

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра надійності і ремонту машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр"

на тему:

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТОЗДАТНОСТІ ДЕТАЛЕЙ
МАШИН, ВИГОТОВЛЕНИХ З ЕЛАСТОМІРНОГО МАТЕРІАЛУ**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМ-3-20
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____ Корнійко Едуард Олегович

Керівник: _____ Дирда Віталій Ілларіонович

Рецензент: _____

Дніпро 2021

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра: Надійності і ремонту машин

Освітній ступінь: "Магістр"

Спеціальність: 208 "Агроінженерія"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

НРМ

(назва кафедри)

д.т.н. професор

(вчене звання)

Дирда В.І.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

”_____” _____ 20__ р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Корнійку Едуарду Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування параметрів роботоздатності деталей машин виготовлених з еластомірного матеріалу

керівник роботи д.т.н. проф. Дирда В.І.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від
року № _____

2. Строк подання студентом роботи до 1.12.2021

3. Вихідні дані до роботи Існуючі композитні та еластомірні матеріали, що використовуються в машинобудуванні. Способи відновлення деталей машин еластомірними матеріалами. Показники стану охорони парці в базовому господарстві. Техніко-економічні показники роботи базового господарства

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання та задачі досліджень. 2. Теоретичний розділ. 3. Методика проведення експериментальних досліджень та їх результати 4. Охорона праці та захист у надзвичайних ситуаціях. 5. Техніко-економічні показники роботи. Загальні висновки та пропозиції. Список літератури. Додатки

РЕФЕРАТ

Дипломна робота виконана на тему: Обґрунтування параметрів роботоzдатності деталей машин виготовлених з еластомірного матеріалу.

Включає в себе п'ять розділів в яких викладено основні аналітичні дослідження по застосовуваності і надійності деталей з еластомірного матеріалу на прикладі гумових ущільнень.

Проведено теоретичні дослідження по герметичності з'єднань вал-ущільнення.

Розроблено методику експериментальних досліджень. Проведено експериментальні дослідження запропонованих конструкцій ущільнень з еластомірного матеріалу.

Проведено аналіз стану охорони праці та розроблено заходи з її поліпшення. Також проведено техніко-економічне обґрунтування роботи.

Дипломна робота виконана у вигляді пояснювальної записки об'ємом 97 сторінок та графічною частиною, яка виконана у вигляді презентації з 12 слайдів.

Ключові слова: еластомір, ущільнення, зазор у з'єднанні, знос, дослідження і т.д.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
1.1. Умови експлуатації сільськогосподарської техніки та їх вплив на працездатність з'єднань «вал-ущільнення»	9
1.2. Ущільнення, які застосовуються в сільськогосподарській техніці.....	16
1.3. Дефекти, що зустрічаються в з'єднаннях «вал-манжета», причини їх виникнення	25
1.4. Аналіз робіт з удосконалювання ущільнювальних пристроїв підшипникових вузлів	31
1.5. Висновки, мета та завдання дослідження.....	33
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК УЩІЛЬНЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ І ВИМОГ ДО НИХ.....	36
2.1. Основні фактори, що впливають на герметичність з'єднання «вал-манжета» підшипникових вузлів сільськогосподарських машин.....	36
2.2. Аналіз способів зниження сили та коефіцієнту тертя в з'єднанні	39
2.3. Висновок	45
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	47
3.1. Планування експериментальних досліджень	47
3.2. Методика виготовлення модифікованих манжет	47
3.3. Методика визначення фізико-механічних властивостей.....	49
3.4. Дослідження впливу об'ємного модифікування на фізико-механічні властивості	57
3.7. Перспективні способи модифікації гуми.....	77
3.8. Висновок.....	77
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	79

4.1. Дослідження стану охорони праці	79
4.2. Стан охорони праці на підприємстві.....	80
4.3. Рекомендації щодо забезпечення безпеки та поліпшення умов праці на агрегатній ділянці.....	81
4.5. Дії в надзвичайних ситуаціях.....	83
4.6. Висновок.....	83
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНКИ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ	84
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	90
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	92
ДОДАТКИ.....	97

ВСТУП

Близько 80% ущільнень валів вітчизняної сільськогосподарської техніки становлять манжети гумові армовані. Недорогі, що досить надійно працюють у багатьох областях промисловості, манжети при експлуатації в умовах сільського господарства досить швидко виходять з ладу. Це веде до передчасного ремонту й зниження ефективності використання техніки. За період експлуатації сільськогосподарських машин фактична витрата ущільнень в 2 - 3 рази перевищує нормативний. При капітальному ремонті техніки практично всі ущільнення підлягають заміні, близько 70% валів потребують відновлення робочих поверхонь у зоні контакту з ущільненнями. Підвищення надійності ущільнювальних пристроїв повинне закладатися при проектуванні техніки з урахуванням особливостей її експлуатації й забезпечуватися в результаті недорогого якісного технічного сервісу машин, що неможливо без наявності якісних ущільнень.

Ситуація, що склалась, показує необхідність підвищення працездатності ущільнювальних пристроїв підшипникових вузлів сільськогосподарської техніки.

Разом із появою систем і вузлів, що мають недостатнє змащення та в поділі середовищ, з'явилася необхідність в ущільненнях.

У сучасних сільськогосподарських машинах використовуються різні типи ущільнень, що мають як позитивні, так і негативні сторони, що обмежують область їх застосування. Ущільнення бувають рухомі й нерухомі. Рухомі, у свою чергу, підрозділяються на ущільнення при поступальному й обертовому русі.

Найбільше поширення серед ущільнювальних пристроїв підшипникових вузлів сільськогосподарської техніки отримали манжети гумові армовані, що працюють у мінеральному маслі, воді, дизельному паливі при надлишковому тиску до 0,05 МПа, швидкості до 20 м/с і температурі від -60 °C до $+170$ °C. Перевагами гумових армованих манжет є їх низька вартість, простота в

установці й заміні. Згідно з технічними умовами манжети виготовляють двох типів: однокромкові (тип 1) і однокромкові з пильовиком (тип 2). Для виготовлення застосовують шість видів гум, що підбираються залежно від умов експлуатації. Однак надійність манжет у вузлах сільськогосподарської техніки залишається недостатньою, потрібні подальші дослідження з їх вдосконалення. Для збільшення надійності необхідно сформулювати комплексний підхід до проектування, виготовлення, технічного обслуговування й ремонту ущільнювальних пристроїв підшипникових вузлів, що враховує разом з іншими факторами режим і умови роботи сільськогосподарських машин.

Об'єкт дослідження. Ущільнювальні пристрої підшипникових вузлів сільськогосподарської техніки.

Предмет дослідження. Фактори, що впливають на працездатність і методи вдосконалення ущільнювальних пристроїв підшипникових вузлів сільськогосподарської техніки.

Публікації. За результатами роботи надруковано статтю: Корнійко Е.О. Вплив модифікаторів на фізико-механічні властивості еластомірних матеріалів / Е.О. Корнійко, Є.В. Калганков // Актуальні проблеми розвитку науки в контексті глобальних трансформацій інформаційного суспільства: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції ГО "Інститут інноваційної освіти" Науково-навчальний центр прикладної інформатики НАН України. Київ. – 2021. – С. 52–57.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Умови експлуатації сільськогосподарської техніки та їх вплив на працездатність з'єднань «вал-ущільнення»

При випуску нової техніки або ремонті старої необхідні комплектуючі, які забезпечують необхідний ресурс із урахуванням умов експлуатації.

Удосконалення й підвищення надійності ущільнюючих пристроїв є актуальною проблемою, оскільки ущільнення захищають деталі від впливу навколишнього середовища. Від їхньої довговічності багато в чому залежить ресурс агрегатів сільськогосподарських машин, які працюють в умовах безпосереднього контакту із ґрунтом (рис. 1.1, 1.2). Наявність пилу, підвищена вологість і хімічна агресивність ведуть до прискореного зношування робочих органів, деталей та особливо трибоспряження [1, 2, 3, 4].



Рис. 1.1 – Робота посівного агрегату



Рис. 1.2 – Зовнішній вигляд агрегатів сільськогосподарської техніки при порушенні герметичності ущільнень підшипникових вузлів

Сільськогосподарські машини працюють у різних швидкісних і навантажувальних режимах, які приводять до зміни умов роботи ущільнювальних вузлів. Наприклад, для збирання однієї тонни картоплі необхідно переробити до двадцяти тонн ґрунту. При агрегуванні трактором МТЗ-80/82 картоплезбирального комбайна найбільш часто використовуються перша й друга передачі. З підвищенням швидкості агрегату зростає обсяг бульбоносної маси та навантаження деталей, збільшується прогин валів і їх неспіввісність із ущільненнями, що призводить до нерівномірності зношування, розкриттю стику в з'єднанні й підвищенням витоків. Зі зниженням частоти обертання валів швидкість зношування може зростати в результаті погіршення гідродинамічного режиму змащення вузлів тертя [5]. Подібні зміни умов роботи в процесі експлуатації характерні для більшості агрегатів, що працюють у полі.

Тяжкі умови роботи сільськогосподарської техніки та порушення технічних вимог при виготовленні й монтажі деталей призводять до збільшення биття вала та його неспіввісності з ущільненням, що веде до проникнення пилу й інших забруднень із навколишнього середовища в зазор з'єднання й далі усередину вузла [6]. Абразивні частки, що входять до складу пилу, мають мікротвердість, що перевищує значення цього показника в сталі (таблиця 1.1). Поверхнева твердість сталевих деталей в основному становить 7000...8000 МПа, а мікротвердість кварцу – 10500...11300 МПа, оксиду алюмінію – 21000 МПа [6]. Влучення абразиву в зону тертя прискорює зношування деталей. На поверхні вала в місці контакту з робочою крайкою ущільнення утворюється прошліфувана абразивом канавка (рис. 1.3), разом зі збільшенням внутрішнього діаметра манжети це веде до перевищення припустимого зазору й витоків мастильного матеріалу, порушенню нормальної роботи ущільнюючого пристрою, підшипникового вузла й агрегату в цілому [6]. Більшість аварійних ситуацій у підшипникових вузлах викликане проникненням абразиву внаслідок незадовільної роботи ущільнень (таблиця 1.2) [1].





Рис. 1.3 – Зношування вала

Таблиця 1.1 – Склад пилу

Склад пилу	Зміст, %	Мікротвердість, МПа
Кварц	66...76	10500...11300
Оксид алюмінію	11...14	21000
Оксид заліза	11...14	9000
Оксид магнію	1...2	-
Оксид кальцію	1...4	-

Таблиця 1.2 – Розподіл вибрактованих підшипників кочення тракторів по видах ушкоджень

Види ушкоджень (вибрактована ознака)	Частота виникнення вибрактованої ознаки, %
Збільшення зазорів понад граничні значення	65...76
Порушення щільності посадки	17...21
Мікроскопічні ушкодження робочих поверхонь доріжок і тіл кочення	4...11
Поломка деталей підшипників	5...9

Істотний вплив на працездатність з'єднань «вал-ущільнення» виявляє сезонність експлуатації сільськогосподарської техніки (рис. 1.4). Тривалий нерухливий контакт робочих поверхонь призводить до збільшення адгезії між валом і манжетою. При запуску техніки після тривалих простоїв підвищується зусилля зрушення при русі двох поверхонь відносно один одного, а при перевищенні напруг, що допускаються, відбувається руйнування робочої кромки манжети: спочатку з'являються мікротріщини, а потім відрив часток гуми. Разом з підвищенням температури, при сухому й граничному терті, це може призвести до наволікання гуми на вал (рис. 1.5). Одночасно тривалий контакт веде до хімічної корозії металевих деталей у зоні зіткнення з гумовими ущільненнями (рис. 1.6). Внаслідок корозії змінюється шорсткість і навіть геометрія поверхні, що призводить до порушення працездатності з'єднання.

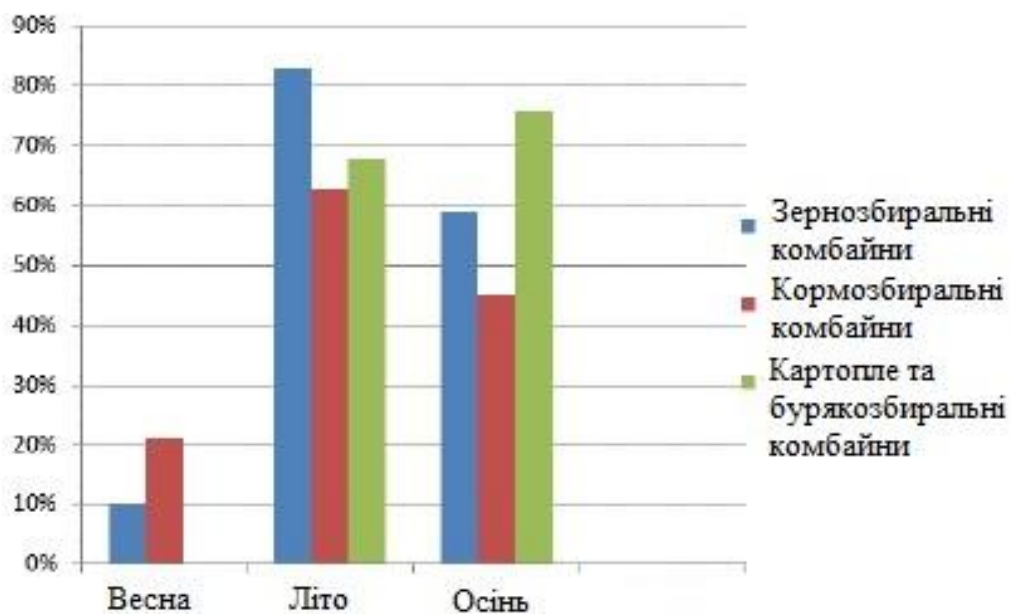


Рис. 1.4 – Сезонне використання сільськогосподарської техніки



Рис. 1.5 – Натирання гуми на вал



Рис. 1.6 – Корозія робочої поверхні вала в зоні контакту з манжетною

Втрата герметичності з'єднань «вал-ущільнення» знижує надійність експлуатації машин, підвищує витрати мастильних матеріалів [1], веде до руйнування вузлів машини, підвищуючи потребу в запасних частинах. Порухення ущільнень у коробках передач спостерігається в 44% тракторів, а в 31% відбуваються витік у гідросистемах [7]. Витік масла через ущільнення в енергонасичених тракторах становить 23-28%, а в гідроагрегатах до 44% від

загального числа відмов [1]. Витоку сприяють забруднення сільськогосподарських угідь і продукції.

За період експлуатації сільськогосподарських машин фактична витрата ущільнень в 2- 3 рази перевищує нормативну [1]. При капітальному ремонті енергонасичених тракторів усі ущільнення підлягають заміні й до 80% деталей вимагають відновлення робочих поверхонь у зоні контакту з ущільненнями [1].

1.2. Ущільнення, які застосовуються в сільськогосподарській техніці

Ущільнення – пристрої для поділу середовищ, запобігання або зменшення до меж, що допускаються, витоків через рухомі або роз'ємні з'єднання [8]. На працездатність ущільнень впливають властивості робочого й навколишнього середовища (токсичність і хімічна агресивність), властивості матеріалів ущільнюючого з'єднання й ущільнювача, а також режим їх роботи, величина витоків, що допускаються, і ресурс [8]. У сучасному машинобудуванні використовуються різні типи ущільнень, кожний з яких має свої позитивні й негативні сторони, що регламентують область їх застосування [7, 8]. Ущільнення діляться на рухомі й нерухомі. Рухомі у свою чергу поділяють на ущільнення при поступальному (осьовому) і обертовому русі деталей у зоні поділу середовищ. Ми розглядаємо ущільнення валів і осей, що роблять обертовий рух (рис. 1.7).



Рис. 1.7 – Класифікація ущільнень валів

Ці ущільнюючі пристрої діляться на контактні (рис. 1.8) і безконтактні (рис. 1.9). Існують також комбіновані ущільнюючі пристрої (рис. 1.10).

Манжетне ущільнення одне з найпоширеніших ущільнень. Металевий каркас надає гумовій манжеті твердість і забезпечує її щільну й герметичну посадку в корпус, робоча крайка притискається до вала браслетною пружиною й силами пружності гуми.

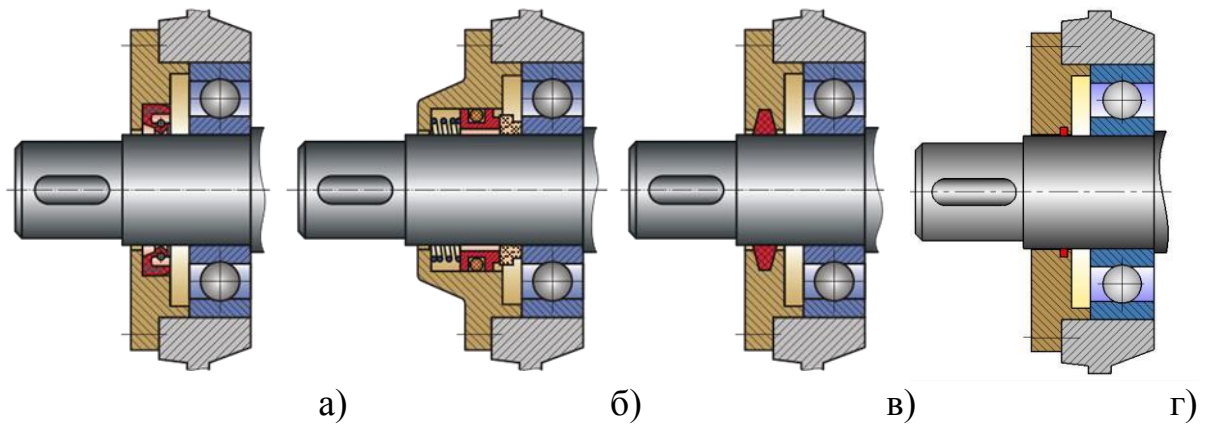


Рис. 1.8 – Підшипникові вузли з контактними ущільненнями:

а) манжетним; б) торцевим; в) сальниковим; г) кільцевим

Торцеве ущільнення складається з обертового й нерухливого кілець, що утворюють плоску пару тертя, і пружного елемента кільця, що притискає, один до одного. Перше кільце герметично встановлене на валу й обертається разом з ним. Друге – герметично пов'язане з корпусом [9].

Сальникові кільця виготовляють із войлоку. Ущільнення прості й дешеві, їх застосовують для вузлів із пластичним мастильним матеріалом, при окружній швидкості 2...5 м/с. На більших швидкостях у зоні контакту спостерігається сильне нагрівання. У цей час сальникові войлочні кільця рідко використовуються в машинобудуванні у зв'язку з підвищеним зношуванням валів, особливо в забрудненому середовищі [9].

Кільцеві застосовуються для втримання пластичного змащення у вузлах з нетривалим ковзанням, там, де необхідні ущільнення невеликого габариту.

Щілинні ущільнення складаються з кільцевих проточок, які заповнюються пластичним змащенням, з температурою плавлення вище робочої температури вузла. Утворений затвор перешкоджає витіканню масла й обмежує проникнення сторонніх речовин ззовні.

Застосовувати щілинні ущільнення рекомендується для вузлів, що працюють у порівняно чистому навколишньому середовищі, при швидкостях до 20 м/с. Канавки дуже корисні в комбінації з ущільненнями іншого типу.

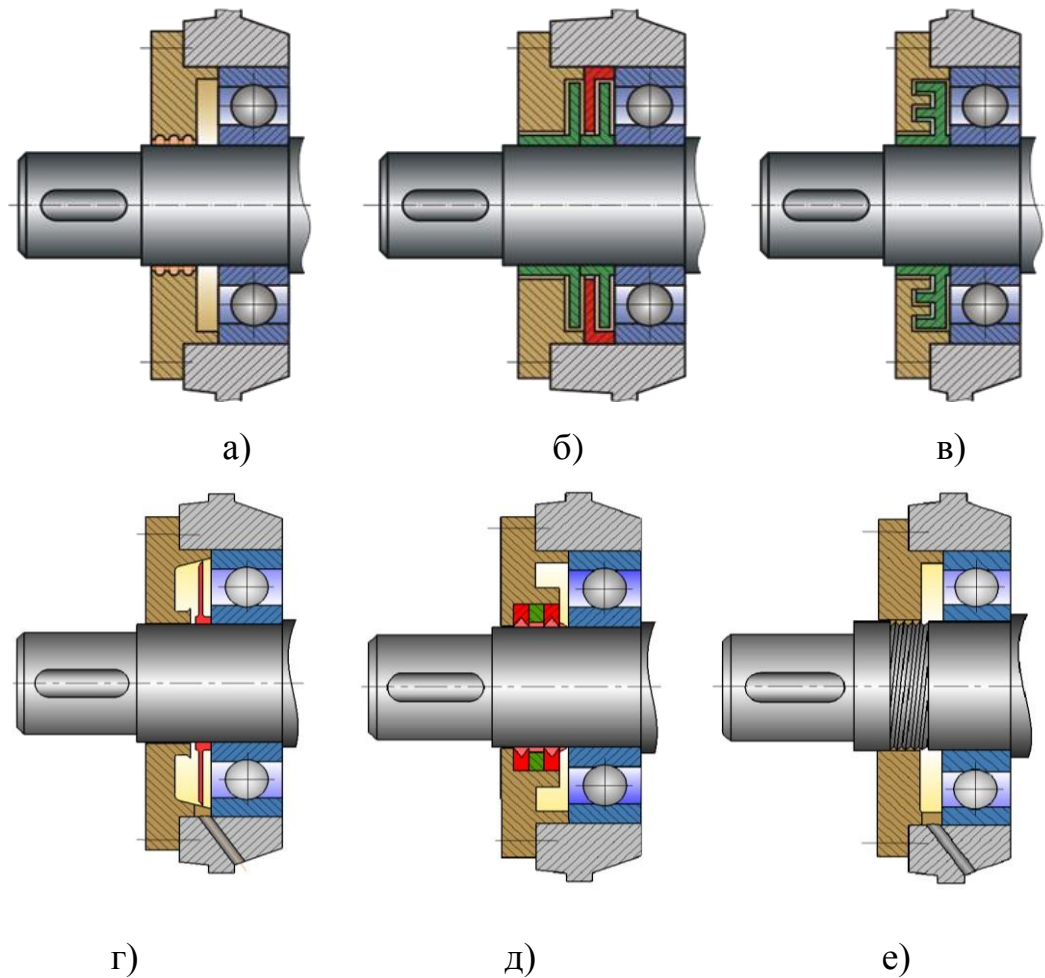


Рис. 1.9 – Підшипникові вузли з безконтактними ущільненнями: а) щілинним; б) лабіринтовим осьовим; в) лабіринтовим радіальним; г) відцентровим; д) магніторідинним; е) гвинтовим

Лабіринтові ущільнення розділяють середовища за рахунок малого зазору складної звивистої форми, заповненого змащенням. При їхньому використанні необхідно враховувати, що при занадто високих швидкостях може бути викидання змащення із зазору. Частіше їх установлюють разом з іншими ущільненнями.

Відцентрові ущільнення (масловідбиваючі кільця й канавки) виконують за одне ціле з валом або встановлюють на ньому. Вони застосовуються для запобігання витоків рідкого змащення при окружних швидкостях не менш 7 м/с. Потрапляючи на кільце або канавку змащення відкидається відцентровою

силою назад у корпус. Однак відцентрові ущільнення не перешкоджають витокам при зупинці агрегату.

Магніторідинні ущільнення – це механічні ущільнення, у яких магнітна рідина відіграє роль ущільнюючого елемента, який утримується в зазорі магнітним полем. Радіальні зазори в магніторідинних ущільненнях становлять 0,05...0,15 мм (до 0,5 мм). Ці ущільнення мають практично повну герметичність і при цьому ефективно працюють в умовах вологих середовищ і сильного запилення. До недоліків такого типу ущільнень слід віднести збільшення осьового габариту й зменшення надійності при збільшенні перепаду тисків.

Гвинтові ущільнення відганяють масло уздовж осі назад у корпус, працюючи за принципом архимедова гвинта. Їх установлюють у вузлах, експлуатованих у досить чистих умовах, з постійним напрямком обертання й окружною швидкістю не менш 5 м/с. Їх неможливо використовувати при реверсивному обертанні. Вони чутливі до наявності абразивних часток. При нерухливому валу не працюють. Частіше їх розташовують між підшипником і лабіринтовим ущільненням.

Комбіновані ущільнення складаються з декількох ущільнень, що виконують різні функції (рис. 1.10). Їх застосовують у відповідальних конструкціях при тяжких умовах експлуатації [10].

