обробки композиції зменшилася на 20°C, а час на 0,5 год. Оптимальний режим термічної обробки композиції еластомеру Ф-40С становить 140°C протягом 2,5 год.

5) Отримано регресійну модель міцності композиції еластомеру Ф-40С та визначено оптимальний склад композиції: еластомер Ф-40С – 100 мас.ч., алюмінієвий порошок ПАП-1 – 16 мас.ч. та бронзовий порошок БПП-1 - 1,8 мас.ч.

6) Підтверджено коректність розроблених теоретичних передумов: при введенні дисперсних металевих наповнювачів модуль пружності композиції збільшується на 8%, а адгезійні властивості на 9% порівняно з не наповненим матеріалом.

7) У поєднанні з покриттям з композиції еластомеру Ф-40С коефіцієнту Кірхгофа збільшується в порівнянні зі стандартним з'єднанням (пара «сталь-

сталь») від 3,64 до 9,58 разів залежно від товщини полімерного шару. У результаті пляма контакту тіл, що стикаються, збільшується від 1,11 до 1,86 рази в порівнянні з парою «сталь-сталь».

8) Введення дисперсних металевих порошоків:

- знижує податливість опор, відновлених композицією порівняно з не наповненим еластомером Ф-40С від 1,29 до 1,37 разів;

- збільшує коефіцієнт теплопровідності композиції на основі еластомера Ф-40С;

- підвищує якість полімерних покриттів: розмір пор зменшується до 2,5 разів, концентрація пор знижується на 24 %, площа зруйнованого покриття зменшується до 2,25 раза;

- знижує теплоутворення у підшипниковому вузлі. Температура деталей підшипникового вузла, відновленого композицією на основі еластомеру Ф-40С нижче до 15°C порівняно з ненаповненим матеріалом.

9) На основі результатів досліджень розроблено технологію відновлення посадкових отворів під підшипники в корпусних деталях композицією на основі еластомеру Ф-40С. Рекомендується відновлювати зношені посадкові отвори з діаметральним зносом до 0,25 мм. Річний економічний ефект від

впровадження нової технології становив близько 420 тис. грн.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 Батищев, А. Н. Посібник гальваніка - ремонтника [Текст] / Батищев О.М., - М: Колос, 1980. - 240 с.

2 Голубев, І. Г. Дослідження довговічності нерухомих сполук, відновлених залізненням при ремонті сільськогосподарської техніки [Текст]: дис... канд. техн. наук/Голубев І.Г. - М., 1981. - 135 с.

3 Поляченко, А. В. Збільшення довговічності деталей, що відновлюються контактним приварюванням зносостійких покриттів в умовах сільськогосподарських ремонтних підприємств [Текст]: автореф. дис... докт. техн. наук/Поляченко О.В. - М., 1984. - 44 с.

4 Черноіванів, В. І. Удосконалення технології та підвищення якості відновлюваних деталей сільськогосподарської техніки [Текст]: автореф. дис... докт. техн. наук/Черноіванов В.І. - М., 1984. - 53 с.

5 Бурумкулов, Ф. Х. Удосконалення методів та засобів оцінки працездатності та довговічності відновлюваних з'єднань і деталей машин (на прикладі автотракторних двигунів) [Текст]: автореф. дис... докт. техн. наук. / Бурумкулов Ф.Х. - М., 1986. - 38 с.

6 Бугаєв, В. Н. Відновлення деталей та підвищення ресурсу паливної апаратури тракторних та комбайнових дизелів [Текст]: автореф. дис... докт. техн. наук./Бугаєв В.М. - М., 1987. - 32 с.

7 Авдєєв, М. В. Підвищення ефективності відновлення деталей сільськогосподарської техніки [Текст]: автореф. дис... докт. техн. наук. / Авдєєв М.В. - Челябінськ, 1987. - 46 с.

8 Курчаткін, В. В. Відновлення посадок підшипників кочення сільськогосподарської техніки полімерними матеріалами [Текст]: дис... докт. техн. наук. / Курчаткін В.В. - М., 1989, - 407 с.

