

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра галузевого машинобудування**

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»  
на тему: «Дослідження трибологічних властивостей робочих поверхонь  
деталей машин»

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
Технології і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
спеціальності 208 Агроінженерія  
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 5  
Пятенда Сергій Вікторович  
Керівник: Сайчук О. В.  
Рецензент: Шейченко В. О.

**Полтава – 2021 року**

## ВСТУП

Ефективність ведення сільськогосподарського виробництва визначається в основному економічними показниками, до числа яких належить собівартість продукції. Собівартість сільськогосподарської продукції, багато в чому залежить від надійності технічних засобів і витрат на їх обслуговування і ремонт.

Надійність є комплексною властивістю, що визначає ефективність і безпеку використання сільськогосподарської техніки. Дослідження надійності окремих агрегатів, вузлів і деталей сільськогосподарської техніки є актуальним завданням на сучасному етапі.

Надійність техніки багато в чому визначається надійністю і довговічністю вузлів тертя машин. Тривалий термін служби вузлів тертя в багато чому залежить від триботехнічних характеристик застосовуваних мастильних матеріалів.

Одним із шляхів, що дозволяють підвищити надійність елементів пар тертя сільськогосподарської техніки та обладнання, є створення ефективних мастильних матеріалів, що дозволяють забезпечувати гідродинамічний режим змащування при змінних умовах експлуатації.

Для підвищення мастильної здатності застосовуваних мастильних матеріалів застосовуються різноманітні присадки і наповнювачі.

Зносостійкість є елементом надійності і, відповідно, підвищення зносостійкості вузлів тертя сільськогосподарських машин в присутності мастильних матеріалів з присадками дозволяє досліджувати і підвищувати їх надійність.

Одними з перспективних матеріалів, що дозволяють по новому вирішувати питання підвищення ефективності мастильних матеріалів, є рідкокристалічні з'єднання. В даний час рідкі кристали широко використовуються при створенні моніторів, оптичних приладів, в медицині,

сільськогосподарському виробництві, хімічній промисловості і т.д. З огляду на анізотропію своїх властивостей в рідкокристалічному стані дані матеріали дозволяють поліпшувати основні триботехнічні характеристики як рідких, так і пластичних мастильних матеріалів.

Одними з рідкокристалічних сполук, які є перспективними для поліпшення триботехнічних характеристик мастильних матеріалів є дискотичні металмезогени-карбоксилати міді. Однак відсутність в даний час систематичних досліджень триботехнічних властивостей даних хімічних сполук при введенні їх в пластичні мастильні матеріали робить це завдання актуальним і важливим.

**Мета роботи.** Розробка способу підвищення надійності вузлів тертя сільськогосподарських машин застосуванням мастильних матеріалів з присадками.

**Об'єкт дослідження.** Надійність вузлів тертя сільськогосподарських машин.

**Предмет дослідження.** Мастильні матеріали з присадками.

**Методика досліджень.** Для вирішення поставлених завдань застосовувалися методи математичної статистики, регресійного аналізу, ваговий метод, оптична мікроскопія. Результати теоретичних і експериментальних досліджень підтверджені стендовими випробуваннями. Обробка результатів експериментальних досліджень здійснювалася на ПЕОМ з використанням пакетів програм MathCAD, Excel.

**Теоретична і практична значущість досліджень.** Виявлена оптимальна концентрація присадок в пластичних мастилах. Розроблено рекомендації щодо практичного використання отриманих мастильних матеріалів в різних парах тертя.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1. Основи тертя і зносу в машинах і механізмах

Ресурсозберігаючі технології на сучасному етапі передбачають широке використання різних нанотехнологій. Основними областями застосування нанотехнологій в агропромисловому комплексі є біотехнологія, виробництво і переробка продукції сільського господарства, сільськогосподарське машинобудування, технічний сервіс та інші напрямки.

В області технічного сервісу завдяки застосуванню сучасних наноматеріалів можна істотно підвищити ресурс деталей машин і механізмів, знизити експлуатаційні витрати, поліпшити екологічні показники.