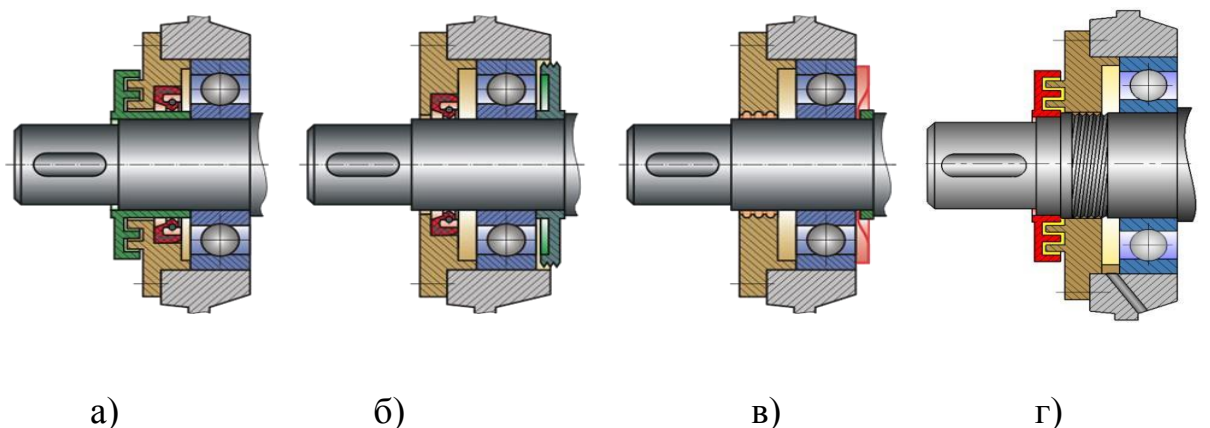


Рис. 1.10 – Комбіновані ущільнення підшипникових вузлів: а) манжетне з лабіринтовим; б) манжетне з мастильно-утримуючим кільцем; в) щілинне з масловідбивною шайбою; г) гвинтове з лабіринтовим

При виборі ущільнень необхідно враховувати, що безконтактні ущільнення здатні працювати в незабруднених умовах при високих швидкостях і їх застосування практично виключає зношування деталей, але вони вимогливі до точності виготовлення й монтажу, конструюються й виготовляються для конкретного вузла й тому, як правило, коштують дорожче.

Контактні ущільнення, що забезпечують кращу герметичність при різних режимах роботи, одержали найбільше поширення в з'єднаннях «вал-ущільнення».

Для герметизації підшипникових вузлів сільськогосподарської техніки в основному (до 80 %) застосовують гумові армовані манжети, виготовлені за ДСТ 8752-79 (рис. 1.11, 1.12) [11]. Манжети можуть працювати в мінеральному маслі, воді, дизельному паливі при надлишковому тиску (до 0,05 МПа), швидкості до 20 м/с і температурі від $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+170\text{ }^{\circ}\text{C}$. Перевагами гумових армованих манжет є їх низька вартість, простота установки й заміни. Згідно з технічними умовами, ці манжети виготовляють двох типів: однокромкові (тип 1) і однокромкові з пильовиком (тип 2) (рис. 1.12 б) [12].

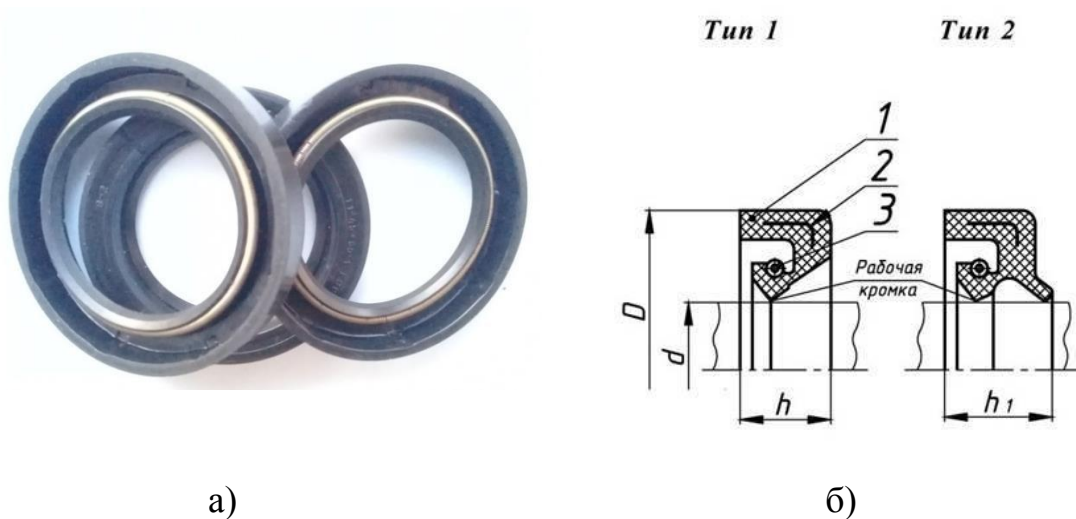


Рис. 1.11 – Манжети гумові армовані:

а) загальний вид; б) конструкція манжет гумових армованих:

1 – гума; 2 – каркас; 3 – пружина

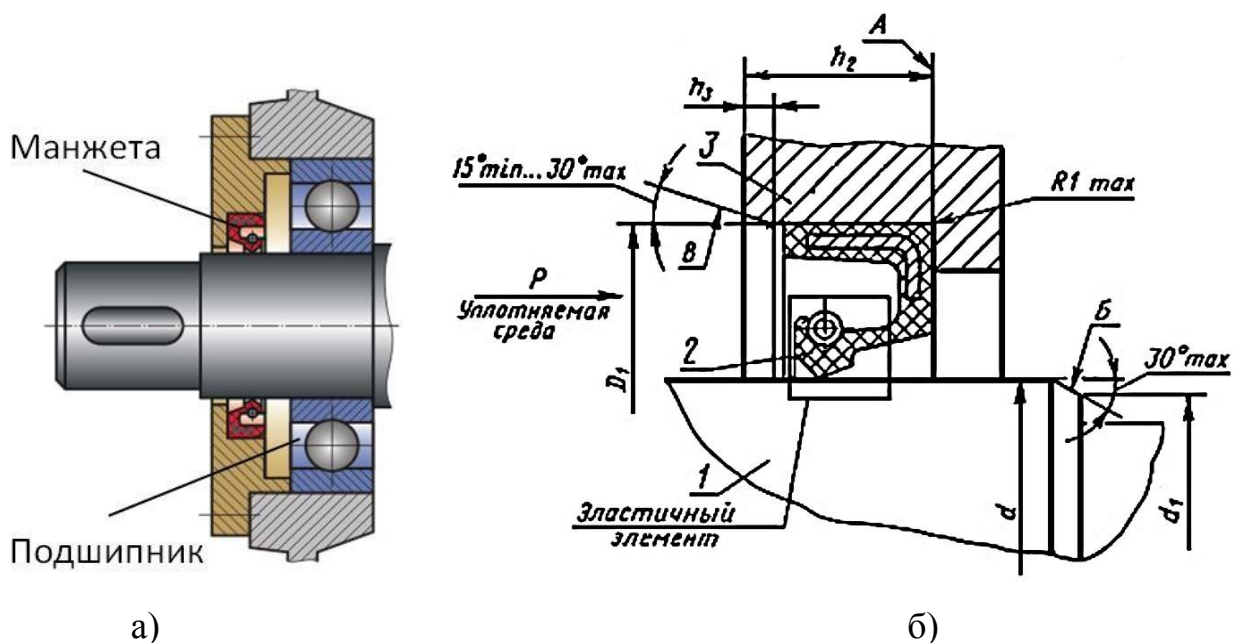


Рис. 1.12 – Загальний вид (а) і схема установки манжет (б):

1 – вал; 2 – манжета; 3 – корпус

Згідно з технічними вимогами, робоча крайка й робоча поверхня манжет повинні бути гладкими, що не мають дефектів на відстані до 2 мм від кромки – для валів діаметром до 19 мм; для валів діаметром 20...52 мм – до 2,5 мм; для валів діаметром від 55 мм і вище – до 3 мм. На робочих поверхнях не допускаються вириви, тріщини, розшарування, задирки, включення, а також піднесення й поглиблення, що перевищують по висоті відповідно 0,1 і 0,3 мм [12].

Застосування манжет типу 1 в енергонасичених тракторах становить 68%, типу 2 – 23% і 9% – із двома робочими крайками. Близько 95% сполучених з манжетами деталей виготовляють зі середньовуглецевих і легованих сталей 45, 40Х, 18ХГТ, 38ХГС. У середньому 70% манжет працюють у рідкому середовищі, що ущільнюється, а 30% у консистентному змащенні.

При запиленні й забрудненні зовнішнього середовища перед манжетою встановлюють додаткові захисні пристрої. Для захисту вала від зношування на нього рекомендується встановлювати втулку (рис. 1.13) при забезпеченні гарантованої герметичності по посадці «вал-втулка» [12].

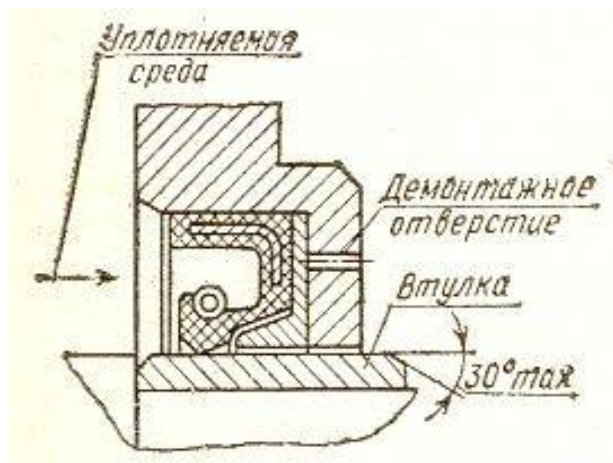
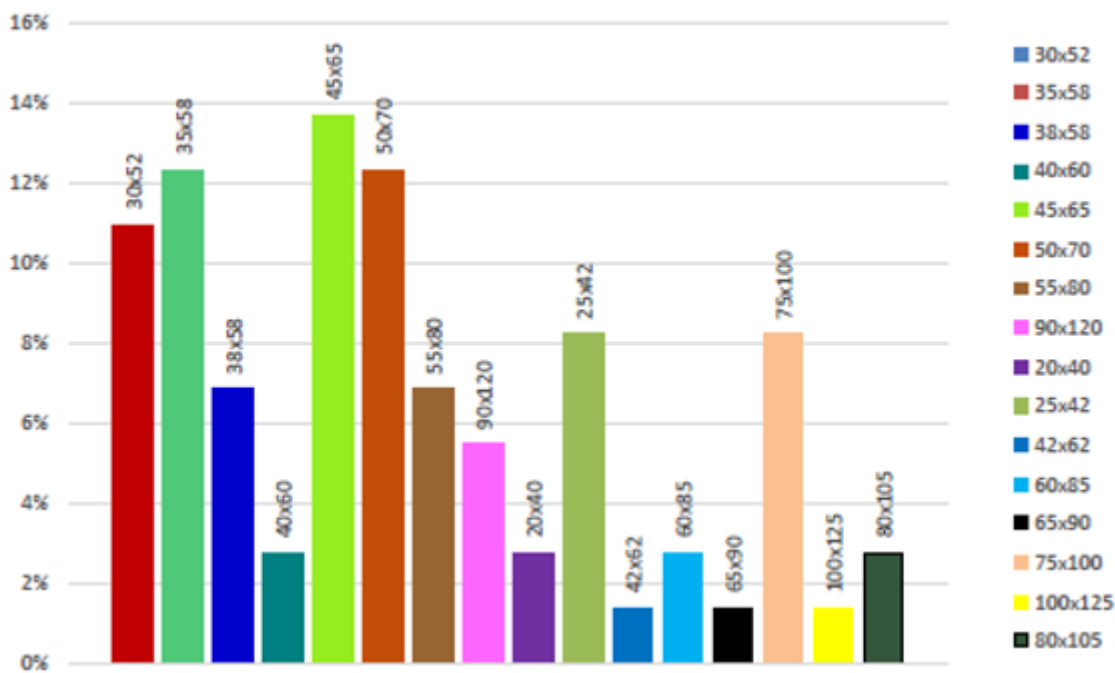


Рис. 1.13 – Установка манжеты из втулкойо

Застосування з'єднань «вал-ущільнення» у сільському господарстві, які експлуатуються в найбільш складних умовах, розглянемо на прикладі картоплезбиральної техніки.

Конструктивний аналіз агрегату трактора МТЗ-82 і картоплезбирального комбайна [11, 13] показав, що найпоширеніший типорозмір манжет 1.1-45x65-1 за ДСТ 8752-79. На гістограмі застосування манжет по розмірних групах зазначений типорозмір становить майже 14% (рис. 1.14).



Розмірна група

Рис. 1.14 – Гістограма застосування манжет по розмірних групах

Розподіл за матеріалами валів в ущільнювальних вузлах зображено на гістограмі (рис. 1.15).

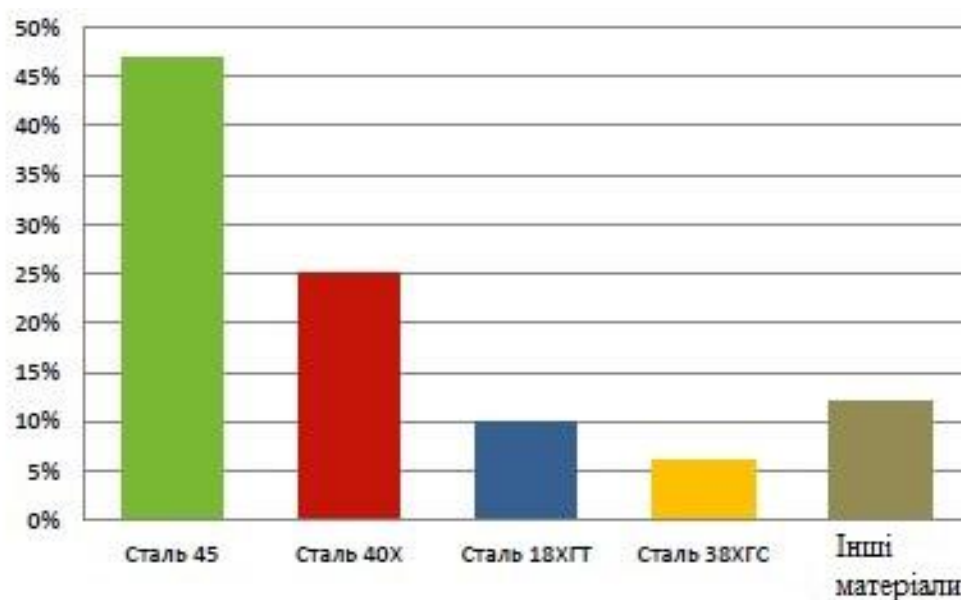


Рис. 1.15 – Матеріали, що використовуються для виготовлення валів сільськогосподарської техніки

Найпоширенішими є вали зі сталі 45 і ущільнення з гуми на основі бутадієннитрильного каучуку розміром 45x65. У зв'язку з цим усі подальші дослідження в роботі проводилися для трибоз'єднання цієї групи.

1.3. Дефекти, що зустрічаються в з'єднаннях «вал-манжета», причини їх виникнення

Аналіз витрати запасних частин сільськогосподарської техніки, проведений по Дніпропетровській області, показав, що фактична кількість реалізованих ущільнень в 2-7 разів вище нормативного.

Манжетні ущільнення залежно від умов працюють протягом 3-5 років при наробітку 500-30000 год. Згідно, працездатність манжет зберігається протягом 1,5-2 років. У процесі експлуатації манжети втрачають свою працездатність. Спочатку, у режимі сухого й напіврідинного тертя, відбувається приробіток вала й гуми [14], який позитивно впливає на герметичність з'єднання. Однак зміна фізико-механічних і ущільнюючих властивостей гуми внаслідок старіння й одночасного зношування робочої кромки ущільнення й вала ведуть до втрати герметичності з'єднання. Підвищення температури в зоні тертя тільки прискорює ці процеси.

Проведений аналіз показує, що основними причинами низької надійності ущільнювальних вузлів є:

- недостатнє їх конструктивне пророблення;
- низька якість комплектуючих, невідповідність їх вимогам конструкторської документації, у тому числі за матеріалами, геометричним параметрам і шорсткості;
- недотримання технічних вимог при складанні й ремонті;
- низька кваліфікація персоналу.

Для забезпечення нормальної роботи ущільнювального пристрою потрібна висока якість обробки поверхні вала в зоні контакту з манжетою й точність складання вузла. Необхідна шорсткість вала при його швидкості v до 5

м/с $Ra = 0,32 \dots 0,63$ мкм, а при $v \geq 5$ м/с $Ra = 0,16 \dots 0,32$ мкм [12]. Аналіз шорсткості поверхонь валів під манжету показав, що в більшості випадків вона не відповідає пропонованим вимогам. Часто при проектуванні технологічного процесу обробки на сусідні ділянки призначають ті самі режими, задаючи однаковий показник шорсткості під манжети й під підшипники кочення – $Ra = 2,5 \dots 0,63$ мкм, а частіше $Ra = 1,25$ мкм (рис. 1.16). Невідповідність шорсткості викликає підвищене зношування манжети [11].



Рис. 1.16 – Неякісна обробка поверхні вала під манжету

Необхідна твердість поверхні вала під ущільнення не менш HRC 30...50 [12], що також не дотримується в 30...70% аналізованих валів.

Порушення технічних вимог при виготовленні, монтажі й обслуговуванні ущільнювальних пристроїв приводить до порушення їх функціональності. Збільшення посадкового розміру під зовнішній діаметр манжети сприяє витокам у цьому з'єднанні, повертанню й зсуву манжет. Зменшення цього розміру призводить до надмірних зусиль при запресовуванні ущільнень, порушенню цілісності зовнішньої поверхні манжет (рис. 1.17), до їх деформації (рис. 1.18) або неправильній установці манжети (рис. 1.19). Якщо манжета не встає на своє посадкове місце (рис. 1.20), її робоча крайка контактує з непризначеною для цього поверхнею й порушується співвісність манжети з

валом. Перекіс призводить до збільшення витoku змащення з вузла, що ущільнюється, і проникненню в зону контакту абразивних часток (рис. 1.21).



Рис. 1.17 – Порушення цілісності зовнішньої поверхні манжет



Рис. 1.18 – Деформація манжети



Рис. 1.19 – Неправильна установка манжети

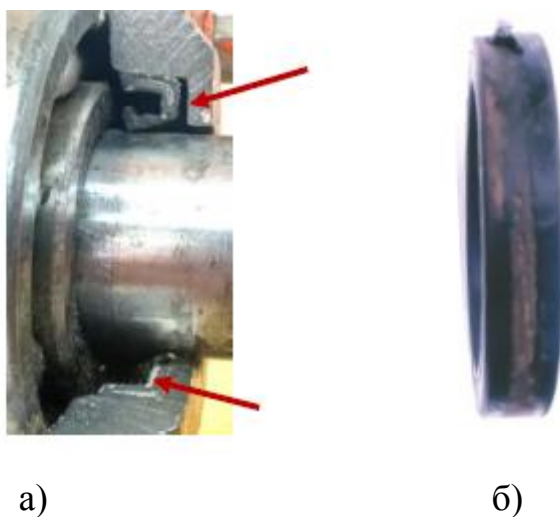


Рис. 1.20 – Перекіс манжети: а) загальний вид вузла; б) сліди перекосу

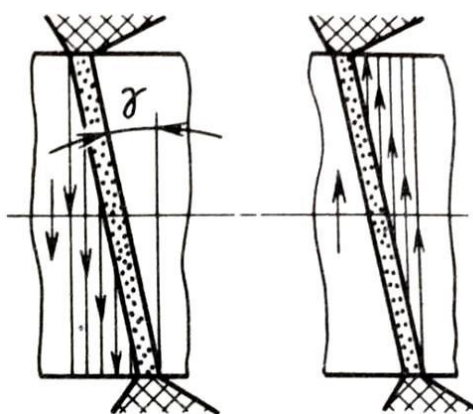


Рис. 1.21 – Схема виносу змащення й затягування сторонніх речовин при перекосі манжети

Порушення форми браслетних пружин (рис. 1.22) призводить до нерівномірного притиснення й розподілу тиску в зоні контакту робочої кромки з валом. Як наслідок – різне зношування по периметру в зоні тертя (рис. 1.23).



Рис. 1.22 – Порушення форми браслетних пружин



Рис. 1.23 – Нерівномірність зношування

До виходу манжет з ладу призводить також неправильне проведення мастильної операції. При нагнітанні в підшипниковий вузол пластичного змащення через прес-маслянку (до появи її в зазорі між валом і ущільненням) (рис. 1.24) тиск змащення на губу манжети збільшує силу притиснення її до вала, підвищуючи тертя. Іноді відбувається вивертання манжет під натиском змащення, скидання пружинного кільця й втрата герметизуючих функцій. Щоб уникнути перерахованих несправностей, не рекомендується використовувати тавотниці у вузлах з манжетами, а закладати в них змащення при складанні, термін служби якої буде відповідати ресурсу агрегату або міжремонтному інтервалу.



Рис. 1.24 – Втрата функціональних властивостей ущільнення

Іноді при монтажі відбувається ушкодження робочої кромки манжети (рис. 1.25).



Рис. 1.25 – Ушкодження робочої кромки при монтажі манжети

При ремонті підшипникових вузлів заміні підлягають 100% манжет [15]. Найчастіше причинами втрати працездатності манжет є наступні: зношування поверхні по внутрішньому діаметру (87%); розтріскування кромки в результаті старіння й втомного мікроруйнування (14%); злипання манжети з валом і наступне її руйнування (9%). Вибракування манжет при ремонті відбувається також внаслідок злипання, старіння й ушкодження поверхні по зовнішньому діаметру манжети (35%) у результаті взаємодії з поверхнею, що ущільнюється середовищем й поверхнею кришки [6].

Оцінка технічного стану редукторів сільськогосподарських машин і їх з'єднань показує, що деталлю, яка найбільш зношується в з'єднанні є манжета

(таблиця 1.3) [6], максимальне зношування якої по внутрішньому діаметру становить 2,3 мм.

Через неспіввісність і радіальне биття вала манжети зношуються не симетрично. Коефіцієнт нерівномірності зношення по внутрішньому діаметру $\beta = 1,5$.

У валів через недостатню твердість поверхні в місцях контакту з ущільненнями відбувається передчасне зношування. З них 27% входять у поле допуску виготовлення, а 73% вимагають відновлення (таблиця 1.3).

Зношення призводить до перевищення припустимого (граничного) зазору в з'єднанні «вал-ущільнення» і, як наслідок, перевищенню витоків, що допускаються, і необхідності ремонту підшипникового вузла.

Таблиця 1.3 – Показники розсіювання розмірів зношених деталей з'єднання «вал-манжета»

Параметр	Діаметр зношених валів, d мм	Діаметр зношених манжет, D мм
Середнє значення, X	44,863	43,68
Середнє квадратичне відхилення, σ	0,062	0,623
Обсяг вибірки, n	50	50
Коефіцієнт варіації, v	0,45	0,53
Закон розподілу й імовірність згоди, %	ЗНР 55	ЗРВ 40
Кількість придатних деталей, %	27	23
Довірчі границі поля розсіювання при $\alpha = 0,1$, мм	44,761-44,964	42,8-44,79
Максимальне зношення, мм	0,25	2,3
Середнє зношення, мм	0,09	1,18

Залежність витоків від зношування вказує, що для збільшення ресурсу ущільнювальних пристроїв необхідно зменшити зношування в з'єднанні «вал-манжета» або знайти спосіб відновлення герметичності під час експлуатації.

1.4. Аналіз робіт з удосконалювання ущільнювальних пристроїв підшипникових вузлів

Науково-дослідні й технологічні роботи з підвищення надійності манжетних ущільнювальних пристроїв проводяться по наступних напрямках:

1. Удосконалення конструкцій ущільнювальних вузлів з метою підвищення їх працездатності, у тому числі підвищення точності виготовлення деталей та складання з'єднання.
2. Дослідження процесів, що відбуваються в трибоз'єднаннях, спрямовані на поліпшення експлуатаційних властивостей матеріалів, які застосовуються та їх поверхонь.

Таблиця 1.4 – Сучасні способи поверхневого зміцнення сталевих валів (втулок)

Метод зміцнення	Мікротвердість поверхні, МПа	Вплив на розмір деталі
Азотування	11000...12000	Збільшується на 4,6%
Борування	18000...23000	Збільшується
Гальванічне хромування	До 13000	Збільшується
Електроконтактне зміцнення	До 31700	Збільшується
Газотермічне нанесення покриттів	До 30000	Збільшується
Плазмове легування	8000...20000	Можливі деформації
Дифузійне легування	До 32000	Збільшується
Лазерне легування	До 21000	Не змінюється

Лазерне легування + азотування	10000...21000	Залежить від режимів азотування
Електроіскрове легування	6000...32000	Не змінюється
Cvd-Метод	До 32000	Збільшується

Підвищення ресурсу трибоз'єднання «вал-манжета» вимагає збільшення зносостійкості як вала, так і ущільнення.

У роботах деяких учених наведена можливість застосування ФАБО як модифікаторів поліфункціональної дії для гум ущільнювачів [16].

Встановлено, що фторорганічні з'єднання виступають у якості міжструктурних пластифікаторів гумових сумішей на основі бутадієннітрильного каучуку, знижуючи в'язкість і полегшуючи процеси їх переробки, одночасно поліпшуючи пружнорелаксаційні, динамічні й антифрикційні властивості гум, оптимальною кількістю, що вводяться ФАБО є 0,5...1,0 мас. ч.

У результаті аналізу літературних джерел встановлено, що одним з найбільш простих і ефективних способів поліпшення властивостей манжетних ущільнень є їхнє поверхневе або об'ємне модифікування фторорганічними з'єднаннями.

1.5. Висновки, мета та завдання дослідження

Аналіз стану парку сільськогосподарської техніки, умов роботи, причин відмов з'єднань «вал–манжета» і наукових розробок по вдосконаленню ущільнюючих пристроїв підшипникових вузлів дозволили сформулювати наступні висновки:

1. Однією з причин низької надійності вітчизняної сільськогосподарської техніки, що працює в тяжких умовах, пов'язаних з високим запиленням, є передчасна відмова ущільнювальних пристроїв. Так,

близько 90% випадків аварійних руйнувань підшипників викликане незадовільною роботою ущільнень.