9 Сидоров, А. І. Відновлення деталей сільськогосподарської техніки плазмовим наплавленням [Текст]: автореф. дис... докт. техн. наук. / Сидоров А.І.-М., 1989.-34 с.

10 Мошепський, Ю. А. Технологічні основи підвищення надійності

автотракторних валів при відновленні їх наплавкою та термічною обробкою [Текст]: автореф. дис... докт. техн. наук / Мошенський Ю.А. - Пушкін, 1990. - 43 с.

11 Чорновіл, М.І. Технологічні основи відновлення деталей сільськогосподарської техніки композиційними покриттями [Текст]: автореф. дис... докт. техн. наук. / Чорновіл М.І. - М., 1992. - 35 с.

12 Мельниченко, І. М. Відновлення та підвищення довговічності підшипникових вузлів сільськогосподарської техніки з використанням композиційних матеріалів та покриттів / Дис. ... докт. техн. наук. - Гомель, 1991. - 370 с.

13 Котін, А. В. Відновлення точності розмірних ланцюгів складальних одиниць застосування не жорстких компенсаторів зносу / Дис. ... докт. техн. наук. - Саранськ, 1998. - 358 с.

14 Лі, Р. І. Відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення сільськогосподарської техніки полімерними матеріалами [Текст]: дис... докт. техн. наук. / Лі Р.І. - М., 2001. - 340 с.

15 Зазуля, А. Н. Довідник інженера з технічного сервісу машин та обладнання в АПК [Текст]: / за редакцією д.с.-г. наук, професора С. М. Буніна-М.: ФДТУ «Росінформагротех», 2003. - 604 с.

16 Башкирцев, В. Н. Відновлення деталей машин та обладнання алмазами [Текст]: дис... докт. техн. наук. / Башкирцев Ст.Н. - М., 2004. - 397 с.

17 Гаджієв, А. А. Технологічне забезпечення довговічності підшипникових вузлів машин застосуванням полімерних матеріалів [Текст]: автореф. дис... докт. техн. наук. / Гаджієв А. А. - М., 2005. - 35 с.

18 Кузнєцов, Ю. А. Відновлення та зміцнення деталей машин та обладнання АПК мікродуговим оксидуванням [Текст]: автореф. дис... докт. техн. наук. / Кузнєцов Ю. А. - М., 2006. - 35 с.

19 Казанцев, С. П. Розробка комбінованої технології отримання жлезоборідних покриттів при відновленні та зміцненні деталей сільськогосподарської техніки [Текст]: автореф. дис... докт. техн. наук. / Казанцев С.

П.-М., 2006.-32 с.

20 Фархшатов, М. Н. Ресурсозберігаючі технології відновлення деталей сільськогосподарської техніки та обладнання електроконтактним приварюванням корозійностійких та зносостійких матеріалів [Текст]: авто реф. дис... докт. техн. наук. / Фархшатов М. Н. – Саранськ., 2007. – 32 с.

21 Гвоздев, А. А. Технологія підвищення довговічності вузлів тертя при ремонті сільськогосподарської техніки з використанням модифікованих полімерних композицій [Текст]: дис... докт. техн. наук. / Гвоздев А. А. -М., 2011,-377 с.

22 Кононенко О. С. Підвищення надійності нерухомих фланцевих з'єднань сільськогосподарської техніки використанням наноструктурованих герметиків [Текст]: дис... докт. техн. наук. / Кононенко О. С. – М., 2012,-405 с.

23 Лі, Р. І. Відновлення та зміцнення деталей сільськогосподарської техніки та обладнання переробних підприємств [Текст]: навчань, посібник для вузів / Лі Р. І.; М-во сіль, госп-ва РФ, Мічурінськ, держ. аграрний ун-т – Липецьк: Вид-во ЛДТУ, 2008. – 323 с.

24 Розповідей, М. Я. Сучасні тенденції організації ремонту сільськогосподарської техніки. [Текст]/Болотін М.В. - М.: Росінформагротех, 2001. - 105 с.

25 Черюіванов, В. І. Стан та основні напрямки розвитку технічного сервісу на селі [Текст] / Черюіванов В. І. // Механізація та електрофікація сільського господарства. – 2000. – № 6, – С. 2-5.