Робота всіх машин і механізмів заснована на відносному переміщенні спряжених поверхонь, що супроводжується їх тертям і зносом [5].

При терті одночасно відбуваються механічні, електричні, теплові, вібраційні і хімічні процеси.

Тертя може зміцнити або розміцнити метал. При цьому тертя є самоорганізуючим процесом, при якому з певною послідовністю протікають явища, спрямовані на руйнування поверхні або ж, навпаки, на створення цілої серії систем, що знижують знос і тертя [6].

З тертям пов'язаний один з основних негативних процесів в роботі будь-якого механізму – зношування елементів.

Знос деталей робить вирішальний вплив на довговічність і експлуатаційну надійність машин. Збільшення зазору в спряженнях внаслідок зносу часто супроводжується зниженням коефіцієнта корисної дії, виникненням ударних навантажень, збільшенням втрат на тертя та інтенсивності зношування спряжених деталей [8].

Крагельський І.В. в роботі [9] відзначає, що взаємодія твердих тіл являє собою складне явище, що складається з чотирьох груп процесів:

- 1) механічних (деформація пружна і пластична, коливання);
- 2) молекулярно-фізичних (дифузія, адсорбція, контактне плавлення, нагрівання);
- 3) механо-хімічних (хемосорбція на поверхнях, розпад і утворення хімічних і високомолекулярних сполук в мастилі);
- 4) електричних, електрокінетичних, електрохімічних та інших в результаті ЕРС, електромагнітної індукції, гальванічної електрики.

В даний час найбільш розвиненою і фізично обґрунтованою вважається молекулярно-механічна теорія тертя, яка виходить з того, що контакт двох поверхонь дискретний, тобто здійснюється за окремими макромайданчиками, сумарна площа яких становить площу фактичного контакту. Згідно молекулярно-механічної теорії тертя сила тертя розглядається як сума двох складових: сили, зумовленої молекулярною (адгезійною) взаємодією поверхонь, і сили, що виникає в результаті деформування поверхонь (механічна складова) [10].

Залежно від відносної глибини впровадження макронерівностей і співвідношення між силами адгезії і когезії на плямах фактичного контакту є такі види фрикційних зв'язків: пружне деформування поверхонь; пластичне відтиснення матеріалу; мікрорізання або зріз впровадженої нерівності, якщо вона недостатньо міцна; схоплювання плівок, що покривають нерівності, і їх руйнування (адгезійний відрив); схоплювання поверхонь, що супроводжується глибинним вириванням матеріалу (когезійний відрив) [10].

Розрізняють такі види зношування: механічне, корозійно-механічне, абразивне, гідроерозійне (газоерозійне), гідроабразивне (газоабразивне), втомне, кавітаційне, при заїданні, окислювальне, при фретингу, при фретинг-корозії, електроерозійне.

Так як зношування різко зростає при переході від рідинного до граничного тертя, ще більше – при руйнуванні граничного шару, то великого значення набуває визначення меж таких переходів. В останньому випадку має місце інтенсивне зношування при заїданні і вихід з ладу вузла тертя. Перехід від одного режиму до іншого може мати місце при потоншенні мастильної плівки до критичної величини.

Руйнування мастильної плівки відбувається при певній температурі контакту (температурний критерій) або в результаті пластичної деформації металу поверхні (деформаційний критерій) [12].

Внаслідок цього особливості тертя і зносу в значній мірі визначаються будовою приповерхневих шарів пари тертя і взаємодією їх з мастильним матеріалом.

## **1.2. Аналіз видів мащення вузлів тертя машин і механізмів**

Тривалий ресурс деталей, що труться забезпечується застосуванням зносостійких матеріалів самих деталей, а також застосуванням мастильних матеріалів. При експлуатації шар мастильного матеріалу розділяє поверхні тертя і перешкоджає безпосередньому контакту поверхні підшипника і валу.