2. Близько 80% ущільнювальних пристроїв валів становлять гумові армовані манжети (ГАМ). Їх довговічність не відповідає технічним вимогам і терміну служби агрегату. За період експлуатації сільськогосподарських машин фактична витрата ущільнень в 2 - 3 рази перевищує нормативний. Порушення герметичності з'єднань «вал-манжета» знижує надійність експлуатації машин, збільшує витрати при ремонті, підвищує витрати мастильних матеріалів, погіршує екологію.

3. Крім тяжких умов експлуатації, підвищене зношення й втрату ущільнюючого ефекту з'єднання можуть викликати недотримання технологій при виготовленні та складанні, а також недостатня зносостійкість гуми манжети.

4. Шляхи підвищення працездатності ущільнюючих пристроїв потрібно шукати в напрямку зниження зношення в з'єднанні, забезпечення оптимального притискання робочої кромки манжети до вала, застосування способів підвищення зносостійкості гуми й поліпшення антифрикційних властивостей пари тертя.

5. Проведений аналіз дозволяє припускати, що підвищенню надійності роботи з'єднання «вал-манжета» буде сприяти модифікуванню гуми фторорганічними з'єднаннями. Дотепер використання зазначених підходів для підвищення працездатності ущільнюючих пристроїв підшипникових вузлів сільськогосподарської техніки не встановлене.

Аналіз стану проблеми є основою для формулювання цілей і завдань дослідження.

Метою роботи є підвищення працездатності еластомірних ущільнювальних пристроїв підшипникових вузлів сільськогосподарської техніки задля підтримки надійності машин на високому рівні, зменшення простоїв через несправність і ремонт, а також зниження витрат на технічне обслуговування.

Для виконання мети роботи визначені наступні завдання:

1. Провести аналіз ущільнюючих пристроїв валів сільськогосподарської техніки, виявити характер і причини дефектів у з'єднанні «вал-манжета»;
2. Провести аналіз існуючих методів підвищення працездатності ущільнюючих пристроїв;
3. Визначити спосіб модифікування манжет, що підвищує працездатність ущільнюючих пристроїв підшипникових вузлів сільськогосподарської техніки за рахунок зміни фізико-механічних і антифрикційних властивостей гум;
4. Оцінити вплив фторорганічних добавок на фізико-механічні властивості гум і триботехнічні характеристики модифікованих ущільнень;
5. Удосконалити методикау визначення найменшого функціонального натягу в з'єднанні «вал-манжета»;
6. Розробити спосіб безрозбірного відновлення герметичності ущільнюючих пристроїв;
7. Оцінити техніко-економічну ефективність результатів досліджень.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК УЩІЛЬНЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ І ВИМОГ ДО НИХ

2.1. Основні фактори, що впливають на герметичність з'єднання «вал-манжета» підшипникових вузлів сільськогосподарських машин

Однією з причин порушення герметичності, є перекус манжети щодо вала. Витік від перекосу відбувається через різницю в товщині шарів змащення на виході δ_1 і вході δ_2 .

Визначаються витіки від перекосу по наступній залежності

$$Q = \frac{1}{2} v (\delta_1 - \delta_2) D t q \gamma, \quad (2.1)$$

де γ – кут перекосу.

З усуненням перекосу витіки припиняються. Шляхом зміни властивостей матеріалів або характеристик поверхонь вала й ущільнення можна зменшити обсяг змащення, що виноситься. Так, у роботах [17] відзначається, що обробка деталей епіламом (ПАВ) на основі фторорганічних з'єднань сприяє відводу з таких поверхонь змащення. Можна припустити, що оброблені або модифіковані фторорганічними з'єднаннями поверхні здатні зменшити кількість змащення, що виноситься, зменшуючи тим самим витік.

Перекус сприяє до того ж затягуванню забруднень поверхнею вала під крайку манжети. Влучення абразиву в зону контакту веде безпосередньо до розкриття стику й короткочасному збільшенню витоків, які віддаляються разом із забрудненнями із зони контакту.

Мікротвердість абразивних часток вище, чим матеріалів у з'єднанні (див. таблицю 1.2), їхня присутність на поверхнях тертя веде до збільшення

шорсткості поверхні й підвищеному зношенню деталей і, як наслідок, зниженню ресурсу агрегату.

При ремонті техніки, що працює в запилених умовах, з метою зменшення абразивного зношення рекомендується наступне: манжети типу 1 міняти на манжети типу 2, при їхній установці в порожнину між пильовиком і робочою крайкою манжети закладати пластичне змащення, а для збільшення зносостійкості валів проводити поверхнєве зміцнення, що забезпечує високу мікротвердість.

Відхилення форми й шорсткості поверхні також негативно впливають на герметичність з'єднання. Фактична площа контакту, як правило, менше дійсної площі поверхні робочої кромки, що накривається, ущільнення. Між вершинами нерівностей, по яких відбувається контакт поверхонь, утворюються мікроканали, які не завжди перекриваються поверхнею еластомірного ущільнення. Для забезпечення герметичності при тиску середовища до 0,05 МПа необхідно, щоб з'єднання працювало при відносній площі контакту 0,85...0,95, а співвідношення між контактним тиском і модулем пружності еластоміра було 0,05...0,15 [18].

Залежно від виду обробки на поверхні утворюються кільцеві або гвинтові мікроканавки, гострі або закруглені вершини виступів нерівностей. Способи обробки з поздовжньою подачею приводять до утвору гвинтових канавок, які женуть змащення при обертанні вала уздовж його осі, тому такі способи не варто застосовувати при реверсивному обертанні валів, а для валів з однобічним рухом на кресленнях указують напрямок подачі інструмента. Рекомендується обробляти вали в місцях контакту з манжетами, забезпечуючи $Ra = 0,32...0,63$ мкм (для швидкості обертання вала менше 5 м/с) і $Ra = 0,16...0,32$ мкм (при $v > 5$ м/с) [12]. При більших значеннях шорсткості виточки різко збільшуються.

Пружні властивості еластоміра не завжди здатні компенсувати всі нерівності поверхонь у з'єднанні. При обертанні вала нерівності поверхні й радіальне биття приводять до мікропереміщень ділянок еластичної кромки

манжети. Елементи кромки під впливом тиску поверхні вала й сили тертя то зміщаються від центру й по ходу руху вала, то відновлюють своє положення за рахунок пружних сил. При збільшенні частоти обертання вала поверхневий шар гуми не встигає копіювати поверхню вала, відбувається релаксаційне запізнювання. Збільшення швидкості й биття вала вище гранично припустимих значень веде до росту сил інерції й відриву кромки манжети від поверхні вала, відбувається динамічне розкриття стику з'єднання й поява витоків [12, 19]. Динамічне розкриття-закриття зазору (стику) працює як насос, що засмоктує з агрегату змащення, а зовні пил і вологу.

Вплив нерівностей поверхні можна зменшити за рахунок технології обробки, а вплив радіального биття – зменшенням допусків форми деталей підшипникового вузла й призначенням натягу в з'єднанні «вал-манжета». Від виду й величини шорсткості багато в чому залежить зношування еластомера. При ковзанні твердої поверхні по еластомеру залежно від виду нерівностей і наявності змащення спостерігаються абразивне, втомливе зношування або утворення роликів. Абразивне зношування відбувається в тому випадку, якщо виступи на поверхні твердого тіла мають гострий профіль, що викликає раздир і вириви з поверхні еластомера.

Багаторазова деформація на притуплених нерівностях третьових поверхонь приводить до типових явищ втоми і старіння [20, 21, 22] і втомливого зношування. Втомливого зношуванню сприяє низький коефіцієнт тертя. Втомливе зношування найчастіше спостерігається при терті зі змащенням. На гладких поверхнях з більшим коефіцієнтом тертя нерівності еластомера звичайно звиваються в скатку (у ролики), яка надалі відривається. Менш інтенсивним є втомливе зношування. Тому в ущільнювальних вузлах намагаються уникати абразивного зношування й утворення роликів.

Аналіз літературних джерел показав, що при дотриманні вимог до виготовлення й монтажу деталей ущільнювальних вузлів більшу роль у забезпеченні їх працездатності відіграють питоме контактне зусилля \bar{F} і

контактний тиск p_k на робочій крайці. При їх оптимальних значеннях манжети мають високу герметичність і мале тертя [13].

Очевидно, оптимальними можна вважати ущільнення, у яких з підвищенням тиску внутрішнього середовища p автоматично підвищується контактний тиск p_k .

2.2. Аналіз способів зниження сили та коефіцієнту тертя в з'єднанні

Одним із факторів, що знижують працездатність манжетних ущільнень і прискорюють їх зношення, є тертя, яке викликає додаткова витрата енергії з тепловиділенням. Для обертювх валів різних діаметрів сумарна сила тертя визначається за формулою

$$F_{тр} = fp_k \pi Da, \quad (2.2)$$

де a – ширина робочої поверхні контакту, мм;

p_k – контактний тиск на поверхню, Н/мм²;

f – коефіцієнт тертя, що залежить від режиму тертя.

У загальному випадку сила тертя є функцією контактного тиску p_k , швидкості ковзання v , температури T , модуля пружності E , часу контакту t , шорсткості поверхні й інших параметрів. Залежно від наявності змащення й комбінації перерахованих параметрів можливі наступні режими тертя: рідинний, напіврідинний, граничний, сухий.

При зміні перерахованих вище параметрів відбувається перехід від одного механізму тертя до іншого і зміна коефіцієнта й сили тертя. Умовою переходу є наявність мастильної плівки й відношення її товщини до висоти нерівностей поверхні.

Так як взаємодія манжети з валом неоднорідна, існує контакт поверхонь, контакт граничних плівок і порожнеч на сусідніх ділянках, одночасно можуть

спостерігатися різні режими тертя (рис. 2.5) [19]. При цьому сила й коефіцієнт тертя будуть залежати від співвідношення видів тертя в з'єднанні.

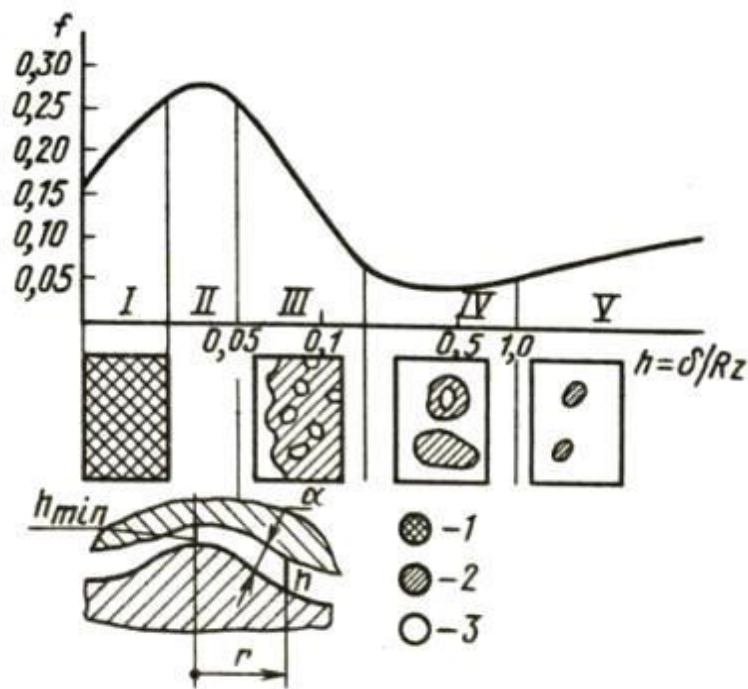


Рис. 2.1 – Залежність коефіцієнта тертя ковзання еластомірних ущільнювачів від режиму тертя: 1 – зона контакту поверхонь; 2 – контакт граничних плівок; 3 – рідина; I – зона сухого тертя; II – зона граничного тертя; III – зона напіврідинного тертя; IV, V – зона рідинного тертя

Визначивши силу F_{TP} , можна знайти коефіцієнт тертя f :

$$f = \frac{F_{TP}}{\pi D p_{\kappa}} , \quad (2.3)$$

У деяких випадках f зручніше обчислити через питомі сили:

$$\bar{F}_{TP} = F_{TP} / \pi D \text{ та } F = F / \pi D \text{ Н/мм} \quad (2.4)$$

де F – зусилля притиснення, Н ($F = p_{\kappa} \pi D a$).

Момент тертя визначаємо по формулі

$$M_{mp} = 0,5f\bar{F}\pi D^2, \text{ Нм} \quad (2.5)$$

Поширена думка, згідно з яким силу тертя виражають двома складовими [23]:

$$F_{тр} = F_a + F_d, \quad (2.6)$$

де F_a – адгезійна складова сили тертя; F_d – деформаційна (для еластомерів гістерезисна) складова сили тертя, пов'язана, зокрема, із впровадженням нерівностей поверхні в контртіло.

У роботах [23, 20, 21, 22, 24] відображено вплив температури й швидкості ковзання на гістерезисну й адгезійну складові сили тертя гум і встановлено, що обидві складові змінюються аналогічно зміні в'язкопружних властивостей гум.

У еластомера навіть при однакових умовах швидкості утворення зв'язків різний внаслідок різної рухливості ланцюгів. Зі збільшенням часу нерухливого контакту фактична площа й кількість зв'язків, а отже, коефіцієнт і сила тертя в початковий момент руху повинні збільшуватися (рис. 2.2). Деформація полімеру буде відбуватися в основному спочатку, при нерухливому контакті, також на цьому етапі буде інтенсивний приріст утворення зв'язків, відповідно ріст сили тертя зрушення інтенсивніше повинен відбуватися в початковий період.

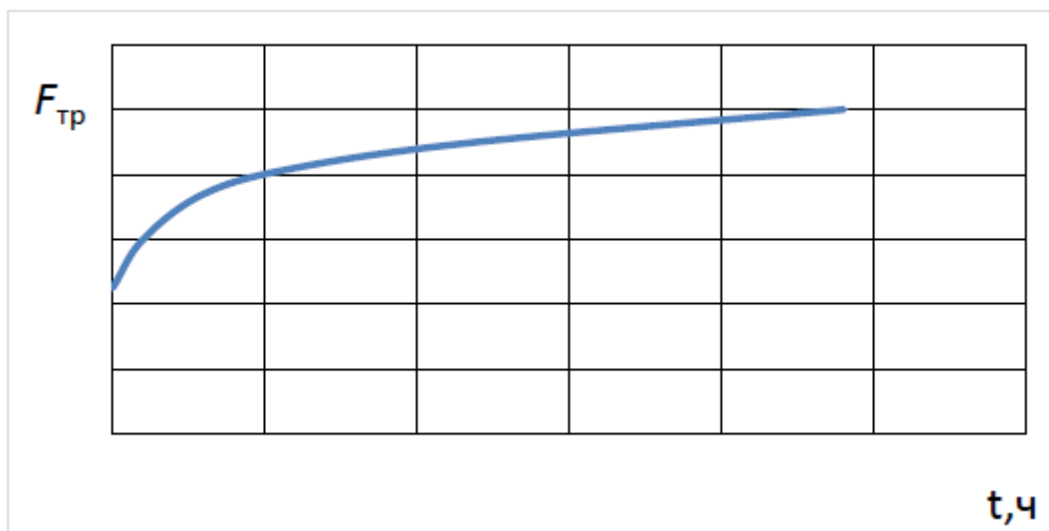


Рис. 2.2 – Залежність сили початкового тертя від тривалості нерухливого контакту

Після тривалих зупинок початок руху контактуючих поверхонь проходить без змащення. Перед зсувом поверхонь відбувається розтягання еластомера до виникнення в ньому зусилля, необхідного для забезпечення зрушення тіл. Величина цього зусилля залежить від адгезії поверхонь і опору деформаціям. На рис. 2.3 показана передбачувана (теоретична) залежність сили тертя в момент пуску. На початку руху з розтяганням еластомера збільшується опір зсуву до величини F_c , досягаючи подовження ΔL , при якому деякі зв'язки починають руйнуватися. Так як довжина ланцюгів полімеру різна, для руйнування інших зв'язків необхідно подальший зсув і збільшення сили, що зрушує, до максимальної F_{fm} .

Сила тертя в цей момент доходить до максимуму. Якщо сила тертя менше сил когезії, то із продовженням руху відбувається розрив усіх первинних зв'язків. При русі адгезійна складова залежить від співвідношення швидкості взаємного переміщення й швидкості утвору зв'язків. Усі фактори, що впливають на тертя, врахувати теоретично дуже складно, при цьому зміна одного параметру може привести до зміни інших.

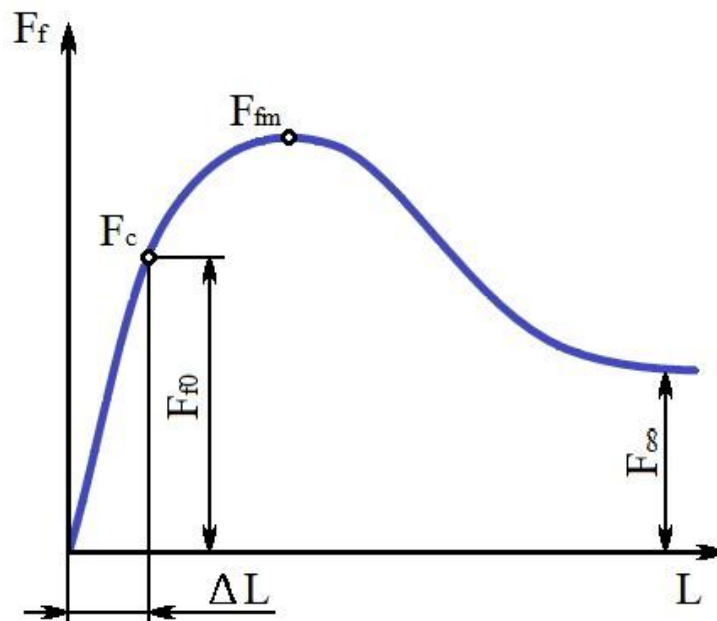


Рис. 2.3 – Зміна сили опору в момент початку руху
(швидкість ковзання вище швидкості утвору адгезійних зв'язків)

Якщо сили тертя (адгезії) перевищать сили когезії, відбудеться відрив часток еластомера від ГТВ й наволакування його на вал, тобто руйнування еластомера й втрата герметичності.

При експлуатації техніки в сільськогосподарських умовах відбувається намотування рослинності на вали, забруднення корпусних і інших деталей, що веде до погіршення тепловідводу із зони тертя й перегріву ущільнювальних вузлів. Якщо після перегріву відбувається зупинка, то стікання цих факторів може привести до залипання в з'єднанні й руйнування манжети при наступному пуску. Крім очищення від забруднень для запобігання наволакування й залипання (розриву матеріалу ущільнення) необхідно зменшувати силу тертя за рахунок зниження рухливості й (або) адгезії ланцюгів, або введення до складу гуми інгредієнта, який на кордоні поділу буде здійснювати роль змащення (при його відсутності).

При роботі без змащення (ділянка I кривої, рис 2.1) коефіцієнт тертя залежить від властивостей матеріалів ущільнення й вала, контактного тиску p_k , температури вузла T , швидкості ковзання v і шорсткості [25]:

$$f_c = \frac{A_1}{p_k} \left(1 - \frac{BT}{\ln v}\right) \left(1 - e^{-\frac{\beta p_k}{E}}\right) \quad (2.7)$$

де A_1 і B – комплекси фізико-хімічних параметрів, що враховують матеріал контртіла, полярність гуми й густоту просторової сітки;

β – коефіцієнт, що залежить від шорсткості поверхні (для гум на основі СКН $\beta = 1,24$).

Під час експлуатації в з'єднаннях «вал-манжета» переважно спостерігаються граничний і напіврідинний режими змащення. Перший є присутнім при низьких швидкостях і високих тисках робочого середовища [139] (ділянки II-III, рис. 2.1). У цих умовах сила тертя залежить від складу поверхнево-активних компонентів робочої рідини, матеріалу й профілю поверхні вала й еластомера. При наявності змащення найбільше часто в з'єднаннях виникає напіврідинне тертя (ділянки III-IV, рис. 2.1).

Механізм граничного змащення розглянутий у роботах А.С. Ахматова та ін. Отримане наступне рівняння для коефіцієнта тертя [25]:

$$f_{\Gamma} = A_{\Gamma} p - A_{\Gamma} p^{-2/3} v^{-0,4} \mu^{-1/6}, \quad (2.8)$$

де A_{Γ} – коефіцієнт, що залежить від матеріалу контртіла й состава поверхневоактивних компонентів робочої рідини, шорсткості поверхні, матеріалу гуми.

При розкритті стику спостерігається рідинний режим змащення й коефіцієнт тертя визначається за виразом [25]

$$f_{\text{ж}} = \mu v p_k \delta. \quad (2.9)$$

Сила тертя на початку руху [23] залежить від часу t нерухливого контакту

$$F_{f0} = F_{fmax} \left(1 - e^{-\frac{t_1}{\tau_1}}\right) + F_x \left(1 - e^{-\frac{t_2}{\tau_2}}\right) \quad (2.10)$$

де F_{fmax} – максимальна сила тертя;

τ – постійна часу процесу дифузії масла (порядку декількох годин);

τ – постійна часу процесу хемосорбції (порядку декількох місяців);

F_x – зусилля зрушення, що залежить від хемосорбції.

На завершення слід зазначити, що, незважаючи на успіхи в області фізики тертя полімерів, у цей час поки ще неможливо точно розрахувати силу тертя [11]. Облік усіх факторів приводить до дуже складних математичних моделей, які пояснюють процес тільки для певних матеріалів і умов. При зміні декількох параметрів ці моделі стають неточними. Більше того, автори математичних моделей рекомендують перевіряти їх експериментально.

Очевидно, що одним зі способів зменшення тертя й особливо тертя спокою, є зниження адгезії між контактуючими поверхнями введенням до складу гуми антифрикційних добавок. Як відзначалося вище, дослідження показали, що додавання до складу гуми фторорганічних з'єднань (ФЗ) у кількості 0,5-2,0 % призводить до зменшення адгезії гуми й поліпшення її фізико-механічних властивостей.

2.3. Висновок

Доцільно припустити, що модифікування фторорганічними з'єднаннями ГТВ ущільнюючих пристроїв підшипникових вузлів сільськогосподарських машин призведе до зменшення адгезії гуми до вала, залипання при простоях і ушкодження манжет, пов'язаних з відривом і переносом на вал поверхневого шару гуми в момент початку руху, також підвищенню антифрикційних і антизношувальних властивостей під час експлуатації, а можливо й антикорозійному ефекту. Гумову суміш для манжетних ущільнень можна модифікувати фторорганічними з'єднаннями, що володіють низкою

поверхневою енергією й здатними додати полімерним виробам гідрофобність, хімічну стійкість, низький коефіцієнт тертя та ін.

Здійснивши аналіз досліджень в області зменшення адгезії за рахунок модифікування гум, пропонуємо увести до складу гумової суміші ФЗ у кількості 1 мас. ч. на 100 мас. ч. каучуку, вибравши для цього два фторорганічні з'єднання.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Планування експериментальних досліджень

Для збільшення працездатності ущільнюючих пристроїв необхідно визначити вплив модифікування, яке застосовується в ущільненнях гуми й проаналізувати вплив конструктивних параметрів ущільнюючих пристроїв підшипникових вузлів на працездатність з'єднання «вал-манжета».

Згідно з завданнями, поставленими в роботі, розроблений план проведення експериментальних досліджень, який включає наступні пункти:

- 1) лабораторні випробування манжет, модифікованих фторорганічними з'єднаннями, з метою визначення впливу добавок на фізико-механічні властивості гум;
- 2) визначення параметрів ущільнень, що впливають на питоме контактне навантаження й натяг у з'єднанні «вал-манжета»;
- 3) визначення впливу ФЗ у складі присадки до масла на герметичність ущільнювальних вузлів при безрозбірному відновленні;
- 4) прискорені й тривалі стендові випробування ущільнень.

3.2. Методика виготовлення модифікованих манжет

Виходячи з поставленого завдання й теоретичних досліджень, виготовлено три партії манжет на базі ТОВ «Монодит» м. Дніпро (у кожній по 10 зразків). Одна – із серійної гумової суміші ИРП10-68, а дві – із цієї ж суміші, модифікованої фторорганічними з'єднаннями (ФЗ), одна партія – спирт-тіломіром (СТ), інша – фторпарафіном (ФП), у кількості однієї мас. ч. на 100 мас. ч. каучуку (рис. 3.1, таблиця 3.1). Разом з манжетами були виготовлені зразки для випробувань гуми.

Основні властивості фторорганічних з'єднань, прийнятих у якості модифікаторів, представлено в таблиці 3.1.