26 Черюіванов, В. І. Технічне обслуговування, ремонт та оновлення сільськогосподарської техніки в сучасних умовах [Текст] / Черюіванів В. І. та ін; -М.: ФДНУ «Росінформагротех», 2008. - 148 с.

27 <http://www.consultant.ru>

28 Уотерхауз, Р. Б. Фреттинг-корозія [Текст] / Уотерхауз Р. Б.; - Л.: Машинобудування. 1976.-271 с.

29 Онопрієнко, В. П. Дослідження впливу деяких фізико- механічних та хімічних факторів на зношування металів при фреттинг-корозії [Текст]: дис.



канд. техн. наук / Онопрієнко В. П. - Київ, 1973.-174 с.

30 Айбіндер, С. Б. Вплив полімерних покриттів на розвиток фреттинг-корозії [Текст] / Айбіндер С.Б., Жеглов О.С., Ліберман Л.М. // Фізико-хімічна механіка контактної взаємодії та фреттинг-корозія: Тез. доп. – Київ, 1973. – С. 143-144.

31 Щербина, Д. А. Дослідження структурно-енергетичних особливостей зношування металів при фреттинг-корозії [Текст]: дис... канд. техн. наук / Щербина Д. А. – Київ, 1975. – 248 с.

32 Гаркунов, Д. Н. Триботехніка (знос і беззносність): Підручник. - М.: «Изд-во МСХА» 2001. - 616 з.

33 Тоїров, І. Ж. Відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення сільськогосподарської техніки анаеробними герметиками [Текст]: дис... канд. техн. наук / Тоїров І. Ж. – М., 1990. – 172 с.

34 Дураєв, А. В. Дослідження та обґрунтування допустимих при капітальному ремонті посадкових гнізд корпусу коробки передач трактора класу 3 тс / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М., 1976. – 26 с.

35 Ікрамов, У. Допустимі перекося та непаралельності осей валів коробки передач // Автомобільний транспорт. - 1962 - № 7, - С. 29-32.

36 Збір інформації про надійність 150 серійних тракторів ДТ-75МВ в рядовій експлуатації та даних про витрату запчастин на ремонтно-експлуатаційні потреби [Текст]: Звіт НАЦ, арх. №5234 / НАЦ - М., 1985. - 195 с.

37 Заблонський, К. І. Зубчасті передачі. Розподіл навантаження в зачепленні. – Київ: Техніка. – 1977. – 207 с.

38 Щерстобітов, В. Д. Підвищення довговічності коробок передач автомобілів при відновленні корпусів на сільськогосподарських ремонтних підприємствах / Автореф. дис..., канд. техн. наук. – Кіров, 1983. – 16 с.

39 Шубін, А. Г. Підвищення довговічності посадкових отворів корпусних деталей сільськогосподарської техніки, відновлених герметиком 6Ф / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М., 1980. – 16 с.

40 Шайдудін, В.М. Дослідження та розробка технології відновлення посадкових отворів корпусу КПШ трактора Т-74 проточним залізненням на періодичному струмі / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Кишинів, 1979. – 15 с.

41 Поперена М.Я. Вплив жорсткості корпусу на розподіл навантаження за елементами радіального підшипника [Текст] / Поперена М.Я. – М.: Доповіді О.М.Тадж. РСР. вип. XIV, 1955. – 136 с.

42 Технологічні рекомендації щодо застосування методів відновлення деталей машин [Текст]. – М.: ДЕРЖВИТИ, 1976. – 181 с.

43 Крупецький, В. А. Відновлення посадкових отворів установкою кілець [Текст] / Крупецький В. А. // Техніка в сільському господарстві. – 1981, – № 9. – С. 56-57.

44 Альбом технологічних карт на ремонт (відновлення) деталей тракторів та автомобілів [Текст]. – М: Колос, 1965. – 912 с.

45 Авдєєв, М. В. Технологія ремонту машин та обладнання [Текст] / Авдєєв М. В., Воловик Є. Л., Ульман І. Є.; – М: Агропромиздат, 1986. – 247 с.

46 Тельнов, Н. Ф. Ремонт машин [Текст] / Тельнова Н. Ф.; – М.: ВО «Агропромвидав», 1992. – 560 с.