В даний час існують різні теорії змащування. Найбільшого поширення знайшла гідродинамічна теорія змащування, відповідно до якої при обертанні вала тонкий шар мастильного матеріалу, пов'язаний з поверхнею силами сорбції переміщується, захоплює за собою наступні шари і нагнітає їх у звужену частину клиновидного зазору між валом і підшипником. В результаті цього виникає гідродинамічний тиск в шарі мастильного матеріалу, який забезпечує поділ поверхні вала і підшипника. Тертя між поверхнями замінюється внутрішнім тертям в шарах мастильного матеріалу. При цьому знос є мінімальним і проявляється внаслідок електростатичних розрядів, що виникають при терті між поверхнями [7].

Застосовувані мастильні матеріали повинні відповідати наступним вимогам [13]:

- зберігати працездатність в широкому діапазоні температур, тиску і швидкостей;
- легко заповнити западини і мікронерівності на робочих поверхнях;
- створювати якомога більший опір зрушенню в перпендикулярному і менше – в дотичному напрямку до поверхонь тертя;
- не викликати вибухів і пожеж;
- не чинити шкідливого впливу на матеріали, з яких виготовлені деталі машин;
- забезпечувати мащення при найменшій витраті мастильних матеріалів;
- не втрачати властивостей при зберіганні і транспортуванні;
- не утворювати шкідливих і небезпечних відкладень;
- бути стійкими до радіоактивного опромінення або хімічно агресивних середовищ;
- не спінюватися і не утворювати емульсій.

Розрізняють такі види мастила:

- газове (мастило, при якому поділ поверхонь тертя деталей здійснюється газовим мастильним матеріалом);
- рідинне (мастило, при якому повне розділення поверхонь тертя деталей здійснюється рідким мастильним матеріалом);
- тверде (мастило, при якому поділ поверхонь тертя деталей, що знаходяться у відносному русі, здійснюється твердим мастильним матеріалом);
- гідродинамічне (газодинамічне) (рідинне (газове) мастило, при якому повне розділення поверхонь тертя деталей здійснюється в результаті тиску, самовиникаючого в шарі рідини (газу) при відносному русі поверхонь);

- гідростатичне (газостатичне) (рідинне (газове) мастило, при якому повне розділення поверхонь тертя деталей, що знаходяться у відносному русі або спокої, здійснюється в результаті надходження рідини (газу) в зазор між поверхнями тертя під зовнішнім тиском);

- еласто-гідродинамічне (мастило, при якому характеристики тертя і товщина плівки рідкого мастильного матеріалу між двома поверхнями, що знаходяться у відносному русі визначаються пружними властивостями матеріалів тіл, а також реологічними властивостями останнього);

- граничне мастило (мастило, при якому тертя і знос між поверхнями, що знаходяться у відносному русі, визначаються властивостями поверхонь і властивостями мастильного матеріалу, відмінними від об'ємної в'язкості);

- напіврідинне (змішане) (мастило, при якому здійснюються частково гідродинамічне, частково граничне мащення).

Під впливом високої температури масла, збільшення навантаження, полегшення витікання мастильного матеріалу з вузла тертя товщина мастильної плівки потоншується менше критичного значення, в результаті чого тертя і зношування залежить не від об'ємної в'язкості, а від інших факторів. Такі плівки називаються граничними і тертя при таких плівках граничним.

Мастильна дія граничних плівок оцінюють маслянистістю, здатністю мастильного матеріалу забезпечувати зниження коефіцієнту тертя в умовах, коли дія плівки не визначається тільки в'язкістю.

Розрізняють плівки хімічного походження (хемосорбція) і фізичного (адсорбція) [7].

Плівки, хімічно пов'язані з поверхнями, видаляють з великими труднощами, їх видалення супроводжується пошкодженням приповерхневих шарів. З підвищенням температури хімічні плівки товщають і руйнуються лише при досягненні точки плавлення.

Плівки, пов'язані з поверхнями фізично, тобто силами адсорбції, легко видаляються з поверхні при температурі десорбції (близько 373-423 К). Видалення граничних шарів фізичного походження не відбивається на стані поверхні тертя. Як ті, так і інші шари легко саморегенеруються.