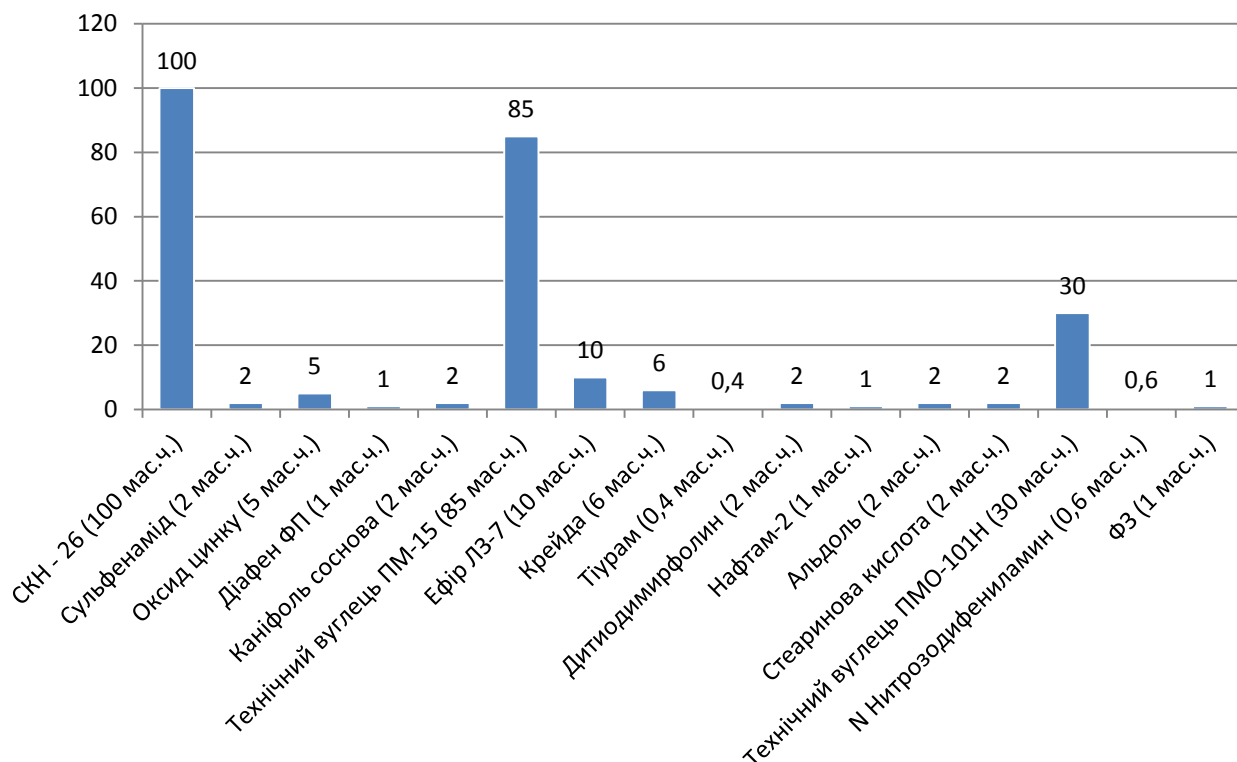


Рис 3.1 – Склад гуми

Таблиця 3.1 – Основні властивості досліджених фторорганічних з'єднань

Позначення	Зовнішній вигляд	Середня молекулярна маса	Щільність, г/см ³	Температура кипіння (розм'якшення), °С
СТ	Біла аморфна речовина	800	1,790	180 (65)
ФП	Сіра великокристалічна речовина	1000	1,860	270 (95)

3.3. Методика визначення фізико-механічних властивостей

Фізико-механічні властивості вихідної й модифікованих гум, використаних для виготовлення досліджуваних партій манжет армованих, визначалися за методикою, затвердженої ГОСТ 269-66 [26] (дійсний на території України) [168]. Властивості гуми визначали за станом на момент виготовлення й після впливу на випробувані зразки різних середовищ і умов.

Пружньо-міцнісні властивості при розтяганні визначали відповідно до ГОСТ 270-75 [27]. Зразки для випробування вирубували у вигляді двосторонньої лопатки (рис. 3.2) спеціальною висічкою (3.3). по розмірах, зазначених у таблиці 3.2 для кожного виду гум по п'ять штук.

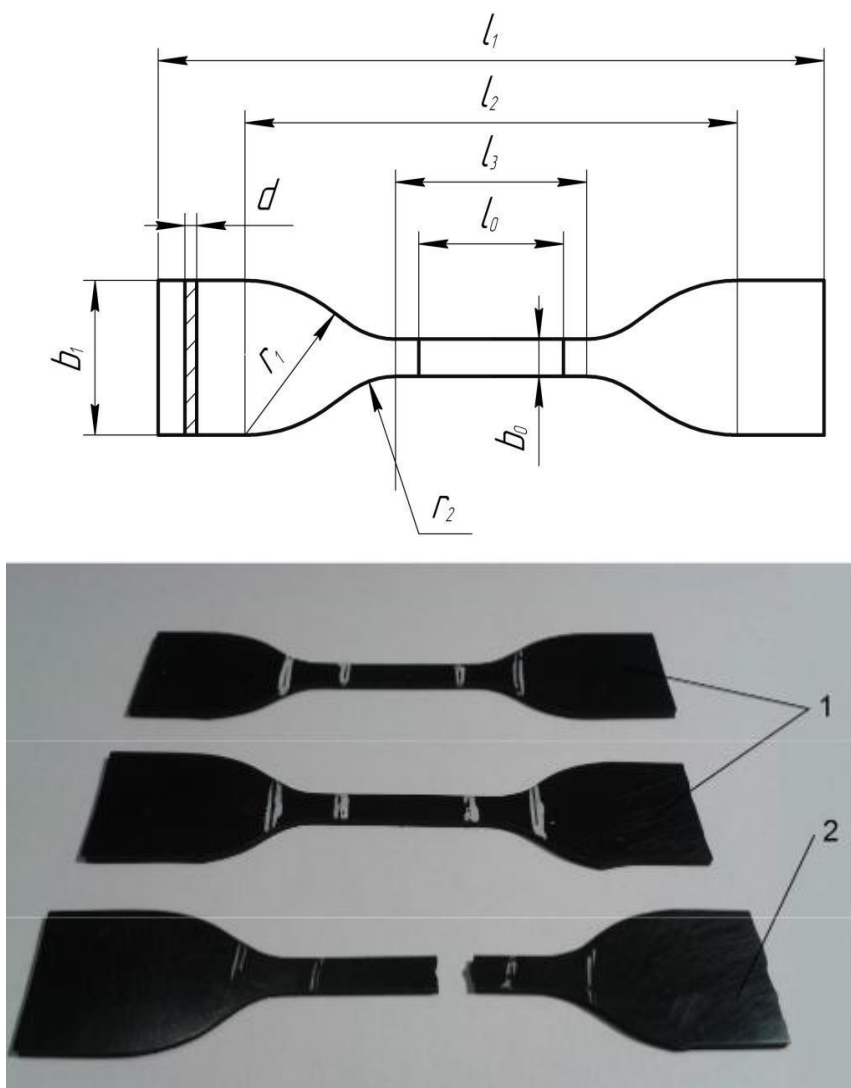


Рис. 3.2 – Креслення та загальний вигляд зразка для випробування



Рис. 3.3. Пристосування для висічки зразків

Таблиця 3.2 – Розміри зразків

Розміри зразків, мм								
l_1 – загальна довжина не менше	b_1 – ширина широкої частини	l_3 – довжина вузької частини	b_1 – довжина вузької частини	l_2 – відстань між лініями, що визначають положення великого радіусу	r_2 – малий радіус	r_1 – малий радіус	l_1 – відстань між мітками	d – товщина
115	25,0±1,0	33,0±1,0	6,0 ^{+0,4}	80±5	14,0±1,0	25,0±1,0	25,0±1,0	2,0±0,2

Випробування зразків проводилось на розривній машині 2166 Р-5 (рис. 3.4) згідно ГОСТ 270-75 у лабораторії механіки еластомерних конструкцій інституту Геотехнічної механіки НАНУ.



Рис. 3.4. Експериментальна установка 2166 P-5 з розривним вузлом

Для виміру подовження на вузьку частину зразків на відстані l_0 , симетрично щодо центру, штампом наносили мітки. Кріпили зразки в захватах машини так, щоб розтягання відбувалося уздовж їхньої вісі. Виставляли показання приладів на нульові оцінки й по черзі розтягували зразки з постійною швидкістю 500 ± 50 мм/хв до їхнього розриву. Фіксували величину зусилля й подовження при розриві.

Умовна міцність f_p , (у МПа) зразків дорівнює:

$$f_p = \frac{F_p}{d \cdot b_0} , \quad (3.1)$$

де F_p – зусилля при розриві зразка, Н;

d – товщина зразка до розтягування, мм;

b_0 – ширина зразка до розтягування, мм.

Відносне подовження ϵ_p у момент розриву визначали у відсотках за формулою

$$\varepsilon_p = \frac{l_p - l_0}{l_0}, \quad (3.2)$$

де l_p – відстань між мітками в момент розриву зразка, мм;

l_0 – відстань між мітками зразка до розтягування, мм.

Результати випробувань визначали по середньому арифметичному показань, з відхиленням по міцності не більш 10% (мінімум три зразки), отримані значення по міцності округляли до десятих часток у мегапаскалях, а по відносному подовженню – до десятків.

Твердість по Шору А визначали відповідно до ГОСТ 263-75 [28] твердоміром (рис. 3.5), що заміряє опір зануренню в гуму підпружинного індентора із загартованої сталі, що має вид стрижня на кінці з усіченим конусом (рис. 3.6). Твердомір оцінює твердість від нуля до 100 одиниць.



Рис. 3.5. Забір твердості гуми

Індентор з'єднаний зі шкалою, що має розмітку від нуля до 100, при цьому нуль відповідає максимальному зануренню індентора (2,54 мм), а 100 –

нульовому зануренню. Зразки виготовляли із гладких пластин без видимих дефектів товщиною $6,0 \pm 0,3$ мм, які поміщали на гладку металеву поверхню й плавно притискали до них твердомір до зіткнення опорного майданчика приладу з поверхнею зразка. Через три секунди по шкалі приладу фіксували показання.

На одному зразку твердість заміряли в трьох крапках, мінімальна відстань між крапками 5 мм, відстань від них до краю зразка не менш 13 мм. Визначали середнє арифметичне всіх вимірів і округляли до цілого числа. При цьому значення вимірів не повинне відрізнятись від середнього арифметичного більш ніж на 3 одиниці.

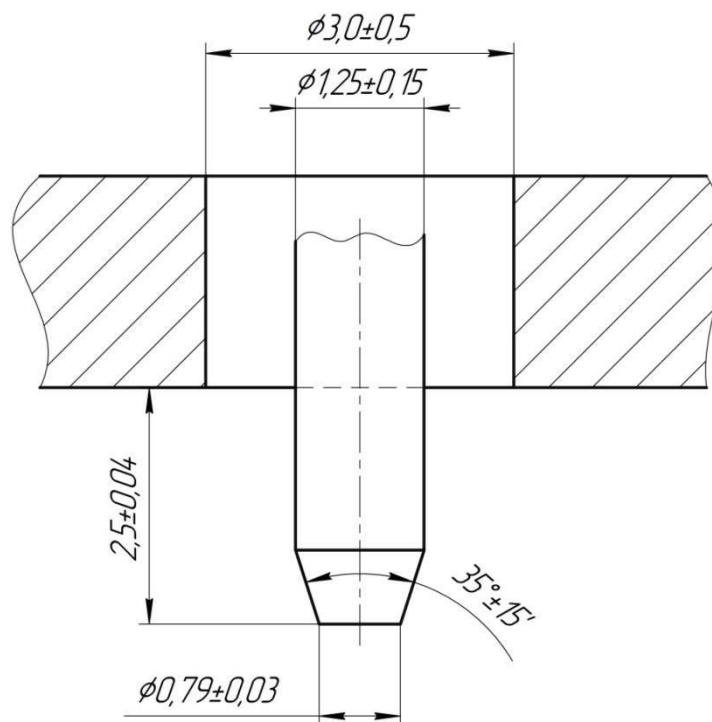


Рис. 3.6 – Креслення індентора для виміру твердості

Термічне старіння в повітрі визначали відповідно до ГОСТ 9.02474 [29]. Зразки для старіння в повітрі підвішували за неробочі ділянки на нитках і поміщали в термостат, нагрітий до температури 100°C .

Для визначення зміни показників твердості по Шору А старіння проводили протягом 72 год, для відносного подовження при розриві – протягом 24 ч. Після старіння зразки витримували 24 год при температурі не вище 30°C ,

кондиціонували 1 годину при температурі $23 \pm 2^\circ\text{C}$ й визначали значення необхідного показника. Для визначення твердості за [28] до й після старіння використовували ті самі зразки.

Зміна відносного подовження при розриві після старіння визначали за формулою

$$V\varepsilon = \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_n}{\varepsilon_n} \cdot 100\% , \quad (3.3)$$

де ε_n – середня величина показника до старіння;

ε_c – середня величина показника після старіння.

Зміна твердості по Шору А визначали за формулою

$$VH = H_c - H_n , \quad (3.4)$$

де H_c – твердість після старіння; H_n – твердість до старіння.

Стійкість до впливу рідких агресивних середовищ (СЖР-1, суміш ізооктан-толуол) визначали відповідно до [29].

Випробування проводили протягом двох тижнів після вулканізації зразків. Перед випробуванням зразки протирали етиловим спиртом.

Зразки в ненапруженому стані піддавали впливу агресивних середовищ при заданій температурі й тривалості, після чого визначали зміни обсягу, маси й твердості.

Зразки для визначення зміни маси й обсягу виготовляли із пластин товщиною $2,0 \pm 0,2$ мм, довжиною 30 мм і об'ємом $1,5 \pm 0,15$ см³. Для знаходження кожного показника брали по п'ять зразків. Масу зразків визначали зважуванням на повітрі m_1 і в дистильованій воді m_2 при температурі $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

Випробування проводили при температурі 100°C для СЖР-1 і 23°C – для суміші ізооктану-толуолу (7:3). Тривалість випробувань 24 год у суміші ізооктану-толуолу та 72 год у СЖР-1. У ємність зразки підвішували так, щоб

вони не торкалися один одного, стінок і дна ємності. Ємність заповнювали не більше ніж на 75%, при співвідношенні обсягів середовища й зразків від 15:1 до 30:1, рівень середовища над зразками не менш 1 см. Після заповнення ємність щільно закривали.

При випробуваннях у СЖР-1 ємність поміщали в попередньо нагрітий термостат. Відлік тривалості випробувань починали з моменту занурення зразків у середовище при 23 ± 2 °С або з моменту розміщення ємності зі зразками в термостат при підвищеній температурі. Після закінчення випробувань ємність зі зразками витягали з термостата й прохолоджували до 23 ± 2 °С. Масу зразків визначали зважуванням на повітрі m_3 і в дистильованій воді m_4 .

За результат ухвалювали середнє арифметичне значення показника не менш трьох зразків, при відхиленні, що допускається, від середнього арифметичного ± 10 %.

Зміна маси зразка Δm , у відсотках, обчислювали за формулою

$$V_m = \frac{m_3 - m_1}{m_1} \cdot 100\% , \quad (3.5)$$

Зміна обсягу зразка ΔV , у відсотках, визначали за формулою

$$W = \frac{(m_3 - m_4) - (m_1 - m_2)}{m_1 - m_2} \cdot 100\% , \quad (3.6)$$

Твердість зразків вимірювали відповідно до ГОСТ 263-75 [28].

Зміна твердості ΔH визначали по формулі

$$\Delta H = H - H_0 , \quad (3.7)$$

де H – твердість до впливу середовища;

H_0 – твердість після впливу середовища.

Залишкову деформацію визначали відповідно до ГОСТ 9.029-74 [30]. Випробовували по чотири зразки діаметром $10 \pm 0,5$ мм і висотою $10 \pm 0,1$ мм. Вимірювали висоту центральної частини зразків з точністю до 0,01 мм при температурі 23 ± 2 °С й розміщували їх на струбцину, що складається із пластин товщиною 10 мм, схема якої наведено на рис. 3.7.

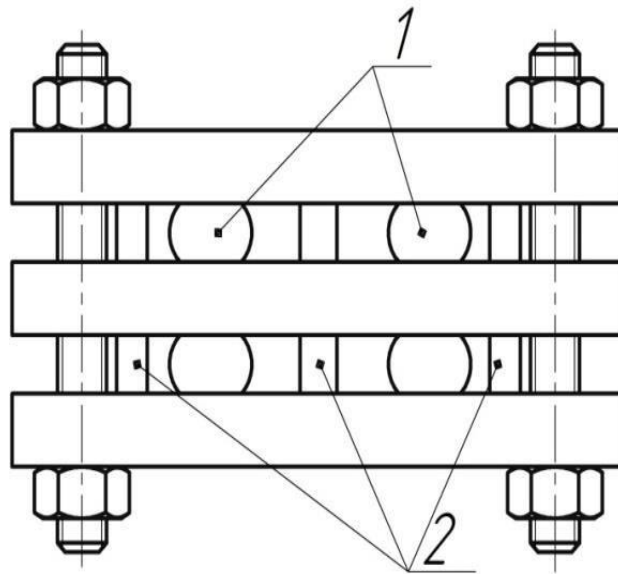


Рис. 3.7 – Струбцина зі зразками для визначення залишкової деформації:
1 – зразки, 2 – обмежувачі

Стискали зразки на 20 %, здійснюючи контроль стиску за допомогою обмежувачів висотою $8 \pm 0,01$ мм. Протягом 20 хв після стиску струбцину зі зразками поміщали в нагрітий до 100 ± 2 °С термостат на 24 год, після чого виймали й прохолоджували протягом двох годин на теплоізолюваній плиті при температурі 23 ± 2 °С. Потім звільняли зразки й залишали у вільному стані на 30 ± 3 хв.

Залишкову деформацію стиску C (у відсотках, з точністю до 0,01) визначали за формулою

$$C = \frac{h_0 - h}{h_0 - h_2} \cdot 100, \quad (3.8)$$

де h_0 – висота зразка до випробувань, мм;

h – висота зразка після «відпочинку», мм;

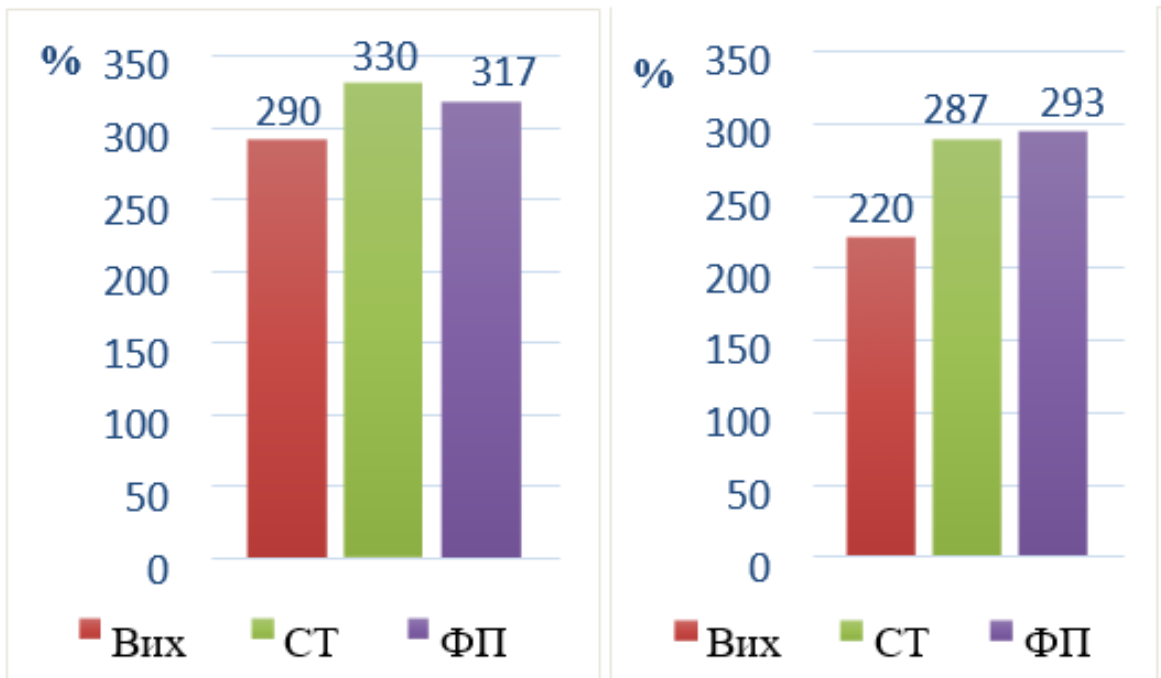
h_s – висота обмежника, мм.

За результат випробувань брали середнє арифметичне значення деформацій усіх випробуваних зразків, що обчислюється з точністю до 0,1 при відхиленні від середнього значення $\pm 5\%$.

3.4. Дослідження впливу об'ємного модифікування на фізико-механічні властивості

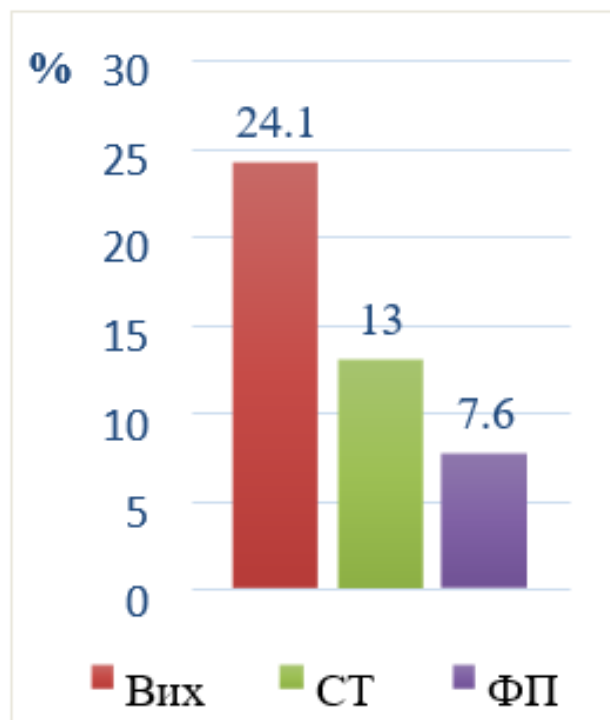
Фізико-механічні випробування були проведені в лабораторії кафедри НРМ та лабораторії еластомірних матеріалів Інституту геотехнічної механіки імені М.С.Полякова НАН України. Результати випробувань представлено на рис. 3.8 – 3.9.

Випробування показали поліпшення еластичності модифікованих гум. Так, відносне подовження, що характеризує еластичність, у зразків з гуми, модифікованої спирт-тіломіром (СТ), збільшилося майже на 40 %, а модифікованої фторпарафіном (ФП) – на 27 % (рис. 3.8 а). Також модифікування привело до підвищення умовної міцності при розтяганні на 5% (рис. 3.9) і стабільності пружньо-міцнісних властивостей при старінні на повітрі (при 100° С протягом 24 годин). Зміна відносного подовження після старіння в зразків з гуми, модифікованої спирт-тіломіром, зменшилось майже в 2 рази, а модифікованої фторпарафіном – більш ніж в 3 рази в порівнянні з вихідною гумою (рис. 3.8 в). Найбільшу стабільність при старінні показали зразки з гуми з додаванням фторпарафіну (рис. 3.8 а, б).



а)

б)



в)

Рис. 3.8 – Відносне подовження в момент розриву, %:

а) до старіння; б) після старіння; в) зміна показника після старіння

СТ – модифікація спирт-тіломіром, ФП – модифікація фторпарафіном

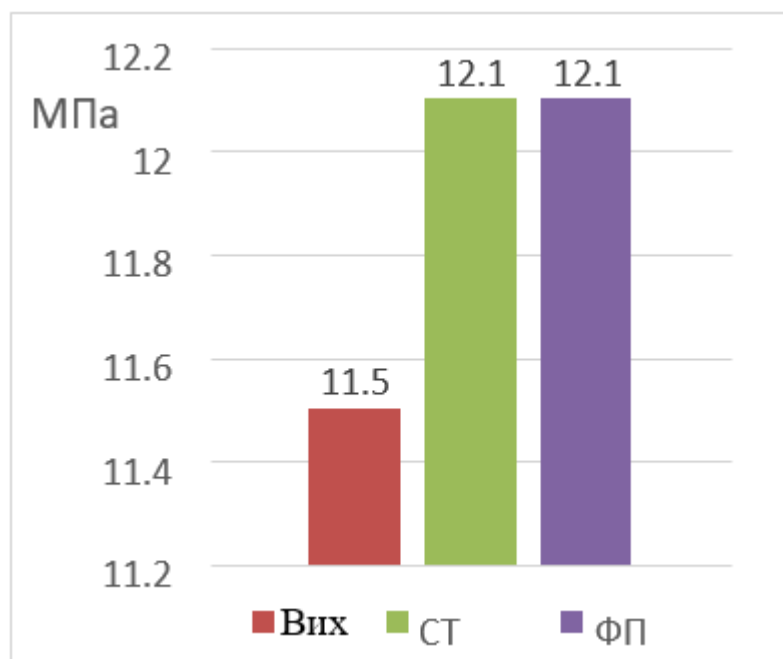


Рис. 3.9 – Умовна міцність при розтяганні

Додавання фторпарафіну підвищило стійкість до тривалого деформування, про що свідчить зменшення залишкової деформації майже на 7% (рис. 3.10.).