47 Черноіванів, В. І. Технічне обслуговування та ремонт машин у сільському господарстві [Текст]: Навчальний посібник / Черноіванів В. І., Бледних В. В., Пивнічний А. Е.; – Москва – Челябінськ, ДЕРЖСНПІ, ЧДАУ, 2003. – 992 с.

48 Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «Надійність та ремонт машин» [Текст]: Вид-во ОрелГАУ, 2004. – 168 с.

49 Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «Надійність та ремонт машин» [Текст]: Вид-во ОрелГАУ, 2005. – 446 с.

50 Поляченко, А. В. Відновлення та зміцнення деталей сільськогосподарської техніки електроконтактним приварюванням присадочних матеріалів [Текст] / Поляченко О. В., Рогінецький Л.Б. // Сучасне обладнання та технологічні процеси для відновлення та зміцнення деталей

машин. - М., 1988. - 35 с.

51 Воловик, Є. Л. Довідник з відновлення деталей [Текст] / Воловик Є. Л.; - М.: Колос, 1981. - 350 с.

52 Лі, Р. І. Технології відновлення деталей металургійних машин та обладнання [Текст]: навчальн., посібник для вузів / Лі Р. І., Жильцов А. П.; М-во освіти та науки РФ, Липецьк, держ. техн. ун-т - Липецьк: Вид-во ЛДТУ, 2007. - 315 с.

53 Технологія ремонту машин/Є.А. Пучин та ін; Під. ред. Е. А. Пучина. - М.: Колос, 2007. - 488 с.

54 Багишев, А. Н. Монтаж, експлуатація та ремонт технологічного обладнання [Текст] / Багишев А. Н., Голубев І. П., Курчаткін В. В.; - М.: Колос, 2007. - 424 с.

55 Спіцин, І. А. Удосконалення технології відновлення посадкових отворів корпусних деталей електrolітичним залізненням в умовах сільськогосподарських ремонтних підприємств [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Спіцин І. А. - М., 1983. - 190 с.

56 Новіков, А. Н. Відновлення посадкових місць під підшипники крупногабаритних деталей цинк - нікелевим сплавом [Текст] / Новіков А. Н. // Сучасне обладнання та технологічні процеси для відновлення та зміцнення деталей машин. - М., 1988. - 95 с.

57 Дімов, В. А. Застосування анаеробних матеріалів при складанні підшипникових з'єднань [Текст] / Дімов В. А., Коновалов А. А. // Техніка в сільському господарстві. - 1981. - № 4. - С. 52 - 54.

58 Ющков, В. В. Відновлення посадкових місць підшипників кочення анаеробними матеріалами [Текст] / Застосування анаеробних матеріалів при складанні та ремонті автотранспортних засобів: Інформ, карта № 218-87-85 ЦБНТІ; М-во автомобільного транспорту РРФСР, - Устинов, 1985. - 3. 10-13.

59 Баскаков, В. Н. Довговічність нерухомих циліндричних сполук сільськогосподарських тракторів та шляхи її підвищення [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Баскаков В. Н. - М., 1986. - 201 с.

60 Курчаткін В. В. Надійність та ремонт машин [Текст] / Курчаткін В. В., Тельнов Н. Ф., Ачкасов К. А., Батішев А. И. та ін.; - М.: Колос, 2000. - 776 с.

61 Аязбаєв, М. Д. Довговічність нерухомих з'єднань типу вал - підшипник кочення, відновлених герметиком 6Ф в умовах сільськогосподарських ремонтних підприємств [Текст]: дис. ... канд. техн. наук/Аязбаєв М. Д.-М., 1984.-193 с.

62 Сідніна, Т. І. Відновлення посадок підшипників у щитах асинхронних електродвигунів на ремонтних підприємствах Держагропрому СРСР [Текст]: дис.... канд. техн. наук/Сідніна Т. І. – М., 1986. – 159 с.

63 Аль-Ассех Рашад Фахад Обґрунтування вибору полімерного матеріалу для відновлення та підвищення довговічності нерухомих з'єднань підшипників кочення сільськогосподарської техніки [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Аль-Ассех Рашад Фахад. - М., 1989. - 181 с.