Плівки хімічного походження утворені в результаті взаємодії поверхні тертя з киснем (поставляється до поверхні тертя з атмосфери або з мастильного матеріалу), а також дії на поверхні тертя присадок до мастильному матеріалу.

До плівок хімічного походження відносяться також різні мила, що утворилися з вищих органічних кислот, що знаходяться в змащувальному матеріалі. Полярно-активні компоненти масла, що утворилися в процесі його застосування і знаходилися в свіжому змащувальному матеріалі, створюють граничні шари, пов'язані з поверхнею силами фізичної сорбції.

Адсорбційні шари утворюються щільно розташованими полярноактивними вуглеводнями.

Обидва види плівок забезпечують, насамперед, захист поверхні тертя. Вони перешкоджають взаємній адгезії, що труться. Володіючи деякою міцністю і стійкістю, ці плівки захищають поверхні тертя від механічних і теплових впливів. За мастильною дією, яка в загальному, визначається здатністю забезпечувати легке ковзання, фізичні і хімічні плівки не рівноцінні.

### **1.3 Способи підвищення надійності вузлів тертя сільськогосподарських машин**

Багато вузлів і деталей сільськогосподарських машин експлуатуються в жорстких умовах, які характеризуються високими навантаженнями, процесами абразивного зношування і впливом атмосферних факторів (вологи, пилу, агресивних хімічних сполук і т. д.) [14].

Висока працездатність і безвідмовність сільськогосподарської техніки – одна з необхідних умов ефективного виробництва сільськогосподарської продукції [15].

Підвищення терміну служби вузлів тертя і механізмів є найважливішим завданням машинобудування, рішення якої дозволяє отримати економічний ефект за рахунок зниження витрат на технічне обслуговування і ремонт, збільшення ресурсу деталей. Це має пряме відношення до машин, що працюють в умовах агропромислового комплексу [16].

Аналіз стану екскаваторів, що надходять в ремонт, показує, що до 99,2% деталей вибраковується через зношування [18].

Працездатність і ресурс сільськогосподарських машин в значній мірі визначаються інтенсивністю зношування деталей, що труться. Через несправності і знос щорічно простоює від 10 до 40% машин і устаткування, що є причиною невиправдано великих витрат матеріальних і трудових ресурсів на технічне обслуговування і ремонт техніки [18].

Швидкий знос техніки пояснюється рядом причин. Багато що залежить від конструктивних недоліків, низьких показників її надійності [15].

Аналіз умов роботи зернозбиральних комбайнів, тракторів та іншої техніки дозволив виявити основні фактори, що викликають руйнування деталей, складальних одиниць і спряжень [15, 19]:

- агресивність і абразивність зовнішнього середовища, які обумовлюють наявність частинок ґрунту і добрив на поверхнях деталей;
- вплив навколишньої температури і атмосферних опадів, що сприяють утворенню плівки вологи на цих поверхнях;
- динамічні навантаження на матеріали деталей;
- початковий стан поверхонь: шорсткість, твердість і т.д.

Постійний вплив комбінацій зазначених чинників викликає різноманітні руйнування [15].

Окремі агрегати, складальні одиниці і деталі машин мають неоднакові терміни служби, для довго працюючих деталей характерно безліч чергувань несталого і усталеного зношування. Це залежить від різноманітності вихідних конструкційних матеріалів, кліматичних та інших впливів, частоти заміни і характеру роботи швидкозмінних конструктивних елементів, порушення регулювань і т.д. [15].

Серед видів зношування, до яких схильні деталі сільськогосподарських машин, теоретичний і практичний інтерес представляє корозійно-механічне зношування, що представляє собою руйнування поверхонь деталей під впливом тертя (механічне зношування) і одночасно протікаючого корозійного процесу [20].

Корозійно-механічне зношування характеризується руйнуванням металу під дією одночасно протікаючих: електрохімічної або хімічної взаємодії металу з навколишнім середовищем і механічного руйнування продуктів цієї взаємодії і самого металу при терті [20].