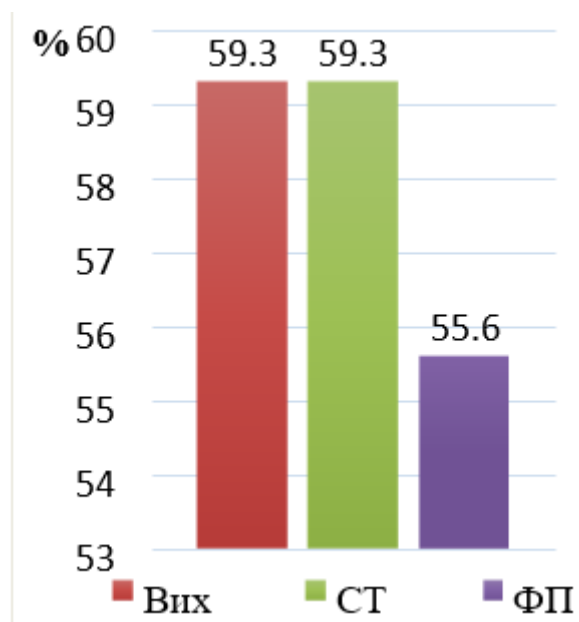


Рис. 3.10 – Залишкова деформація при 20%-вому стисканні на повітрі при 100 °С протягом 24 год, %

Результати фізико-механічних властивостей гум зведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Фізико-механічні властивості гум

Показник	Вихідна гума	СТ	ФП
Умовна міцність при розтягуванні, МПа	11,6	12,1	12,1
Відносне подовження при розриві, %	290	330	317
Зміна відносного подовження після старіння на повітрі при 100 °С протягом 24 год, %	-24,1	-13,0	-7,6
Твердість по Шору А, ум. од.	77	77	75
Зміна твердості по Шору А:			
- після старіння в повітрі (100 °С, 72 год)	6	4	5
- після впливу СЖР-1 (100 °С, 72 год)	6	5,8	6
Залишкова деформація при 20%-вому стисканні на повітрі при 100°С протягом 24 год, %	59,3	59,3	55,6
Зміна показників після впливу суміші ізооктан + толуол (7:3) (23 °С протягом 24 год):			
об'єму, %	26,4	26,6	26,9
маси, %	14,9	14,8	15,0
Опір стиранню, Дж/мм ³	15,08	14,6	18,1
Опір раздиру, Н/мм	37,3	52,3	48,8

Об'ємне модифікування гуми манжет спирт-тіломіром і фторпарафіном значно поліпшило її фізико-механічні властивості: відносне подовження збільшилося на 40 і 27% відповідно; підвищився опір раздиру в 1,4 і 1,3 рази; меншою мірою підвищилася умовна міцність при розтягуванні – на 0,5 МПа; покращилися показники після старіння по відносному подовженню на 11 і 16% та твердості по Шору А на 2 і 1 ум. од. відповідно; додавання ФП призвело до зменшення залишкової деформації при стисканні на 7% і збільшенню опору стиранню на 20%.

3.5. Визначення впливу параметрів манжети на питоге навантаження робочої кромки на вал

Експериментально отримані результати використали для оцінки теоретичних залежностей, зазначених у попередньому розділі. Інші розміри одержали виміром досліджуваних манжет (рис. 3.11) та відповідно до галузевого стандарту (таблиця 3.4).

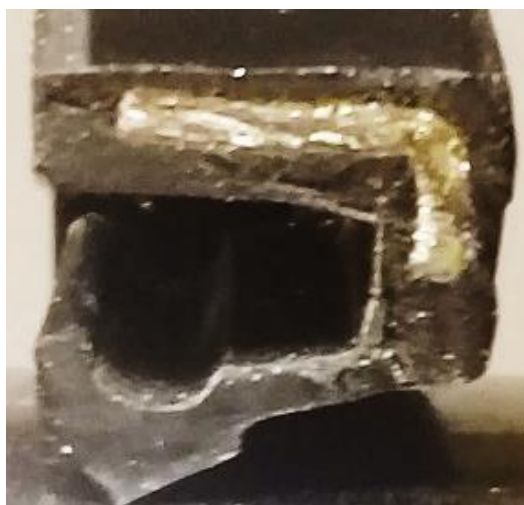


Рис. 3.11 – Розріз манжети без пружини

Таблиця 3.4 – Значення розмірів перетину манжети

Параметри	h_1 , мм	s_1 , мм	β°	s_2 , мм	s_3 , мм	Δl , мм	l , мм
значення	$3 \pm 0,1$	$2,4 \pm 0,2$	$22 \pm 2,5$	$1 \pm 0,1$	$2,1 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,1$	$6,2 \pm 0,2$

Питома контактне зусилля від тиску усередині агрегату p і тиску зовнішнього середовища p_c на профіль еластичного елемента манжети визначили за формулами 3.9 і 3.10 відповідно:

$$\bar{F}_p = 0,5(p - p_c + p a + 0,5 p h_1^2 [1 - (p_c/p)(h_2/h_1)^2]) / l \quad (3.9)$$

$$\bar{F}_p = 0,5(p - p_c l - 0,5 a - 0,5 s_2) + p a + 0,5 h_1^2 (l - p_c) / l \quad (3.10)$$

З розрахунків по формулі 3.9 при тиску в агрегаті $p = 0,15$ МПа отримано питоме контактне зусилля від тиску

$$\bar{F}_p = 0,221 \dots 0,259 \text{ Н/мм.}$$

При $p = p_c = 0,1$ МПа

$$\bar{F}_p = 0,024 \dots 0,041 \text{ Н/мм.}$$

По формулі 3.10 при $p = 0,15$ МПа

$$\bar{F}_p = 0,185 \dots 0,226 \text{ Н/мм,}$$

за відсутності надлишкового тиску, тобто $p = p_c = 0,1$ МПа

$$\bar{F}_p = 0,024 \dots 0,041 \text{ Н/мм.}$$

Розрахунки показали, що при відсутності надлишкового тиску значення, розраховані за формулами 3.9 і 3.10, однакові, уточнення площі, на яку діє зовнішній тиск (формула 3.10), показало зменшення розрахункового навантаження від надлишкового тиску на 18...25%. Різниця між зовнішнім тиском й тиском середовища в 0,5 МПа дає збільшення \bar{F}_p у 5...10 разів.

Тим самим конструкція манжети (розташування ущільнюючої кромки на відстані від каркаса) зменшує ймовірність появи витоків при підвищенні тиску усередині вузла. Наведені розрахунки показали, що при різних значеннях h_1 і h_2 питоме навантаження від тиску середовищ слід визначати за універсальним виразом

$$\bar{F}_p = 0,5(p - p_c l - 0,5 a - 0,5 s_2) + p a + 0,5 p h_1^2 [1 - (l/p)(h_2/h_1)^2] / l. \quad (3.11)$$

Враховуючи максимальний радіус закруглення вершини робочої кромки $r = 0,2$ мм, по формулі 3.12 одержали деформацію зминання вершини робочої кромки $\Delta_{\text{см}} = 0,03 \dots 0,14$ мм. Збільшення внутрішнього діаметра $\Delta D = 4,32 \dots 2,54$ мм.

$$\Delta_{\text{см}} = (a - 2r \sin \beta) \frac{\text{tg}(80-\beta)\text{tg}\beta}{\text{tg}(80-\beta)+\text{tg}\beta} + r(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \beta}) \quad (3.12)$$

Модуль пружності E гум визначали за результатами фізико-механічних випробувань за законом Гука $E = 100 f_p / \epsilon$. Так як умовна міцність f_p визначається з точністю $\pm 10\%$, то відхилення по модулю пружності отримуємо близько 20% .

Використовуючи вираз 3.13, одержали три діапазони значень питомого контактного зусилля від розтягання еластичного елемента манжети:

$$F_m = \frac{2ES\Delta D}{(D_0 + S)D}, \quad (3.13)$$

для серійних манжет

$$\bar{F}_m = 0,0639 \dots 0,158 \text{ Н/мм};$$

для манжет, модифікованих СТ,

$$\bar{F}_m = 0,0563 \dots 0,139 \text{ Н/мм};$$

для манжет, модифікованих ФП,

$$\bar{F}_m = 0,0611 \dots 0,152 \text{ Н/мм}.$$

По формулі 3.14 відповідно одержали

$$F_M = \frac{2ES\Delta D}{D^2}, \quad (3.14)$$

де E – модуль розтягування гуми, МПа;

S - площа перерізу еластичного елемента манжети, що сприймає навантаження розтягу, мм²;

$\Delta D = D - D_0$ - видовження кромки у діаметральному напрямку, мм.

для серійних манжет

$$\bar{F}_M = 0,063 \dots 0,150 \text{ Н/мм};$$

для манжет, модифікованих СТ,

$$\bar{F}_M = 0,056 \dots 0,132 \text{ Н/мм};$$

для манжет, модифікованих ФП,

$$\bar{F}_M = 0,060 \dots 0,143 \text{ Н/мм}.$$

Розрахунки показали, що відхилення в розмірах дають розкид значень \bar{F}_M практично в 2 рази при цьому, найбільший розкид дає внутрішній діаметр манжет. Обчислення, виконані по формулі 3.13, виявилися точніше на 6%.

Питоме контактне зусилля від вигину еластичного елемента розраховували за формулою

$$\bar{F}_i = (\Delta D^2 + \Delta_c \cos \gamma) E s_1^3 / 4l^2 \quad (3.15)$$

Так як визначали середнє контактне зусилля по периметру, розрахунки проводили при нульовому зсуві $\Delta_c = 0$. При цьому одержали вираз

$$\bar{F}_i = (\Delta D^2) E s_1^3 / 4l^2 \quad (3.16)$$

Відповідно, питоме контактне зусилля від вигину еластичного елемента:
для серійних манжет

$$\bar{F}_и = 0,0203 \dots 0,088 \text{ Н/мм};$$

для манжет, модифікованих СТ,

$$\bar{F}_и = 0,0179 \dots 0,077 \text{ Н/мм};$$

для манжет, модифікованих ФП,

$$\bar{F}_и = 0,0194 \dots 0,084 \text{ Н/мм}.$$

Для досліджуваних з'єднань допускається неспіввісність 0,1 мм [12], яка призводить до зміни не більш, ніж на 4%.

Для розрахунків зусилля пружини перевірили вірогідність формул 3.17 і 3.17, визначивши початкове зусилля пружини F по емпіричній формулі 3.17, при $\tau = 750$ МПа:

$$F_0 = \frac{\pi \varphi \tau d_n^3}{3 a d_s} = \frac{3,14(7 \dots 33) 750 \cdot 0,4^3}{3 \cdot 1,3 \cdot 1,7}, \quad (3.17)$$

При цьому для дроту з $d_n = 0,4$ мм тимчасовий опір розриву $[\sigma] = 1670 \dots 2600$ МПа [185], а розривне навантаження має значення

$$[F_p] = \frac{[\sigma] \pi d_n^2}{4} = (1670 \dots 2600) \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} = 200 \dots 312 \text{ Н}, \quad (3.20)$$

Початковий натяг пружини не може перевищувати розривне навантаження пружинного дроту. Порівняння розрахованих сил $[F_p]$ і F_0 показує неточність формули 3.17. Тому, використовуючи стандартні значення кручених пружин $d_c = 2,1$ мм, $d_n = 0,4$ мм, розраховали зусилля попереднього натягу F_0 :

$$F_0 = \frac{\pi \tau_0 d_n^3}{8 \kappa d_c} = \frac{3,14(220 \dots 270) \cdot 0,4^3}{8 \cdot 1,3 \cdot 2,1} = 2,024 \dots 2,484 \text{ Н}, \quad (3.21)$$

При коефіцієнті Пуассона гуми $\nu = 0,5$ [186], подовженні $\Delta L = 7,5 \dots 13$ мм та довжині пружин випробуваних манжет $L = 147 \dots 148$ мм одержали зусилля від деформації пружини

$$\Delta F = 0,616 \dots 1,320 \text{ Н.}$$

До такого широкого діапазону призводить в основному розкид геометричних параметрів еластичного елемента манжет.

Зусилля від дії браслетної пружини F_n визначили по формулі:

$$F_n = F_0 + \Delta F = (2,024 \dots 2,484) + (0,616 \dots 1,32) = 2,64 \dots 3,804 \text{ Н.} \quad (3.22)$$

За дослідженими даними зусилля пружин $F_n = 2,75 \dots 3,50$ Н (рис. 3.12).

Аналогічні результати представлені в роботі [31] і отримані розрахунковим шляхом з використанням програми. Висока збіжність результатів підтверджує вірність експериментальних даних і представлених теоретичних залежностей.

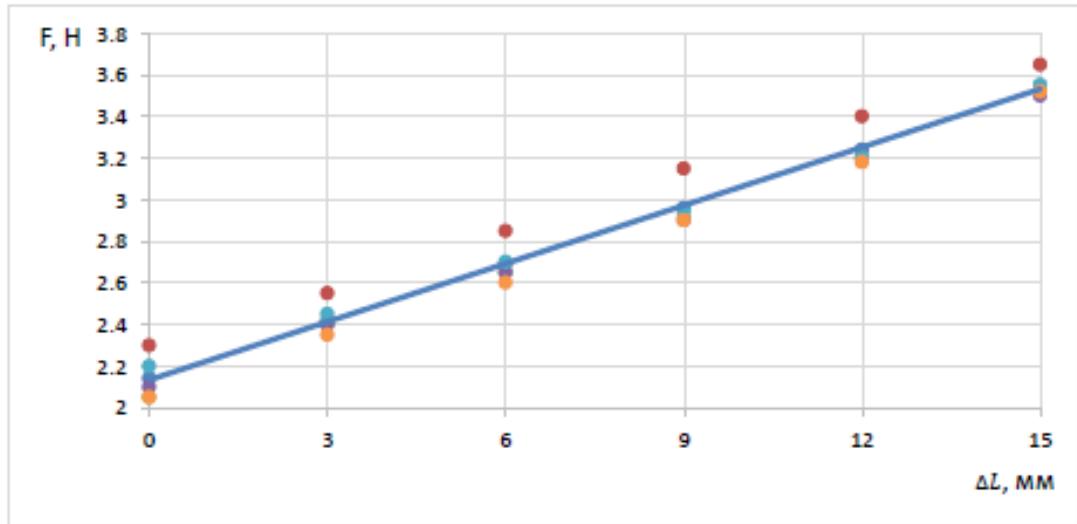


Рис. 3.12 – Графік відповідності зусилля й подовження пружин (за експериментальним даними)

Питоме контактне зусилля від розтягування пружини визначили за виразом

$$\bar{F}_n = 0,104 \dots 0,156 \frac{H}{мм} \quad (3.23)$$

Сумарне питоме контактне зусилля \bar{F} розраховували за формулою

$$F = F_m + F_i + F_n + F_p, \quad (3.24)$$

Результати розрахунків питомих навантажень у з'єднанні «вал-манжета» представлено в таблиці 3.5.

Експериментальні значення параметрів для визначення питомих навантажень одержали за методикою, викладеною вище. Результати викладено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Питомі навантаження в з'єднанні «вал-манжета»

Параметри	Манжети з вихідної гуми (E = 4 МПа)	Манжети з гуми, модифікований ний СТ (E = 3,52 МПа)	Манжети з гуми, модифікований ний ФП (E = 3,82 МПа)
\bar{F}_M , Н/мм (D0 = 40,4...42,3 мм)	0,0639...0,158	0,0563...0,139	0,0611...0,152
\bar{F}_1 при $\Delta s = 0$ Н/мм	0,0203...0,088	0,0179...0,077	0,0194...0,084
\bar{F}_p , Н/мм ($p = p_c = 0,1$ МПа)	0,024...0,041	0,024...0,041	0,024...0,041
\bar{F}_n , Н/мм	0,104...0,156	0,104...0,156	0,104...0,156
Розрах. \bar{F}, Н/мм ($p = p_c = 0,1$ МПа)	0,212...0,443	0,202...0,413	0,209...0,433
Експерим. $\bar{F}_э$, Н/мм	0,231...0,306	0,219...0,267	0,228...0,308
Експерим. \bar{F}, Н/мм ($p = p_c = 0,1$ МПа)	0,255...0,347	0,243...0,308	0,252...0,349

Результати експериментальних даних і теоретичних розрахунків питомих навантажень у з'єднанні «вал-манжета» показують їх високу збіжність (таблиця 3.5, виділене жирним шрифтом) і спроможність представленої методики, але разом з тим неможливість точного прогнозування питомого навантаження через великий розкид параметрів манжет.

Більш передбачуваним є навантаження від пружини, складова 35...50% сумарного контактного зусилля. При відомій зміні внутрішнього діаметра манжети навантаження від дії пружини \bar{F}_n можна розрахувати з точністю $\pm 10\%$. За експериментальними даними в розглянутому діапазоні натягів зусилля від дії браслетної пружини F_n при її заданих початкових параметрах змінюється в межах 17%.

Зусилля від тиску середовища \bar{F}_p при $p = p_c = 0,1$ МПа становить близько 10% сумарного навантаження. Менш передбачувані результати від вигину \bar{F}_1

(розкид більш ніж у чотири рази) і розтягання \bar{F}_m (розкид в 2,5 рази) еластичного елемента манжет, до чого призводять допуски фізико-механічних й ще в більшій мері геометричних параметрів манжет. Надлишковий тиск в 0,05 МПа призводить до збільшення складової від тиску в 5...10 разів, а сумарне зусилля зростає на 40...80%.

Навантаження від вигину \bar{F}_i прямо пропорційне відхиленню робочої кромки від вільного положення $\Delta D/2$ і в третьому ступені залежить від товщини еластичного елемента в каркаса манжети s_1 . Навантаження від розтягання \bar{F}_m змінюється згідно з добутком площі перетину еластичного елемента S і зміні внутрішнього діаметра ΔD . При цьому \bar{F}_i й \bar{F}_m прямо пропорційно залежать від модуля пружності гуми манжети.

Зношування робочої кромки в процесі експлуатації веде до зменшення площі перетину еластичного елемента та до зменшення деформації манжети й пружини, при цьому складові питомого зусилля будуть поводитися по-різному. Теоретично при зношуванні кромки до ширини в 2 мм збільшення внутрішнього діаметра манжети складе близько 1 мм, площа перетину еластичного елемента зменшується на 7...10%.

За умови стабільності фізико-механічних характеристик гуми складові питомого навантаження \bar{F}_i , \bar{F}_m , \bar{F}_p знизяться відповідно на 25...40, 30...45 і 4...6 %, а зусилля від тиску \bar{F}_p , за умови герметичного з'єднання й $p = p_c = 0,1$ МПа підвищиться в 5...8 разів, що призведе до загального збільшення питомого навантаження на 26...55 %. Контактний тиск p_k при цьому знизиться в 4...5 разів через збільшення площі контакту в 5...8 разів. Компенсація сумарного питомого навантаження й контактного тиску за рахунок \bar{F}_p буде відбуватися в межах існуючого натягу, поки з'єднання герметичне.

Розрахунки та експериментальні дані підтвердили теоретичні припущення, зроблені в другому розділі про розкид значень \bar{F} внаслідок більших допусків при виготовленні манжет.

Таким чином, теоретичні й експериментальні дослідження показали:

- спроможність представленої методики визначення питомих контактних навантажень у з'єднанні;
- труднощі прогнозування питомого навантаження через великий розкид параметрів манжет;
- необхідність зменшення допусків на розміри гумовотехнічних виробів і застосування матеріалів зі стабільними фізико-механічними властивостями (основним стандартам на виготовлення манжет більш 40 років, за цей час зросли вимоги до якості техніки, її вузлів і деталей).

Розрахунки питомого навантаження по периметру контакту проводили при співвісному розташуванні вала й манжети, їх неспіввісність і радіальне биття вала призведуть до збільшення розкиду значень питомого навантаження, контактного тиску й необхідного мінімального натягу в з'єднанні.

3.6. Результати стендових випробувань

Прискорені випробування виконували з метою визначення впливу модифікування манжет на зношування й зміну сили тертя ковзання в з'єднанні «вал-ущільнення».

Оцінка прийнятих до експерименту з'єднань проводилася по величині пускового зусилля, що й установилося, тертя у вузлі й зношування манжет при сухому режимі тертя. Порівняльні характеристики за результатами проведених випробувань показано на рис. 3.13 – 3.14 і наведено в таблиці 3.6.

У всіх з'єднань сила тертя в перші секунди роботи швидко зменшується: приблизно у два рази – за перші двадцять метрів і в два з половиною рази за перші сто метрів ковзання вала по робочій крайці манжети.

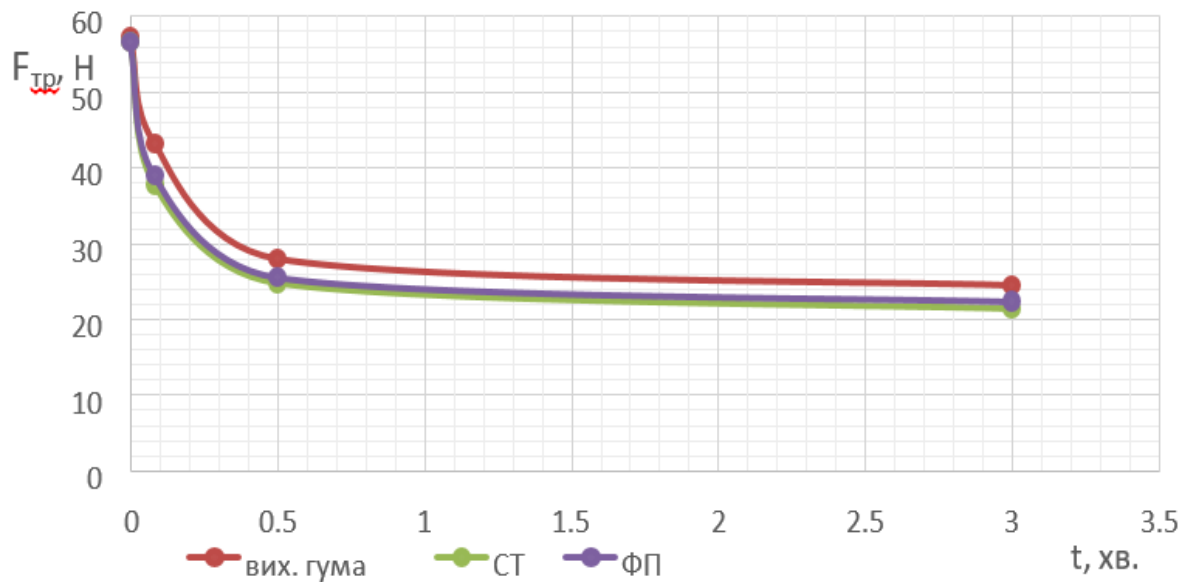


Рис. 3.13 – Зміна сили тертя в перші три хвилини роботи з'єднання «вал-ущільнення»

У процесі припрацювання антифрикційний ефект в ущільненнях з модифікованої гуми стає явним: при пуску – до 100 % і при режимі, що встановився, – до 40 %. Мінімальних значень сила тертя досягла після 2000 м (після години при частоті обертання 270 хв^{-1}).

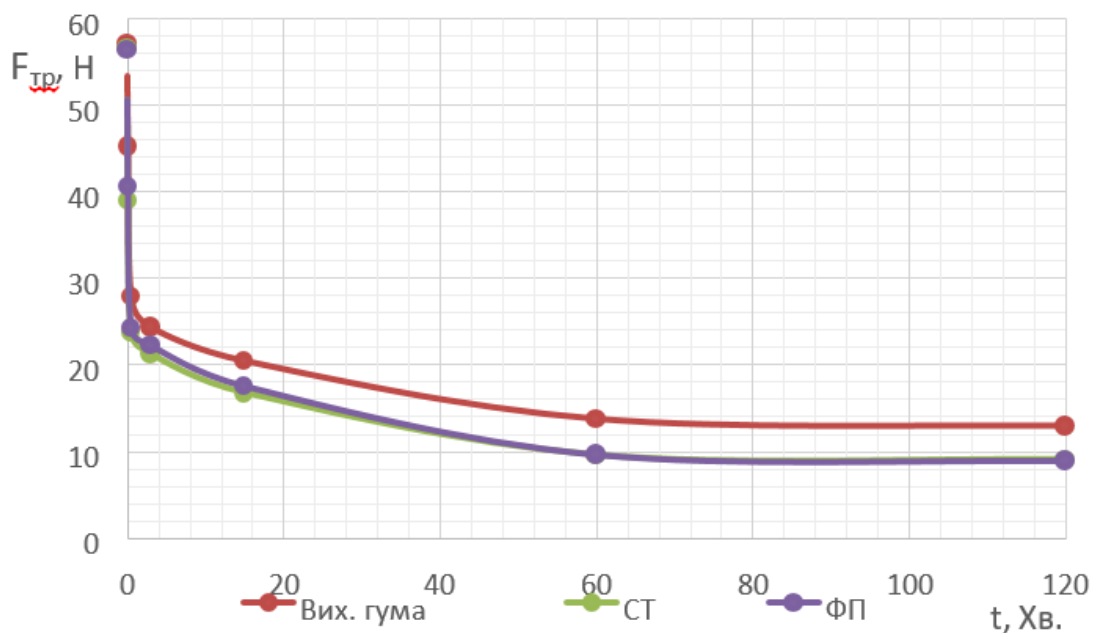


Рис. 3.14 – Зміна сили тертя до встановленого значення

За час прискорених випробувань у манжет, модифікованих СТ сила й коефіцієнт тертя зменшувались в 1,43 і 1, 32 рази в порівнянні з вихідною гумою, а в манжет, модифікованих ФП, відповідно в 1,45 і 1, 37 разів (рис. 3.15).