64 Лі, Р. І. Неруйнівний контроль якості нерухомих з'єднань підшипників кочення сільськогосподарської техніки, відновлених анаеробними герметиками [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Лі Р. І. – М., 1990.- 220 с.

65 Щетинін, М. В. Відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення сільськогосподарської техніки адгезивом Анатерм-105 [Текст]: дис.... канд. техн. наук / Щетинін М. В. – Мічурінськ, 2008. – 146 с.

66 Шипулін, М. А. Неруйнівний контроль якості нерухомих з'єднань підшипників кочення сільськогосподарської техніки, відновлених полімерними композиційними матеріалами [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Щетинін М. В. – Мічурінськ, 2012. – 141 с.

67 Кричевський, М. Є. Застосування полімерних матеріалів під час ремонту сільськогосподарської техніки [Текст] / Кричевський М. Є.; - М.: Росагропро-міздат, 1988. - 143 с.

68 Їблдаєв, Б. А. Довговічність підшипників кочення сільськогосподарської техніки з посадками, відновленими герметиком 6Ф [Текст]: дис.... канд. техн. наук / Їблдаєв В. А. – М., 1986. – 159 с.

69 Склади анаеробні ущільнювачі (герметики) [Текст]: Клеї акрилові.  
Каталог. – Черкаси, 1988. – 22 с.

70 <http://www.nsp.ua>

71 Лі, Р. І. Методичні вказівки до лабораторної роботи «Відновлення деталей полімерними матеріалами при ремонті машин та обладнання» [Текст]

/ Лі Р. І., Кондрашин С. І. – Мічурінськ. Вид-во Міч. держ. агр.-го ун-та, 2007. – 24 с.

72 Купресев, М. П. Підвищення довговічності з'єднань підшипникових вузлів відремонтованої сільськогосподарської техніки [Текст]: дис.... канд. техн. наук / Купресев М. П. – М., 1988. – 212 с.

73 Дьомін, В. Є. Удосконалення технології відновлення сплучень опор корпусних деталей з підшипниками кочення застосуванням композиційних анаеробних матеріалів (на прикладі корпусу КП трактора Т-150К) [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук. / Дьомін В. Є. – Саратов, 2007. – 16 с.

74 Кондрашин С. І. Відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення сільськогосподарської техніки анаеробними герметиками з дисперсними мінеральними наповнювачами [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Кондрашин С. І. – Мічурінськ, 2009. – 118 с.

75 Бочаров, А. В. Підвищення ефективності відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення сільськогосподарської техніки адгезивами, наповненими дисперсними металевими порошками [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Бочаров А. В. – Мічурінськ, 2009. – 150 с.

76 Бутін, А. В. Підвищення ефективності відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення сільськогосподарської техніки полімер-полімерними композиціями [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Бутін А. В. – Мічурінськ, 2012. – 127 с.

77 <http://instplast.ua/>

78 Енциклопедія полімерів [Текст]: Ред. колегія: У. А. Кабанов (глав. ред.) [та інших.] Т. 3-М: Изд-во «Радянська енциклопедія», 1977. – 1152 с.

79 Горб, А. М. Удосконалення аналітичних методів розрахунку

конструкцій промислових підлог з цементобетону, розташованих на пружній ґрунтовій основі у разі використання моделі місцевих пружних деформацій [Текст]: дис... канд. техн. наук / Горб А. М. – М., 2009 – 140 с.

80 Шпилько, А. В. Методика визначення економічної ефективності технологій та сільськогосподарської техніки [Текст] / Шпилько А.В., Драгайцев В.І., Гудакін Н.Ф. та ін.; - М: Видавництво журналу «Аграрна наука», 1998.-127 с.

81 Сергеев, І. В. Економіка підприємства [Текст] / Сергеев І. В.; - М.: Фі-141 нанси та статистика, 2000. - 297 с.

82 Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень з експлуатації та ремонту машин [Текст] / І. М. Кравченко, Н. В. Шиліна, Л. Н. Попова, С. В. Карпів, Є. А. Пучин, А. М. Карів, - К.: Видавництво УМЦ «Тріада», 2006.- 144 с.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТКИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України