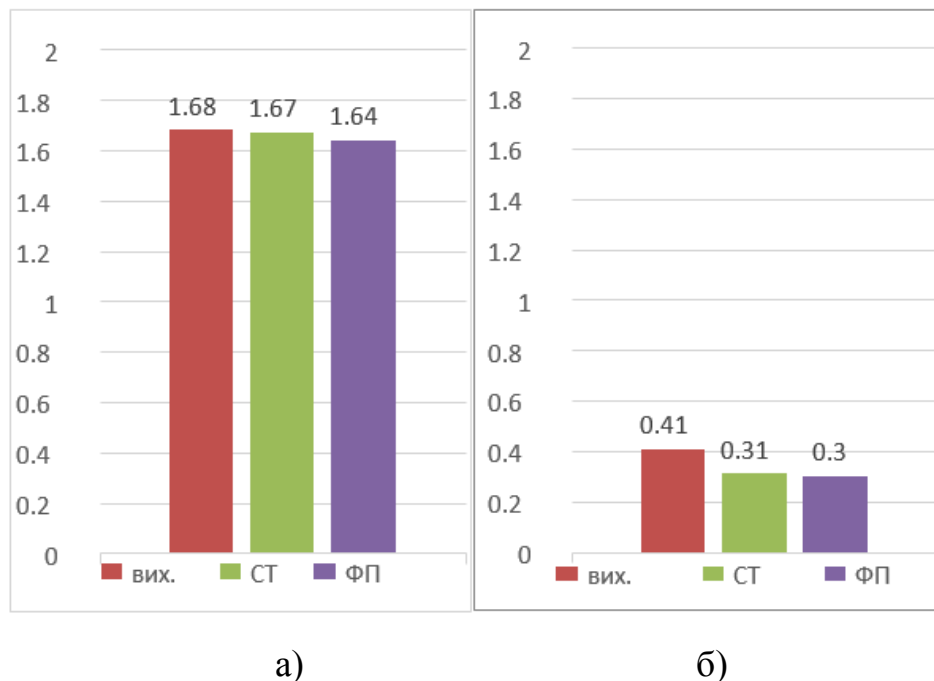


Рис.3.15 – Коефіцієнт тертя в з'єднанні без змащення:

а) нові манжети; б) після припрацювання

У не модифікованих манжет при безперервній роботі без змащення через деякий час після досягнення мінімальних значень, як правило, спостерігалось незначне збільшення сили тертя.

Після навіть нетривалої роботи в момент пуску відбувається стрибок сили тертя, потім швидке повернення цього показника до раніше досягнутого значення. На відміну від не модифікованих манжет у з'єднаннях з модифікованими ущільненнями стрибок спостерігається рідше й він менше за значенням..

Випробування показали, що зі збільшенням наробітку сила тертя пуску для всіх манжет зменшується (рис. 3.16). За час наробітку 120 хвилин у манжет, модифікованих спирт-тіломіром, після нерухливого контакту протягом 15

секунд, сила тертя пуску зменшилась в 1,59 разів, а добавка фторпарафіну дала зменшення показника в 1,71 рази в порівнянні з вихідною гумою.

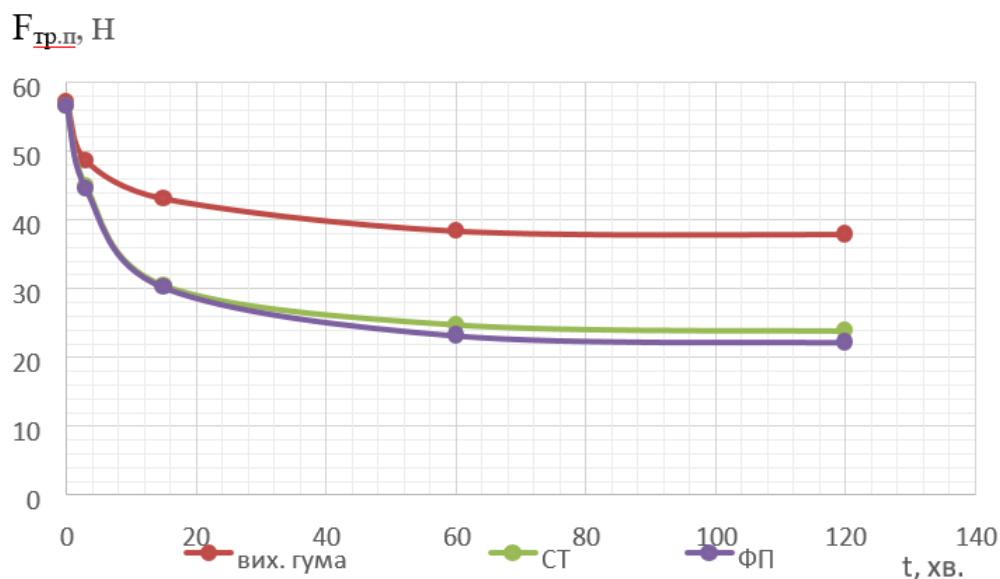


Рис. 3.16 – Вплив модифікування й наробітку на силу тертя пуску

Випробування показали загальне зростання сили тертя пуску зі збільшенням тривалості нерухливого контакту, але в модифікованих ущільненнях приріст менше (рис. 3.17). Так, при збільшенні часу нерухливого контакту від 15 з до 24 год сила тертя пуску $F_{тр.п}$ у з'єднаннях з вихідними ущільненнями виросла в 1,8 рази, а в модифікованих СТ в 1,69 і ФП в 1,5 рази. У той же час абсолютні значення сили тертя пуску $F_{тр.п}$ до 24 год у з'єднаннях з манжетами, модифікованими спирт-тіломіром виявилися нижче в 1,69 разів, а в манжет, модифікованих ФП – в 1,98 разів у порівнянні з вихідною гумою.

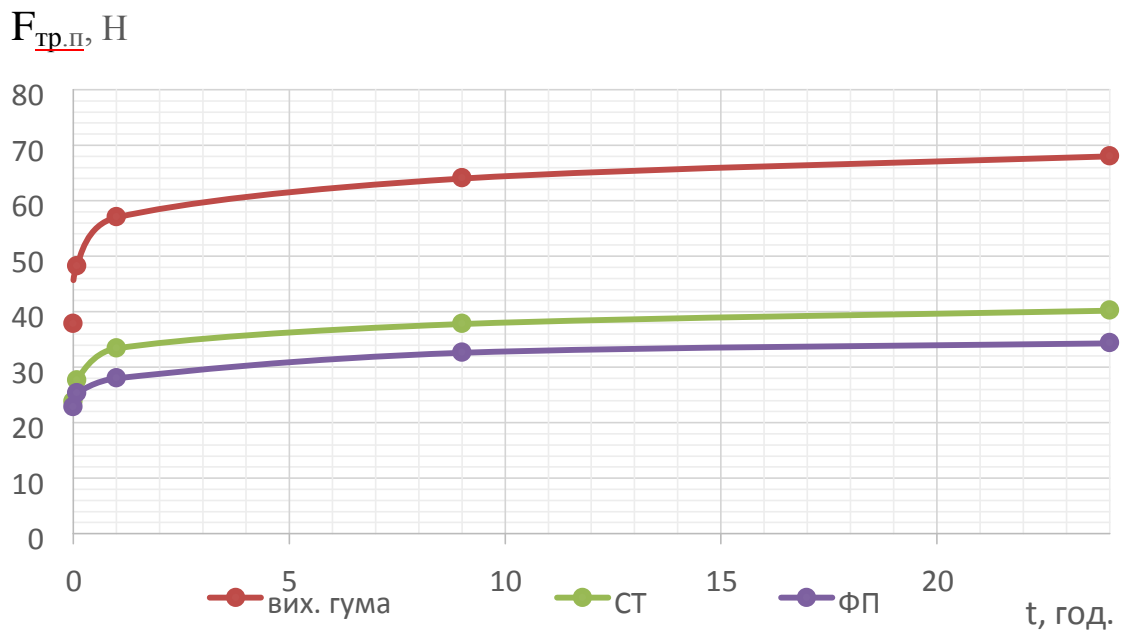
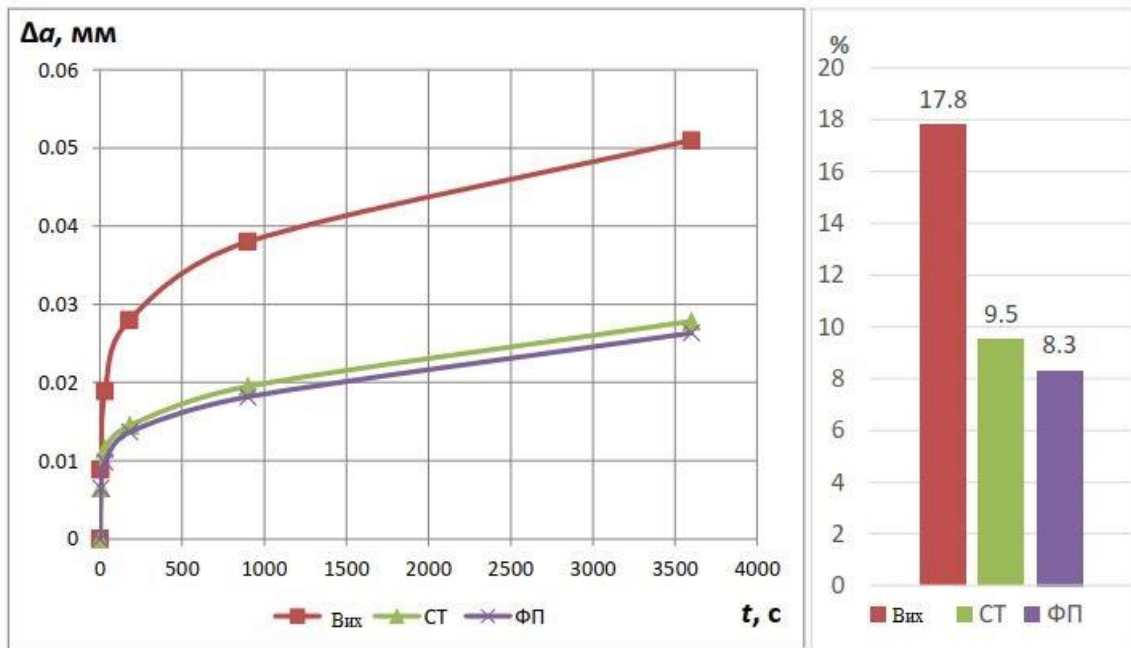


Рис. 3.17 – Вплив модифікування й часу нерухомого контакту на силу тертя пуску

За результатами фрикційних випробувань можна зробити висновок, що модифікування РАМ обраними фторорганічними з'єднаннями дало антифрикційний ефект. Кращий результат одержали з добавкою ФП.

Разом із фрикційними показниками визначали зношування манжети по зміні ширини контактної зони. Зміна ширини контактної зони за час прискорених випробувань показало, що модифікування призводить до підвищення зносостійкості. Зношування модифікованих манжет у порівнянні із серійними менше в 1,83 рази для СТ і в 1,94 рази для модифікованих ФП (рис. 3.18). Етап приробітку всіх з'єднань склав близько 15 хвилин.



а)

б)

Рис. 3.18 – Зношування по ширині робочої кромки манжет: а) у міліметрах; б) у відсотках

Таблиця 3.6 – Результати прискорених випробувань

Величина	Манжети		
	Серійні/ Вихідні	Модифіковані	
		СТ	ФП
Початкова сила тертя, $F_{тр.н}$, Н	57,1	56,4	56,1
Сила тертя, що встановилась $F_{тр.в}$, Н	12,9	9	8,9
Сила тертя пуску $F_{тр.п}$, Н:			
- після 15 с нерухомого контакту;	37,8	23,8	22,1
- після 24 год нерухомого контакту	68	40,2	34,3
Коефіцієнт тертя початковий $f_{тр.н}$	1,68	1,67	1,64
після припрацювання $f_{тр.в}$	0,41	0,31	0,30
Зношування манжет Δa , мм /%	0,051/17,8	0,0278/9,5	0,0263/8,3

Кращі антифрикційні й антизносні показники при проведенні прискорених випробувань з'єднань «вал-ущільнення» отримані з манжетами, модифікованими фторпарафіном.

Тривалі стендові випробування проводили з метою визначення динаміки зношування серійних і модифікованих ФП манжет у з'єднанні «вал-ущільнення». Випробування проводили згідно з методикою, викладеною в третьому розділі.

Результати динаміки зношування з'єднання «вал-манжета» представлено на рис. 3.19 і в таблиці 3.7

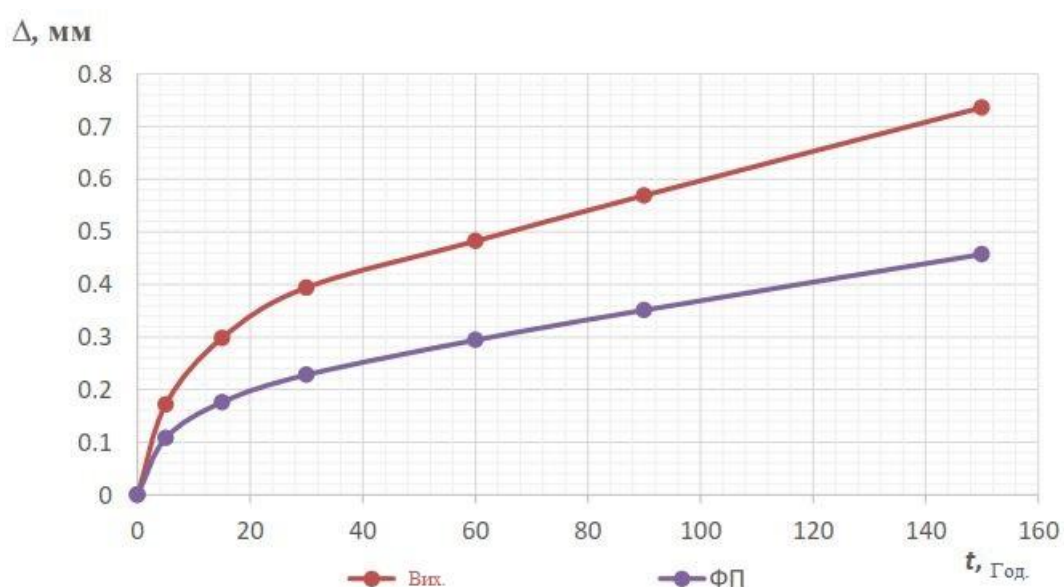


Рис. 3.15 – Знос робочої кромки манжет

Таблиця 3.7 – Результати зносу манжет при тривалих стендових випробуваннях пар тертя «вал-манжета»

Вимірюваний параметр	Час роботи, год					
	5	15	30	60	90	150
Величина зношування манжет, мм:						
- вихідних	0,172	0,298	0,394	0,482	0,569	0,736
- модифікованих	0,108	0,176	0,228	0,294	0,351	0,457

3.7. Перспективні способи модифікації гуми

В лабораторії еластомірних конструкцій ІГТМ НАНУ і лабораторії кафедри надійності і ремонту машин розроблена рецептура гуми з додаванням фулерену C_{60} у кількості 0,05 мас. частин дає змогу істотно змінити властивості кінцевої гумової деталі [20, 21, 32]. Завдяки модифікації, підвищуються показники довговічності, умовної міцності під час розтягування, твердості за Шором, опору під час роздирання, старіння та розширюється область її використання. Отримані данні занесено в таблицю 3.8.

Таблиця 3.8 – Фізико-механічні властивості гуми модифікованою фулереном C_{60}

Найменування показників	Одиниця вимірювання	Базова суміш	Суміш модифікована
Твердість по Шору	А	72	68-69
Опір роздиру	кгс/см	45	54
Старіння при 100 °С на протязі 72 год.	%	0,60-0,62	0,75-0,77
Коефіцієнт дисипації		0,52	0,66

Встановлено збільшення коефіцієнта дисипації для гуми модифікованої фулереном C_{60} на 20-25%, що свідчить про підвищення еластичності гуми, а отже і її живучість. Також дослідження показали на витривалість гуми модифікованої фулереном проти теплової дії, так зразки витримані 72 години при температурі 100 °С зістарились на 20%.

3.8. Висновок

За час випробувань у модулях з модифікованими ущільненнями витоків не спостерігалось. В одному вузлі з вихідними ущільненнями короткочасно спостерігалися незначні витoki після 120 год роботи.

На основі отриманих експериментальних даних можна зазначити, що модифікування манжет гумових армованих на основі бутадієннитрильного каучуку зменшує величину зношування за час випробувань в 1,61 рази, інтенсивність зношування в 1,58 і збільшує прогнозований ресурс модифікованих манжет в 1,7 разів.

Також для модифікації гумових ущільнень можливо використовувати в якості модифікатора фулерен C_{60} , але його вартість суттєво вплине на вартість ущільнення і на сьогодні поки це досить коштовна технологія.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Дослідження стану охорони праці

В приватному підприємстві відповідальність за стан охорони праці несе його керівник він також погоджує плани та заходи з охорони праці. Контролює дотримання цих правил [33, 34].

Стан охорони праці на підприємстві знаходиться на задовільному рівні. Так як є багато порушень. Досить часто інструктажі не проводяться. Не має фахівців з охорони праці із – за низької заробітної плати молоді, енергійні спеціалісти довго не працюють на підприємстві. На даний момент спеціаліст з охорони праці пенсійного віку.

Машини та обладнання знаходиться в аварійному стані тому інколи трапляються порушення в їх роботі які можуть призвести до травматизму працюючого. В ремонтній майстерні також є порушення робітники не користуються спеціальними засобами індивідуального захисту так 2019 році робітник працюючи болгаркою травмував око – причина робота без захисних окулярів.

Але на ряду з цими недоліками є і позитивні напрямки до підвищення рівня охорони праці на підприємстві.

Робітникам які знаходяться на пенсії виділяються не значні кошти на лікування. Робітникам видають робочий одяг та засоби індивідуального захисту в повному обсязі.

В ремонтній майстерні для робітників обладнано: куточок охорони праці де є наглядні матеріали та література з безпечної роботи та пожежної безпеки, місця відпочинку, приміщення для переодягання та зберігання одягу, сан вузол.

4.2. Стан охорони праці на підприємстві

На підприємстві постійно проводяться навчання по охороні праці так як постійно надходить нове обладнання і для правильного його експлуатування необхідно не тільки вміти на ньому працювати.

Підприємство забезпечено всіма необхідними методичними розробками по охороні праці, плакатами та брошурами.

Порушення правил охорони праці суворо карається (від вирахування з заробітної платні до звільнення).

Але є і багато недоліків так при перевірці районним відділом охорони праці у 2018 році було виявлено ряд порушень.

Під час перевірки держінспектори виявили багато порушень законодавства з охорони праці. Заборонено 9 одиниць обладнання, які могли становити загрозу життю та здоров'ю працівників. До адміністративної відповідальності притягнуто головного інженера і директора підприємства. За результатами перевірки було виявлено.

Відсутня технічна та експлуатаційна документація на вентиляційне обладнання зварювальної та малярної дільниці та не проводилось випробування ефективності роботи.

Працівники, які виконують роботи підвищеної небезпеки не пройшли спеціального навчання та перевірки знань з охорони праці. Не проведена паспортизація будівель та споруд.

За рішенням комісії прийнято рішення директору підприємства розробити заходи щодо усунення виявлених порушень та термін їх виконання, призначити відповідальних осіб за усунення виявлених порушень. Отримати дозволи на виконання роботи підвищеної небезпеки.

На сьогодні більшість недоліків усунуто, а дозволи на виконання небезпечних робіт оформлюються.

Поточний інструктаж проводиться перед виконанням робіт, на які оформляється допуск.

4.3. Рекомендації щодо забезпечення безпеки та поліпшення умов праці на агрегатній дільниці

Освітлення внутрішніх приміщень може бути природнім, створюваним природними джерелами світла (сонце), здійснюваним через вікна, ліхтарі і т.д., і штучним, тим, що створюється штучними джерелами світла (лампи розжарювання, газові лампи, факели).

Штучне освітлення, у свою чергу, буває робочим і аварійним.

Для загального освітлення дільниці приймаються газорозрядні лампи типу ДРЛ-250; для основного освітлення ухвалюються світильники типу РСУ08-250.

Відстань між центрами світильників l_c , м, визначається по формулі [35, 36]:

$$l_c = 1,4 \cdot h_c \quad (4.4)$$

де h_c - висота підвісу, м.

Ухвалюється $h_c = 4,50$ м.

$$l_c = 1,4 \cdot 4,5 = 6,3 \text{ м.}$$

Кількість ламп n , шт., необхідних для освітлення, визначається по формулі:

$$N = (E_{cp} \cdot F_{уч} \cdot ДО) / (E_{п} \cdot \eta), \quad (4.5)$$

де E_{cp} - середня освітленість, Лк;

$F_{уч}$ - площа дільниці, m^2 ;

K - коефіцієнт запасу освітлення;

$E_{п}$ - світловий потік кожної лампи, Лм;

η - коефіцієнт використання світлового потоку лампи.

Ухвалюється $E_{\text{ср}} = 100$ Лк; $F_{\text{уч}} = 252$ м²; $K = 1,3$; $E_{\text{п}} = 8100$ Лм; $\eta = 0,4$.

$$n = (100 \cdot 252 \cdot 1,3) / (8100 \cdot 0,4) = 10.$$

Ухвалюємо з технологічних міркувань $n = 13$ ламп.

Схема розташування ламп на ділянці по ремонту агрегатів представлено на рис. 4.1.

Розрахована кількість ламп забезпечує освітлення ділянки згідно з вимогами СН-245-97.

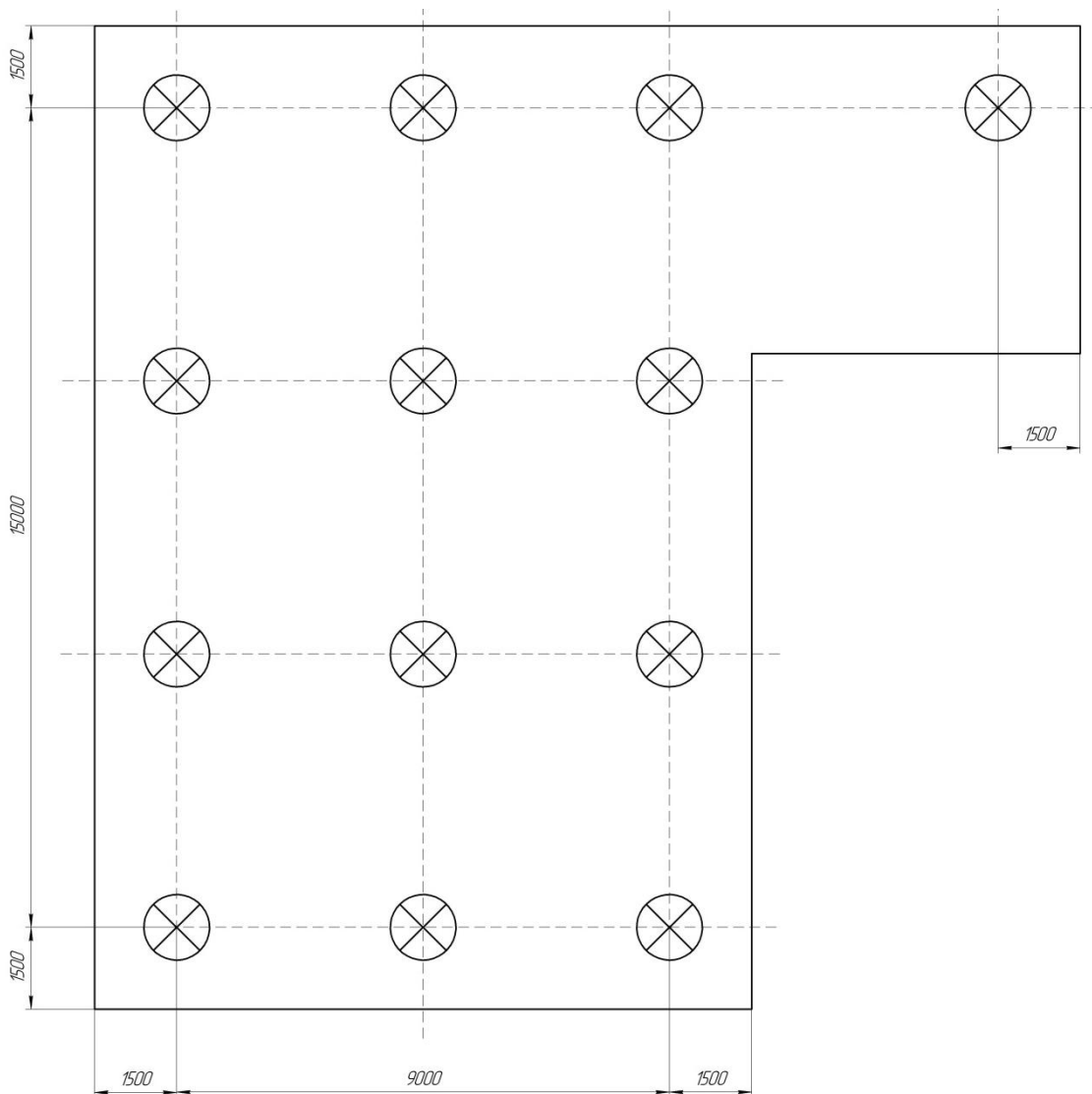


Рис. 4.1. Схема розташування світильників

4.5. Дії в надзвичайних ситуаціях

У разі виникнення надзвичайної ситуації необхідно повідомити керівника дільниці і чітко дотримуватись його команд. Сповістити відповідні служби, у разі виникнення пожежі 101 МНС, у разі витоку газу треба викликати газову службу за номером 104.

Якщо при виникненні надзвичайної ситуації є потерпілі треба надати першу допомогу і за необхідності викликати швидку допомогу за номером 103.

4.6. Висновок

Проаналізувавши стан охорони праці в базовому підприємстві показав, що він знаходиться на задовільному рівні. Проведено перерахунок системи освітлення та модернізовано стару. Впровадження заходів по охороні праці дозволить уникнути травматизму та підвищити якість роботи.

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНКИ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ

Для визначення економічної ефективності проведено проектні розрахунки, виходячи зі збільшення ресурсу й пов'язаного з ним зменшення ремонтних впливів у з'єднанні «вал-манжета».

Економічну ефективність визначали на прикладі відновлення герметичності з'єднання «вал-ущільнення» редуктора Н.090.20.000 за умови збереження поверхні вала й використання при ремонті з'єднання модифікованих ущільнень замість серійних. Заміна стандартних ущільнень на модифіковані манжети може відбуватися як у процесі ремонту, так і при складанні редуктора підшипникового вузла.

При рівних умовах експлуатації стандартне з'єднання служить 3 роки, а модифіковане - 5 років (розділ 4).

Ремонт вузла складається з розбирання, заміни ущільнення на нове, регулювання підшипників і складання. Проводять його при передсезонною підготовкою техніки на місці її зберігання.

Розрахунки економічної ефективності [37] проводили в цінах за станом на 1 листопада 2021 р.

Собівартість ремонту визначали по формулі

$$C=ЗП+ВМ+ЗВВ+ЗГВ+ ПВВ, \quad (5.1)$$

де ЗП – заробітна плата виробничих робітників з нарахуваннями, грн;

ЗМ – витрати на матеріали й комплектуючі, грн;

ОПР – загальновиробничі витрати, грн;

ЗГВ – загальногосподарські витрати, грн;

ПВВ – позавиробничі витрати, грн.

1. Розрахунки заробітної плати:

$$ЗП = ЗПО + ЗПД + ВСС, \quad (5.2)$$

де ЗПО – основна заробітна плата виконавця (виробничих робітників),
грн;

ЗПД – заробітна плата додаткова, грн;

НСП – відрахування на соціальне страхування, грн.

Основна заробітна плата

$$ЗПО = \sum_{i=1}^k T_i C_{срчі} , \quad (5.3)$$

де T – трудомісткість виконання i -ї операції технологічного процесу, що
включає k операцій, люд.-год;

$C_{срчі}$ – годинна тарифна ставка виконавця за виконання i -ї операції при
певному розряді робіт, грн/год.

Трудомісткість виконання робіт $T_P = 18 \text{ хв} = 0,3 \text{ год}$ (хронометраж).
Розряд робіт 4, срчі $C = 85 \text{ грн/год}$. [37].

Враховуючи час на підготовчо-заключні роботи, обслуговування
робочого місця, особисті потреби і т.д., загальна трудомісткість ремонту зросте
на 35% і буде складати:

$$T = T_p \left(1 + \frac{K}{100}\right) , \quad (5.4)$$

$$T = 0,3 (1 + 35/100) = 0,405 \text{ люд.-год.}$$

Визначаємо основну заробітну плату

$$ЗПО = 0,3 \cdot 85 (1 + 35/100) = 34 \text{ грн.}$$

Визначаємо додаткову заробітну плату

$$ЗП_{д} = \frac{ЗП_{о} \cdot K_{д}}{100}, \quad (5.5)$$

де $K_{д}$ – коефіцієнт для розрахунку додаткової оплати,
 $K_{д} = 0...25\%$. Припускаємо $K_{д} = 25\%$.

$$ЗП_{д} = \frac{34 \cdot 25}{100} = 8,5 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальне страхування визначаємо за формулою

$$H_{СП} = \frac{(ЗП_{о} + ЗП_{д}) K_{СП}}{100}, \quad (5.6)$$

де $K_{СП}$ – коефіцієнт відрахувань на соціальне страхування, $K_{СП} = 22\%$;

$$H_{СП} = \frac{(34 + 8,5)22}{100} = 9,35 \text{ грн.}$$

Визначаємо повну заробітну плату за ремонт вузла:

$$ЗП_{о} = 34 + 8,5 + 9,35 = 51,85 \text{ грн.}$$

2. Розрахунки витрат на матеріали й комплектуючі.

Перед складанням з'єднання робоча кромка й посадкова поверхня протираються уайт-спіритом. Витрата знежирювача 5 г. Вартість уайт-спірита 20 грн/л. У цьому випадку $M_1 = 0,005 \cdot 20 = 0,1$ грн.

При установці посадкову й робочу поверхню манжети змазують жиром змащенням 1-13. У порожнину між пильовиком і робочою крайкою манжети закладають змащення (2/3 від обсягу порожнини) – 0,3 гр. Вартість змащення 65 грн/кг. Отже, $M_2 = 0,0003 \cdot 65 = 0,0195$ грн (округляємо до 0,02 грн).

Витрати на придбання комплектуючих запасних частин визначаються сумою вартості виробів і витрат на їхню доставку й зберігання. Для ремонту одного ущільнюючого з'єднання необхідні одна манжета й одна прокладка.

Так як у ролі модифікатора гумової суміші для манжет виступають відходи фторорганічного виробництва, що додаються в кількості 0,4 % від маси гуми, то зменшення вартості матеріалу манжети, пов'язане з модифікацією, буде незначним. Тому вартість модифікованих манжет залишаємо рівній вартості манжет, реалізованих підприємством-виготовлювачем $M_3 = 6$ грн. Витрати на прокладку становлять $M_4 = 2,5$ грн.

Враховуючи накладні та інші витрати (брак, інші матеріали), збільшуємо витрати на матеріали й комплектуючі на 5 %.

Витрати на матеріали й комплектуючі

$$3M = 1,05 (M_1 + M_2 + M_3 + M_4) = 1,05(0,1 + 0,02 + 6 + 2,5) = 9,05 \text{ грн.} \quad (5.7)$$

За базу для розрахунків загальновиробничих (ЗВВ), загальногосподарських (ЗГВ) і позавиробничих (ПВВ) витрат приймаємо оплату праці працівників виробництва. За розрахунковим даними витрат ці витрати перевищують зарплату виробничих робітників в 3,6 разів: $ЗВВ + ЗГВ + ПВВ = 3,6 ЗП_0$

Тоді витрати на ОПР, ОХР і ВПР дорівнюють

$$ЗВВ + ЗГВ + ПВВ = 3,6 \cdot 51,85 = 186,66 \text{ грн.} \quad (5.8)$$

Повна собівартість ремонту з'єднання «вал-манжета» становить

$$C_p = 51,85 + 9,05 + 186,66 = 247,56 \text{ грн.}$$

Порівняємо повну собівартість проведення ремонту фахівцями підприємства з вартістю послуг сторонньої організації по сервісу техніки $З_{cc}$.

Визначимо витрати Z_{cc} виходячи з вартості оплати послуг сторонньої організації за зміну OP_{cc} та часу, необхідного для ремонту з'єднання:

$$Z_{cc} = OP_{cc} T / 8 + 3M. \quad (5.9)$$

Оплата послуг складається з оплати виїзду майстра до господарства OP_{bc} та оплати витраченого часу T_c . Оплата виїзду майстра при відстані до 150 км становить 1200 – 1400 грн, оплата послуг майстра $OP_{bc} = 650 \dots 800$ грн/год. Для мінімізації питомих витрат розрахунки проведемо при роботі майстра сервісу протягом 8 ч. Мінімальна вартість послуг сервісу протягом 8 год буде складати:

$$OP_{cc} = OP_{bc} + 8 OP_{bc} = 1850 + 8 \cdot 650 = 7050 \text{ грн}. \quad (5.9)$$

$$\text{Тоді } Z_{cc} = 7050 \cdot 0,405 / 8 + 9,05 = 366 \text{ грн}.$$

Більш вигідний варіант – ремонт фахівцями підприємства (при середній зарплаті слюсаря 12000 грн).

У результаті використання модифікованих ущільнень, при однаковій собівартості ремонтних впливів у базовому C_{PB} і пропонованому C_{PI} варіантах, ресурс збільшується із трьох сезонів у базовому T_B до п'яти сезонів у пропонованому T_{PI} варіанті.

Визначимо річний економічний ефект на одне з'єднання

$$E_p = C_{PB} / T_B - C_{PI} / T_{PI} = 247,56/3 - 247,56/5 = 33 \text{ грн}. \quad (5.10)$$

Проведемо розрахунки на восьмирічний термін служби t для 1000 агрегатів з обліком дисконтування, прийнявши середню норму дисконту $E = 0,1$ (0,07...0,12)

$$E_c = \sum_{i=1}^t \frac{E_p}{(1+E)^i} A = \sum_{i=1}^8 \frac{33}{(1+0,1)^i} 1000 = 240000 \text{ грн} \quad (5.11)$$

За результатами розрахунків встановлено, що економічний ефект від збільшення ресурсу, пов'язаного із застосуванням модифікованих ущільнень, розраховуючи на 8 років для 1000 вузлів складе 240 000 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Установлено, що однією із причин низької надійності вітчизняної сільськогосподарської техніки та техніки виробленою В СНД є передчасна відмова ущільнювальних пристроїв валів. Їхня довговічність не відповідає технічним вимогам і терміну служби агрегату. За період експлуатації сільськогосподарських машин фактична витрата ущільнень в 2- 3 рази перевищує нормативний. Порушення герметичності ущільнювальних з'єднань знижує надійність експлуатації машин, збільшує витрати при ремонті, підвищує витрата мастильних матеріалів, погіршує екологію.

2. Аналіз різних видів ущільнювальних пристроїв, застосовуваних у сільськогосподарській техніці, показав, що для ущільнення валів і осей, що роблять обертовий рух, найбільше широко (80%) застосовують манжети гумові армовані. Підвищене зношування й втрата ущільнюючого ефекту з'єднання відбувається через недотримання встановлених норм шорсткості поверхні й в основному через недостатню зносостійкість гуми.

3. Згідно з попередніми дослідженнями, установлене, що підвищити працездатність з'єднання можна зменшенням зношування поверхні вала й робочої кромки манжети, забезпеченням оптимального притиснення робочої кромки манжети до вала й підвищенням антифрикційних властивостей пари тертя, у тому числі за рахунок зміни фізико-механічних властивостей гум.

4. Запропонований у роботі метод об'ємного модифікування, що полягає у введенні до складу гумової композиції на стадії її виготовлення малих добавок фторорганічних з'єднань (ФС) (у кількості однієї масової частини на 100 масових частин каучуку), впливає на гуму, поліпшуючи її фізико-механічні властивості й триботехнічні характеристики.

5. Результати експериментальних досліджень впливу об'ємного модифікування на фізико-механічні властивості гуми, виконані за методикою, описаної в гл. 3, показали, що в порівнянні із серійною, модифіковані спирт-теломером і фторпарафіном гуми мають більш високі відносні подовження – на

40 і 27%, опір раздиру – в 1,4 і 1,3 рази, умовну міцність при розтяганні – на 0,5 МПа, поліпшені показники після старіння по відносному подовженню – на 11 і 16,5% і твердості по Шору А – на 2 і 1 ум. од. Добавка ФП зменшує залишкову деформацію при стиску на 7% і збільшує опір стиранню на 20%.

6. Прискорені випробування показали, що в манжет, модифікованих СТ, сила й коефіцієнт тертя зменшилися в 1,43 і 1,32 рази в порівнянні з вихідною гумою, а в манжет, модифікованих ФП, відповідно в 1,45 і 1,37 рази. Об'ємне модифікування гумових армованих манжет фторпарафіном (ФП) дало кращий антифрикційний ефект. Тривалі випробування показали зменшення величини зношування за час випробувань в 1,61 рази (ФП), інтенсивності зношування в 1,58 (СТ) і збільшення прогнозованого ресурсу модифікованих манжет в 1,7 рази.

7. Економічний ефект від збільшення ресурсу модифікованих ущільнень розраховуючи на 8 років для 1000 вузлів складе близько 240000 тис. грн.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дирда В.І. Довідковий посібник розрахунків механізмів сільськогосподарських та підйомно-транспортних машин: навчальний посібник / В.І. Дирда, Ю.М. Овчаренко - Дніпропетровськ, 2003. – 52 с.
2. Деталі машин: підручник / [Дирда В.І., Овчаренко Ю.М., Рижков Є.І. та ін.]. – Луганськ: Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2010. – 308 с.
3. Гаркунов, Д.Н. Триботехника: Пособие для конструктора: учебник для студентов вузов / Д.Н. Гаркунов. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1999. – 336 с.
4. Калганков Є.В. Деякі проблеми гідроабразивно-втомного зносу деталей об'ємного гідроприводу мобільних машин / Є.В. Калганков // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ. – 2013. – №108. – С. 133-142.
5. Исследование скоростных и нагрузочных режимов в рядовых условиях эксплуатации, отказов и дефектов деталей редукторных элементов трансмиссий сельхозмашин: отчет о НИР. – М.: МИИСП им. В.П. Горячкина, 1988. – 71 с.
6. Леонов О.А. Повышение долговечности подвижных соединений «валуплотнение» оптимизацией точностных параметров (на примере редукторов картофелеуборочных комбайнов): дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Леонов Олег Альбертович. – М., 1994. – 150 с.
7. Апатенко А.С. Повышение технической готовности машин мелиоративного комплекса за счет оптимизации ремонтно-технических воздействий / А.С. Апатенко, Н.И. Владимирова // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 113. – С. 116-121.
8. Голубев А.И. Уплотнения и уплотнительная техника: справочник / А.И. Голубев, Л.А. Кондаков. – М.: Машиностроение, 1986. – 464 с.
9. Майер Э. Торцовые уплотнения / Пер. с нем. / Э. Майер. – М.: Машиностроение, 1978. – 288 с.

10. Голубев А.И. Уплотнения и уплотнительная техника: справочник / А.И. Голубев, Л.А. Кондаков. – М.: Машиностроение, 1986. – 464 с.
11. Каталог деталей и сборочных единиц тракторов «Беларус» МТЗ 80/82. – Мн.: Ураджай, 1974. – 312 с.
12. ГОСТ 8752-79. Манжеты резиновые армированные для валов. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 48 с.
13. ГОСТ 27310-87. Комбайны картофелеуборочные. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 10 с.
14. Давыдов А.П. Резиновые подшипники в машиностроении / А.П. Давыдов. – Л.: Машиностроение (Ленинградское отд.), 1976. – 200 с.
15. Технические требования на ремонт картофелеуборочного комбайна ККУ-2А. – М.: ГОСНИТИ, 1985. – 96 с
16. Буканов А.М. Модификация резин галоидированными углеводородами / А.М. Буканов, А.Е. Корнев, А.А. Коложвари и др.: препринты Международной конференции по каучуку и резине. – М., 1984. Секция С. Т. 2. – С. 47.
17. Гайдар С.М. Адсорбция Фтор-ПАВ и ее влияние на смазку трибосопряжений в условиях граничного и гидродинамического трения / С.М. Гайдар, А.А. Волков, М.Ю. Карелина // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 118. – С. 113-123
18. Юровский В.О. Научные основы и опыт конструирования манжетных уплотнителей для валов / В.О. Юровский, В.К. Коморницкий-Кузнецов, Е.М. Фиалка // Каучук и резина. – 1980. – № 4. – С. 17-20.
19. Кондаков, Л.А. Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем / Л.А. Кондаков. – М.: Машиностроение, 1982. – 216 с.
20. Калганков Е.В. Расчет долговечности резиновых футеровок шаровых рудоразмольных мельниц с учетом старения резины / Калганков Е.В. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб . наук . Праць , Ін- т геотехнічної механіки ім. М .С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2013. – No 113. С. 181–202.

21. Дирда В. И. Определение долговечности упругонаследственных сред с использованием обобщенных критериев разрушения / В. И. Дирда, А. В. Толстенко, Е. В. Калганков. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – №4. – С. 4–7.

22. Калганков Є. В. Особливості фрактального аналізу поверхні руйнування гумових футерівок, що працюють в умовах абразивно-втомного зносу / Є. В. Калганков. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ. – 2017. – №133. – С. 66–74.

23. Корнійко Е.О. Вплив модифікаторів на фізико-механічні властивості еластомірних матеріалів / Е.О. Корнійко, Є.В. Калганков // Актуальні проблеми розвитку науки в контексті глобальних трансформацій інформаційного суспільства: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції ГО "Інститут інноваційної освіти" Науково-навчальний центр прикладної інформатики НАН України. Київ. – 2021. – С. 52–57.

24. Булат А. Ф. Синергетична модель хвильового абразивно-втомного зносу гумової футерівки в барабанних кульових млинах / А. Ф. Булат, В. І. Дирда, Є. В. Калганков. // Науковий вісник НГУ. - Дніпро.: – 2018. – №5. – С. 39–47. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-5/5>

25. Прикладная механика упруго-наследственных сред. В 3-х томах / А.Ф. Булат, В.И. Дырда, В.Г. Карнаухов, Е.Л. Звягильский, А.С. Кобец. – Киев: Наукова думка, 2014. – Т. 4 (дополнительный). Вынужденные колебания и диссипативный разогрев неупругих тел. – 2014. – 448 с.

26. ГОСТ 269– 66. Гума. Загальні вимоги до проведення фізико-механічних випробувань.

27. ГОСТ 270–75. Методы определения упругопрочностных свойств при растяжении

28. ГОСТ 263-75 Резина. Метод определения твердости по Шору А – Введ. 01.01.1977. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 6 с.

29. ГОСТ 9.024-74 Единая система защиты от коррозии и старения. Резины. Методы испытаний на стойкость к термическому старению. – Введ. 01.07.1975 – М.: Издательство стандартов, 1994. – 8 с.

30. ГОСТ 9.030-74 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Резины. Методы испытаний на стойкость в ненапряженном состоянии к воздействию жидких агрессивных сред (с Изменениями N 1-4) Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 1 июля 1974 г. N 1594 дата введения установлена 01.07.75. – М.: Стандартиформ, 2008. – 20 с.

31. Белов, М.И. Оценка давления уплотнения на вал / М.И. Белов, М.Н. Ерохин, О.М. Мельников // Агроинженерия. – 2020. – № 2 (96). – С. 29-33

32. Дирда В.І. Пат. 139991 Україна, МПК (2020.01), C08L 9/00 Гумова суміш для виготовлення захисних футеровок кульових млинів / Калашніков В.О., Головка Л.Г., Калганков Є.В., Цаніді І.М. u2019 04366; заявл. 22.04.2019; опубл. 10.02.2020, Бюл.№ 3-5с.

33. Закон України “Про охорону праці” / Законодавство України про охорону праці. - К. Нова редакція 2002 р.

34. НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 "Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників".

35. ДБН В.2.5-28-2018 "Природне і штучне освітлення".

36. Годяев С. Г. Методичні рекомендації до написання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» в дипломних роботах для студентів інженерно-технологічного факультету денної і заочної форми навчання спеціальності: 208 «Агроінженерія» / Годяев С. Г., Дмитрюк С. П., Січко І. М.. Дніпро: ДДАЕУ, 2018 – 24с.

37. Вініченко І.І. Методичні рекомендації з економічного обґрунтування дипломних робіт для студентів факультету механізації сільського господарства / І.І Вініченко, А.О. Сітковська. Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2016. – 27 с.

38. Калганков Є.В. Методичні рекомендації до виконання і оформлення дипломних проектів ОС "Бакалавр" за спеціальністю 208 "Агроінженерія" і

дипломних робіт ОС "Магістр" за спеціальністю 208 "Агроінженерія" /
Калганков Є.В. – Д.: ДДАЕУ, 2021. – 36 с.

39. ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і
техніки. Структура та правила оформлювання.

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра надійності і ремонту машин

**ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТОЗДАТНОСТІ ДЕТАЛЕЙ
МАШИН ВИГОТОВЛЕНИХ З ЕЛАСТОМІРНОГО МАТЕРІАЛУ**

Доповідач: Корнійко Е.О.

Керівник д.т.н., проф: Дирда В.І.

МЕТА РОБОТИ

Підвищення працездатності еластомірних ущільнювальних пристроїв підшипникових вузлів сільськогосподарської техніки задля підтримки надійності машин, зменшення простоїв через несправність і ремонт, а також зниження витрат на технічне обслуговування.

ЗАДАЧІ РОБОТИ

1. Провести аналіз ущільнюючих пристроїв валів сільськогосподарської техніки, виявити характер і причини дефектів у з'єднанні «вал-манжета»;
2. Провести аналіз існуючих методів підвищення працездатності ущільнюючих пристроїв;
3. Визначити спосіб модифікування манжет, що підвищує працездатність ущільнюючих пристроїв підшипникових вузлів сільськогосподарської техніки за рахунок зміни фізико-механічних і антифрикційних властивостей гум;
4. Оцінити вплив фторорганічних добавок на фізико-механічні властивості гум і триботехнічні характеристики модифікованих ущільнень;
5. Удосконалити методику визначення найменшого функціонального натягу в з'єднанні «вал-манжета»;
6. Розробити спосіб безрозбірного відновлення герметичності ущільнюючих пристроїв;
7. Оцінити техніко-економічну ефективність результатів досліджень.

3

Умови роботи агрегату та дефекти ущільнень



Робота посівного агрегату



Зовнішній вигляд агрегатів сільськогосподарської техніки при порушенні герметичності ущільнень підшипникових вузлів

4

Дефекти деталей внаслідок руйнування манжет та ущільнень



Потрапляння бруду у підшипник внаслідок руйнування манжети



Натирання гуми на вал



Корозія підшипника внаслідок потрапляння води через зруйнований підшипник



Зношування вала



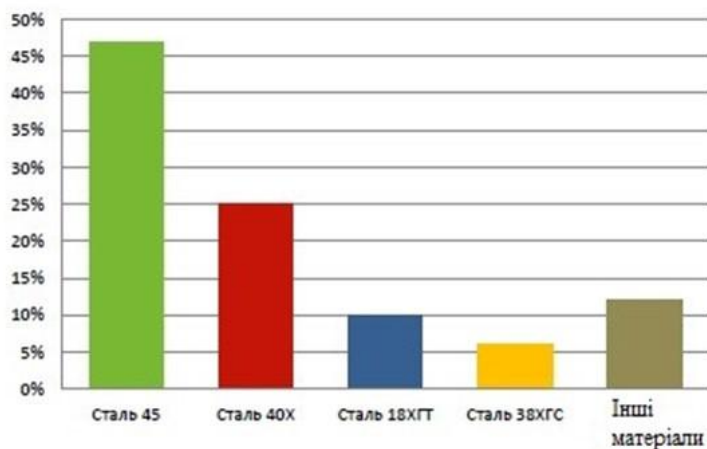
Корозія робочої поверхні вала в зоні контакту з манжетою



Порушення цілості зовнішньої поверхні манжет

5

Обґрунтування деталей для подальших досліджень



Матеріали, що використовуються для виготовлення валів сільськогосподарської техніки

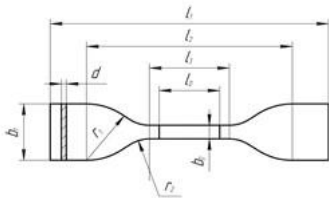
Найпоширенішими є вали зі сталі 45 і ущільнення з гуми на основі бутадієннитрильного каучуку розміром 45х65. У зв'язку з цим усі подальші дослідження в роботі проводилися для трибоз'єднання цієї групи.

6

Експериментальна установка і зразки для випробувань



Експериментальна установка 2166 P-5 з розривним вузлом



Замір твердості гуми

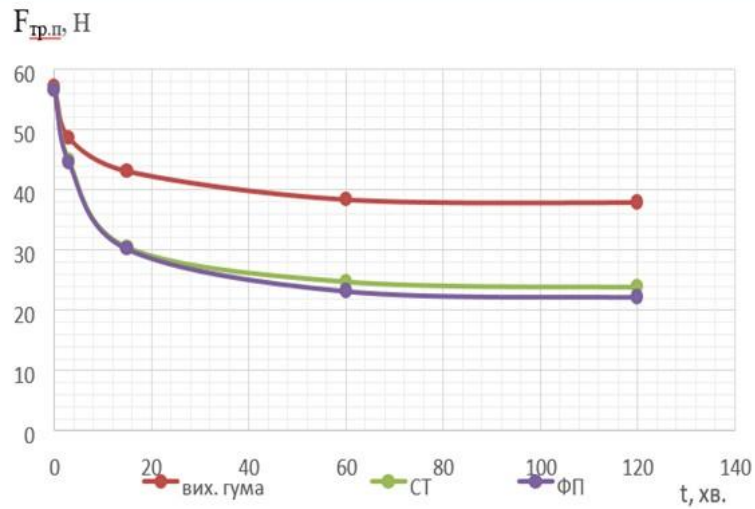
Креслення та загальний вигляд зразка для випробування

7

Результати експериментальних досліджень

Показник	Вихідна гума	СТ	ФП
Умовна міцність при розтягуванні, МПа	11,6	12,1	12,1
Відносне подовження при розриві, %	290	330	317
Зміна відносного подовження після старіння на повітрі при 100 °С протягом 24 год, %	-24,1	-13,0	-7,6
Твердість по Шору А, ум. од.	77	77	75
Зміна твердості по Шору А:			
– після старіння в повітрі (100 °С, 72 год)	6	4	5
– після впливу СЖР-1 (100 °С, 72 год)	6	5,8	6
Залишкова деформація при 20%-вому стисканні на повітрі при 100°С протягом 24 год, %	59,3	59,3	55,6
Зміна показників після впливу суміші ізооктан + толуол (7:3) (23 °С протягом 24 год):			
– об'єму, %	26,4	26,6	26,9
– маси, %	14,9	14,8	15,0
Опір стиранню, Дж/мм ³	15,08	14,6	18,1
Опір раздиру, Н/мм	37,3	52,3	48,8

Результати експериментальних досліджень



Вплив модифікування й наробітку на силу тертя пуску

Випробування показали, що зі збільшенням наробітку сила тертя пуску для всіх манжет зменшується. За час наробітку 120 хвилин у манжет, модифікованих спиртилломіром, після нерухомого контакту протягом 15 секунд, сила тертя пуску зменшилась в 1,59 разів, а добавка фторпарафіну дала зменшення показника в 1,71 рази в порівнянні з вихідною гумою.

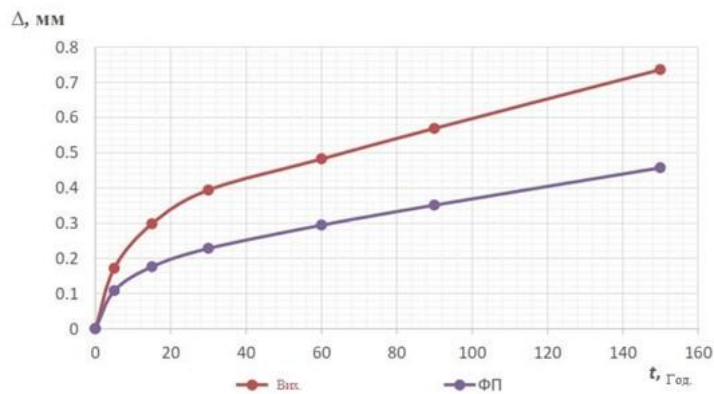
9

Результати експериментальних досліджень

Вимірюваний параметр	Час роботи, год					
	5	15	30	60	90	150
Величина зношування манжет, мм:						
- вихідних	0,172	0,298	0,394	0,482	0,569	0,736
- модифікованих	0,108	0,176	0,228	0,294	0,351	0,457

Результати зносу манжет при тривалих стендових випробуваннях пар тертя

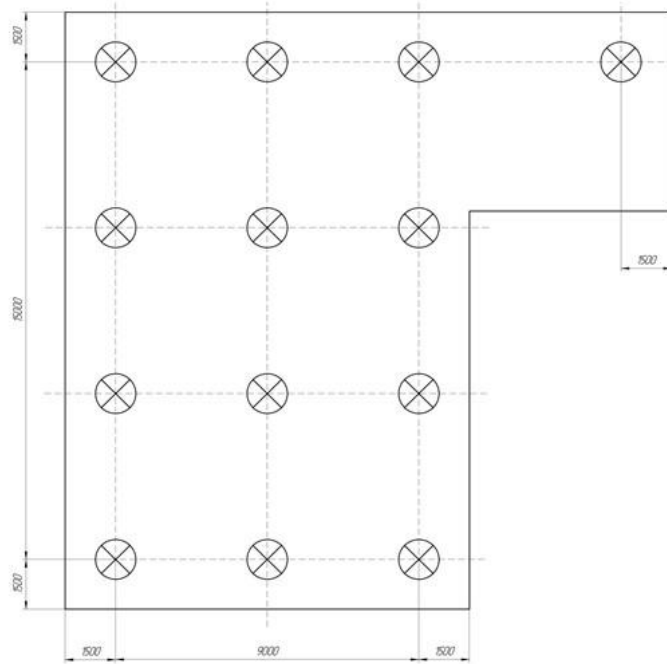
«вал-манжета»



Знос робочої кромки манжет

10

Схема розташування світильників у агрегатному відділенні



11

Техніко-економічна оцінка роботи

У результаті використання модифікованих ущільнень, при однаковій собівартості ремонтних впливів у базовому $C_{РБ}$ і пропонованому $C_{РП}$ варіантах, ресурс збільшується із трьох сезонів у базовому T_B до п'яти сезонів у пропонованому $T_{П}$ варіанті.

Визначимо річний економічний ефект на одне з'єднання

$$E_p = C_{РБ} \cdot T_B - C_{РП} \cdot T_{П} = 247,56/3 - 247,56/5 = 33 \text{ грн.}$$

Проведемо розрахунки на восьмирічний термін служби t для 1000 агрегатів з обліком дисконтування, прийнявши середню норму дисконту $E = 0,1$ (0,07...0,12)

$$E_c = \sum_{i=1}^t \frac{E_p}{(1+E)^i} \cdot A = \sum_{i=1}^8 \frac{33}{(1+0,1)^i} \cdot 1000 = 240000 \text{ грн}$$

За результатами розрахунків встановлено, що економічний ефект від збільшення ресурсу, пов'язаного із застосуванням модифікованих ущільнень, розраховуючи на 8 років для 1000 вузлів складе 240 000 грн.

1. Установлено, що однією із причин низької надійності вітчизняної сільськогосподарської техніки та техніки виробленою В СНД є передчасна відмова ущільнювальних пристроїв валів. Їхня довговічність не відповідає технічним вимогам і терміну служби агрегату. За період експлуатації сільськогосподарських машин фактична витрата ущільнень в 2-3 рази перевищує нормативний. Порушення герметичності ущільнювальних з'єднань знижує надійність експлуатації машин, збільшує витрати при ремонті, підвищує витрата мастильних матеріалів, погіршує екологію.

2. Аналіз різних видів ущільнювальних пристроїв, застосовуваних у сільськогосподарській техніці, показав, що для ущільнення валів і осей, що роблять обертовий рух, найбільше широко (80%) застосовують манжети гумові армовані. Підвишене зношування й втрата ущільнюючого ефекту з'єднання відбувається через недотримання встановлених норм шорсткості поверхні й в основному через недостатню зносостійкість гуми.

3. Згідно з попередніми дослідженнями, установлене, що підвищити працездатність з'єднання можна зменшенням зношування поверхні вала й робочої кромки манжети, забезпеченням оптимального притиснення робочої кромки манжети до вала й підвищенням антифрикційних властивостей пари тертя, у тому числі за рахунок зміни фізико-механічних властивостей гуми.

4. Запропонований у роботі метод об'ємного модифікування, що полягає у введенні до складу гумової композиції на стадії її виготовлення малих добавок фторорганічних з'єднань (ФС) (у кількості однієї масової частини на 100 масових частин каучуку), впливає на гуму, поліпшуючи її фізико-механічні властивості й триботехнічні характеристики.

5. Результати експериментальних досліджень впливу об'ємного модифікування на фізико-механічні властивості гуми, виконані за методикою, описаною в гл. 3, показали, що в порівнянні із серійною, модифіковані спирт-теломером і фторпарафіном гуми мають більш високі відносні подовження – на 40 і 27%, опір раздиру – в 1,4 і 1,3 рази, умовну міцність при розтяганні – на 0,5 МПа, поліпшені показники після старіння по відносному подовженню – на 11 і 16,5% і твердості по Шору А – на 2 і 1 ум. од. Добавка ФП зменшує залишкову деформацію при стиску на 7% і збільшує опір стиранню на 20%.

6. Прискорені випробування показали, що в манжет, модифікованих СТ, сила й коефіцієнт тертя зменшилися в 1,43 і 1,32 рази в порівнянні з вихідною гумою, а в манжет, модифікованих ФП, відповідно в 1,45 і 1,37 рази. Об'ємне модифікування гумових армованих манжет фторпарафіном (ФП) дало кращий антифрикційний ефект. Тривалі випробування показали зменшення величини зношування за час випробувань в 1,61 рази (ФП), інтенсивності зношування в 1,58 (СТ) і збільшення прогнозованого ресурсу модифікованих манжет в 1,7 рази.

7. Економічний ефект від збільшення ресурсу модифікованих ущільнень розраховуючи на 8 років для 1000 вузлів складе близько 240000 тис. грн.

Національна академія наук України
Науково-навчальний центр прикладної інформатики
Інститут інноваційної освіти



Актуальні проблеми розвитку науки в контексті глобальних трансформацій інформаційного суспільства

Матеріали
IV Міжнародної науково-практичної конференції
29-30 жовтня 2021 р.

Інститут
інноваційної
освіти



Міжнародні та всеукраїнські
науково-практичні конференції

www.novaosvita.com

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Науково-навчальний центр прикладної інформатики

ІНСТИТУТ ІННОВАЦІЙНОЇ ОСВІТИ

**АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ НАУКИ В
КОНТЕКСТІ ГЛОБАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ
ІНФОРМАЦІЙНОГО СУСПІЛЬСТВА**

МАТЕРІАЛИ

IV Міжнародної науково-практичної конференції

*29–30 жовтня 2021 р.
м. Київ*

Київ
Інститут інноваційної освіти
2021

УДК 001(063):378.4 (Укр)
ББК 72я43
А43

*До збірника увійшли матеріали наукових робіт (тези доповідей, статті),
надані згідно з вимогами, що були заявлені на конференцію.*

*Роботи друкуються в авторській редакції, мовою оригіналу.
Автори беруть на себе всю відповідальність за зміст поданих матеріалів.
Претензії до організаторів не приймаються.
При передруку матеріалів посилання обов'язкове.*

A43 **Актуальні Проблеми розвитку науки в контексті глобальних
трансформацій інформаційного суспільства** : Матеріали IV Міжнародної науково-
практичної конференції (м. Київ, 29–30 жовтня 2021 р.) / ГО «Інститут інноваційної
освіти»; Науково-навчальний центр прикладної інформатики НАН України. – Київ :
ГО «Інститут інноваційної освіти», 2021. – 100 с.

Матеріали конференції рекомендуються освітянам, науковцям, викладачам, здобувачам
вищої освіти, аспірантам, докторантам, студентам вищих навчальних закладів тощо¹.

Відповідальний редактор: С.К. Бурма
Коректор: П.А. Немкова

Матеріали видано в авторській редакції.

УДК 001(063):378.4 (Укр)

© Усі права авторів застережені, 2021
© Інститут інноваційної освіти, 2021
© Друк ФОП Москвін А.А., 2021

Підписано до друку 08.11.2021. Формат 60x84/16.
Віддруковано з готового оригінал-макету.
Папір офсетний. Друк цифровий. Гарнітура Charter. Ум. Друк. арк. 5,81.
Зам. № 0811/21-11. Тираж 100 прим. Ціна договірна. Виходить українською мовою.

Виготівник. ФОП Москвін А.А. Цифрова друкарня «Сору Арт».
69095, Запоріжжя, просп. Соборний, 109. Тел.: (061) 708-08-80
Інститут інноваційної освіти: e-mail: novavita@gmail.com; сайт: www.novavita.com

Видання здійснене за експертної підтримки
Науково-навчального центру прикладної інформатики НАН України
03680, Київ-187, просп. Академіка Глушкова, 40.

¹ Відповідно п. 12 порядку призначення науковців ступеня застеряженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2018 р. № 867 п. 28 постанови Кабінету Міністрів України від 30 грудня 2018 р. № 1187 «про застеряження ліцензійних умов провадження освітньої діяльності» п. 18 постанови Кабінету Міністрів України від 12 липня 2004 р. № 882 «про питання оптимізаційного забезпечення».

МЕХАНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 678.4.06:539.51

Е.О. Корнійко,

здобувач вищої освіти освітнього ступеня магістра
інженерно-технологічного факультету
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Є.В. Калганков,

старший викладач кафедри надійності і ремонту машин
інженерно-технологічного факультету
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

ВПЛИВ МОДИФІКАТОРІВ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕЛАСТОМІРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація. Встановлено збільшення коефіцієнта дисипації для гуми модифікованої фулереном C_{60} на 20-25%, що свідчить про підвищення еластичності гуми, а отже і її живучість. Також дослідження показали на витривалість гуми модифікованої фулереном проти теплової дії, так зразки витримані 72 години при температурі $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ зістарились на 20%.

Ключові слова: наноматеріали, фулерен, модифікація, гумова суміш, дисипація, коефіцієнт дисипації, фізико-механічні властивості, старіння.

Загальна суть проблеми. Найбільшого поширення для модифікації властивостей різних матеріалів набуває такий матеріал як фулерен.

Фулерени – це недавно відкрита форма вуглецю, відмінна від раніше відомих графіту й алмаза. Найпоширенішим серед фулеренів є фулерен C_{60} , що представляє собою молекулу з 60 атомів вуглецю, які утворюють замкнену сферичну поверхню, складену із правильних шести- і п'ятикутників, – молекулярний аналог європейського футбольного м'яча за, що спочатку і було фулерен C_{60} названо – футболеном [1].

Головною особливістю фулеренів є їхня підвищена реакційна активність. Вони легко захоплюють атоми інших речовин і утворюють матеріали із принципово новими властивостями. На їхній основі виникла нова стереохімія вуглеців, що дозволяє цілеспрямовано створювати нові органічні молекули і, отже, речовини із заданими формами й властивостями.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Фулери активно досліджені в медицині; так відома робота [2] де японські вчені провели дослідження на щурах і довели, що фулерен уповільнює старіння та подовжує термін життя. Після цього було проведено багато досліджень і встановлено позитивний вплив фулерену на людину. Так на основі фулерену було розроблено фулеренову воду, крема та інше. Згідно досліджень [3] фулерен є активатором росту різних сільськогосподарських культур.

Можливість фулерена суттєво змінювати властивості матеріалів підтверджена вченими В. Д. Бланком, М. Ю. Поповим та С.Г. Бугою у 1993 році коли вони отримали на основі фулерену новий матеріал – ультра твердий фулерит, який володіє унікальними пружними властивостями та твердістю і здатен подряпати алмаз [4]. Стосовно полімерів також доведено те, що додавання фулерену до складу полімеру суттєво міняє його властивості, це доведено Э. Бадамшиною, Е. Атовмяном, Я. Эстриним [5].

Менше досліджено вплив фулеренів на гуму, але існує багато робіт в яких вказується на позитивний вплив фулеренів на фізико-механічні властивості гум. Так доведено позитивну дію фулерену на каучук [6], де встановлено, що каучук модифікований фулереном стає більш стійким до температурної дії, а також підвищується зносостійкість та знижується старіння.

Мета роботи. Створення та дослідження еластомірного матеріалу, що працює в важких, екстремальних умовах фулереном C_{60} та дослідження її фізико-механічних властивостей.

Виклад основного матеріалу. Працездатність багатьох гумових деталей істотно залежить від властивостей використовуваних матеріалів, які визначають умови тепловідводу, розподіл навантаження, опір стиранню та старінню. На відміну від металів гумові деталі мають кращі дисипативні властивості, що в свою чергу подовжує термін служби машини та зменшує старіння гумової деталі [7], що важливо для гумових деталей (гумових футеровок), які працюють при значних динамічних навантаженнях, важких ударних, а досить часто і екстремальних умовах.

Розроблена рецептура гуми з додаванням фулерену C_{60} у кількості 0,05 мас. частин дає змогу істотно змінити властивості кінцевої гумової деталі [8]. Завдяки модифікації, підвищуються показники довговічності, умовної міцності під час розтягування, твердості за Шором, опору під час роздирання, старіння та розширюється область її використання.

Гумова суміш була приготована відомим способом за режимом виготовлення стандартних гумових сумішей на вальцях. Для лабораторних досліджень були виготовлені зразки у вигляді циліндрів діаметром 100 мм та висотою 50 мм (рис. 2) без додавання фулерену C_{60} та з додаванням у пропорції 0,05 мас. частин. Також було виготовлено зразки прямокутної

форми з футеровочної плити яка відпрацювала 9300 годин на першій стадії подрібнення з кулею 100 мм.



Рис. 2. Зразки для випробувань

Після підготовки зразків було проведено дослідження їх фізико-механічних властивостей. Проводились випробування на стиск та розтяг (рис. 3), отримано релаксаційні властивості гуми та дослідження коефіцієнт дисипації який є досить важливим показником.

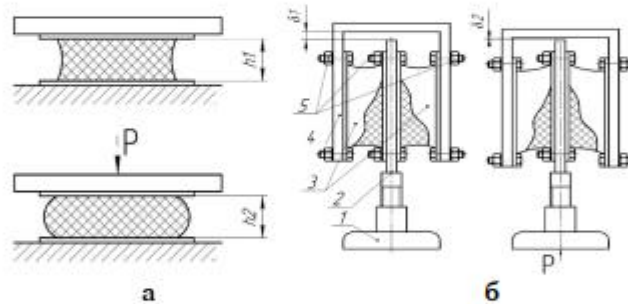


Рис. 3. Схеми проведення випробувань зразків
а – випробування на стиск, б – випробування на зсув

Дослідження релаксації гуми проводилось на заздалегідь підготовлених зразках, тобто перед випробуванням зразки підлягали тренуванню (навантаження та розвантаження 3 рази відпочинок між операціями 3 – 5 хв). Релаксаційні криві наведено на рис. 4.

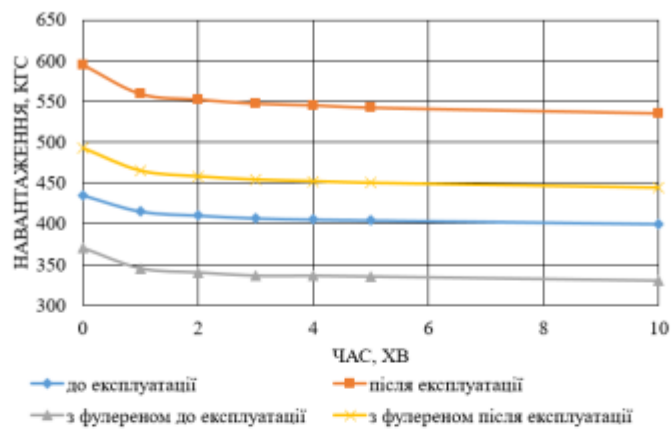


Рис. 4. Релаксаційні криві гуми

Аналізуючи криві можна побачити, що гума без модифікації після 9300 годин експлуатації стала більш жорсткою, це пояснюється старінням гуми, але треба зауважити, що старіння відбувається в межах 25-27 %, що є непоганим показником за весь термін експлуатації.

Гума модифікована фулереном C_{60} є дещо м'якшою від еталонної гуми в середньому на 15%. Після експлуатації гума модифікована фулереном також стала жорсткішою але на 15-18%. Всі ці показники вказують на досить вдалий склад гуми і підтверджують результати роботи [9] де вказано на те, що у гуми деформується і зазнає старіння лише певний шар гуми.

Дослідження дисипативних властивостей гуми проводились фіксацією навантаження при деформації 10 мм (рис. 5). Після отримання та побудови графічних залежностей вираховувався коефіцієнт дисипації ψ .

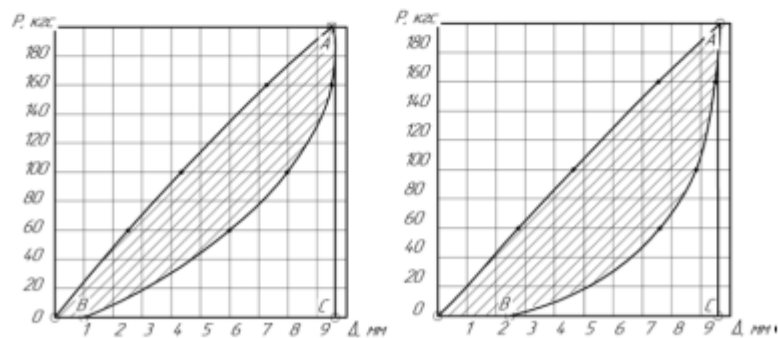


Рис. 5. Визначення коефіцієнта дисипації гуми марки А а – контрольний зразок, б – зразок модифікований фулереном C_{60}

За результатами досліджень встановлено збільшення коефіцієнта дисипації на 20-25%, що свідчить про підвищення еластичності гуми. Фізико-механічні властивості гум наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості гуми

Найменування показників	Одиниця вимірювання	Базова суміш	Суміш модифікована
Твердість по Шору	A	72	68-69
Опір роздиру	кгс/см	45	54
Старіння при 100 °C на протязі 72 год.	%	0,60-0,62	0,75-0,77
Коефіцієнт дисипації		0,52	0,66

Таким чином, модифікація гумової суміші фулереном C_{60} дозволяє поліпшити фізико-механічні властивості гуми в середньому на 25%, подовжити її довговічність та зменшити старіння гумових футеровок, що працюють в важких екстремальних умовах в середньому на 20 %, для футеровок, що працюють в більш м'яких умовах цей показник значно вищий і складає 30-35%.

Висновок. 1. Встановлено вплив фулерену C_{60} на фізико-механічні властивості гуми, а саме гума без модифікації після 9300 годин експлуатації стала більш жорсткою, це пояснюється старінням гуми, але треба зауважити, що старіння відбувається в межах 25–27 %, що є непоганим показником за весь термін експлуатації, гума модифікована фулереном C_{60} є дещо м'якішою від еталонної гуми в середньому на 15%. Після експлуатації гума модифікована фулереном також стала жорсткішою але на 15–18%. Всі ці показники вказують на досить вдалий склад гуми. 2. Встановлено збільшення коефіцієнта дисипації для гуми модифікованої фулереном C_{60} на 20–25%, що свідчить про підвищення еластичності гуми.

Список використаних джерел

1. General Information About Fullerene C60, Also Known As Buckyballs. [Електронний ресурс] // Nanografi-Blografi. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://medium.com/@nanografi/general-information-about-fullerene-c60-also-known-as-buckyballs-1654c74c6b30>.
2. The prolongation of the lifespan of rats by repeated oral administration of [60] fullerene / [Т. Ваати, F. Bourasset, N. Gharbi та ін.]. // Biomaterials. – 2012. – С. 4936–4946.
3. Синтез и исследование биологической активности аддукта смеси фуллеренов и индолилмасляной кислоты / А. В. Чичвари [и др.] // Труды БГТУ. – Минск : БГТУ, 2015. – № 4 (177) 2015 год. – С. 49–54.
4. Сорокин П. Фуллерены: история открытия и свойства [Електронний ресурс] / П. Сорокин. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://science.misis.ru/ru/views/343/13982/>.

5. Атовмян Е. Г. Зачем полимерам фулерен? / Е. Г. Атовмян, Э. Р. Бадамшина, Я. И. Эстрин. // Ежемесячный естественнонаучный иллюстрированный журнал «Природа». – 2008. – №10. – С. 16–22.
6. Чичварин А.В. Тепловое старение каучука модифицированного смесью фуллеренов / Чичварин А.В., Игуменова Т.И., Гудков М.А. // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 4.
7. Калганков Е.В. Расчёт долговечности резиновых футеровок шаровых рудоразмельных мельниц с учётом старения резины / Е.В. Калганков // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2013. – Вып. 113. – С. 181–202.
8. Дирда В.І. Пат. 139991 Україна, МПК (2020.01), C08L 9/00 Гумова суміш для виготовлення захисних футеровок кульових млинів / Калашніков В.О., Головка Л.Г., Калганков Є.В., Цаніді І.М. u2019 04366; заявл. 22.04.2019; опубл. 10.02.2020, Бюл.№ 3–5 с.
9. Калганков Е.В. Особливості фрактального аналізу поверхні руйнування гумових футеровок, що працюють в умовах абразивно-втомного зносу / Є.В. Калганков // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ, 2017. — Вып. 133. — С. 66–74.

**Розділ 5
УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ**

<i>О.А. Іванисько,</i> ПРОЕКТ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРИЙОМУ ГРОМАДЯН В УПРАВЛІННІ СОЦІАЛЬНОГО ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ.....	35
<i>А.П. М'якуліньська,</i> УДОСКОНАЛЕННЯ ПОРЯДКУ ПРОВЕДЕННЯ КОНКУРСУ ПРИ ЗАМІЩЕННІ ВАКАНТНИХ ПОСАД ДЕРЖАВНИХ СЛУЖБОВЦІВ	37
<i>Н.В. Смирнова, А.М. Грабарчук,</i> ОРГАНІЗАЦІЙНА КУЛЬТУРА ЯК ОСНОВА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ПІДПРИЄМСТВА	39

**Розділ 6
ПРАВО**

<i>О.С. Кузьменко, Р.С. Соистович,</i> ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЖНАРОДНОГО СПІВРОБІТНИЦТВА У СФЕРІ БОРОТЬБИ З КОРУПЦІЄЮ	43
<i>Д.В. Чорна,</i> ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ КОМПЛЕКСНИХ ДАКТИЛОСКОПІЧНИХ ЕКСПЕРТИЗ В АСПЕКТІ ПРІОРИТЕТНОСТІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	45
<i>В.О. Шкляр,</i> ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ СОЦІАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ОСІБ З ІНВАЛІДНІСТЮ В УКРАЇНІ	47

**Розділ 7
МЕХАНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ**

<i>Е.О. Корнійко, Є.В. Калганков,</i> ВПЛИВ МОДИФІКАТОРІВ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕЛАСТОМІРНИХ МАТЕРІАЛІВ	52
---	----

Підписано до друку 08.11.2021. Формат 60x84/16. Папір офсетний білий.
Гарнітура «Charter». Друк цифровий. Ум. друк. арк. 5,81.
Зам. № 0811/21-11. Тираж 100 прим. Ціна договірна. Виходить українською мовою.

Віддруковано з готового оригінал-макета ФОП Москвін А.А.
м. Запоріжжя, просп. Соборний, 109.

Інститут інноваційної освіти. Науково-навчальний центр прикладної інформатики НАН України
e-mail: novaosvita@gmail.com; сайт: www.novaosvita.com

**Видання здійснене за експертної підтримки
Науково-навчального центру прикладної інформатики НАН України
03680, Київ-187, просп. Академіка Глушкова, 40**