Зношування відбувається внаслідок видалення і відділення окисленого металу у вигляді порошку з дрібних частинок оксиду. Супроводжує тертя пластична деформація металу інтенсифікує його здатність до окислення. На поверхні металу практично миттєво утворюється тонкий шар оксиду. Його утворення відбувається за рахунок хемосорбції атомів кисню металевою поверхнею. Другий ступінь окислення супроводжується утворенням цілком певної кристалічної фази оксидів. При цьому окислювання йде за рахунок впровадження атомів кисню в кристалічну решітку металу [20].

Надійність машин і їх складових частин в значній мірі залежить від сили вібрації, яка виникає в процесі роботи. Причина підвищеної вібрації – дисбаланс (неврівноваженість) швидкообертаючих деталей і складальних одиниць – карданних і колінчастих валів, маховиків, шківів, дисків зчеплення коліс і т.д.

Неврівноваженість деталей виникає внаслідок нерівномірної щільності матеріалу, похибок обробки деталей, неточностей збірки (перекосів, зсувів і т.д.), появи зносів і деформацій в процесі експлуатації. Вібрація створює додаткові навантаження на деталі, в тому числі на підшипники, в результаті чого вони зношуються інтенсивніше [15, 20].

Значна частина відмов сільськогосподарської техніки має механічне походження – втрата міцності, зносостійкості і т.д. За характером зміни параметрів розрізняють відмови:

- раптові – результат стрибкоподібної зміни параметрів (крихке руйнування, поломки і т.п.);
- поступові (параметричні) – наслідок повільної зміни одного або декількох параметрів (старіння або знос елементів і всієї системи під впливом навантажень і інших впливів) [20].

Відмови двигуна, коробки передач, ходової системи, гідроприводу, електрообладнання зернозбиральних, кормозбиральних та інших самохідних комбайнів відбуваються з тих же причин, що і у тракторів. Особливості цих комбайнів, в основному, полягають в несправності робочих органів і їх приводу, зокрема, підшипників кочення, ковзання, валів, осей, зірочок, ланцюгів, а також транспортерів та елеваторів [21].

До основних несправностей жнивної частини відносяться поломка елементів ножа, затуплення вкладишів пальців, що обумовлює нерівний зріз стерні і збільшення числа нескошених стебел, збільшення зазору в сферичних шарнірах щічок ножа або шатуна, подовження ланцюга плаваючого транспортера, перекис нижнього шківів варіатора, що веде до однобічного зносу зірочки [21].

Несправності робочих органів кормозбиральних, силосозбиральних, кукурудзозбиральних комбайнів аналогічні несправностям зернозбиральних (ланцюгові, ремінні передачі, підшипники кочення і ковзання, вали, сепаруючі органи [21]).

Низька зносостійкість елементів трибоспрядень сільськогосподарської техніки призводить до невисоких показників її надійності. При цьому низьке напрацювання на відмову сільськогосподарських машин не дозволяє експлуатувати їх в сучасних умовах досить ефективно. Внаслідок цього недостатньо ефективно в сільськогосподарському виробництві вирішується завдання ресурсозбереження.

Підвищувати зносостійкість і надійність сільськогосподарської техніки в даний час можна за рахунок застосування деталей машин із зносостійких матеріалів, застосовувати різні технологічні процеси зміцнення поверхонь деталей машин.

Одними з найбільш перспективних методів підвищення надійності сільськогосподарської техніки є методи безрозбірного відновлення.

З огляду на те, що ресурс сільськогосподарської техніки багато в чому визначається ресурсом її трибоспрядень, то одним з перспективних безрозбірних методів підвищення зносостійкості деталей сільськогосподарської техніки є використання високоефективних мастильних матеріалів.

Зносостійкість в процесі експлуатації сільгосптехніки визначається в першу чергу якістю мастильних матеріалів, які використовуються при технічному обслуговуванні та ремонті [23, 24].

Випробування і досвід експлуатації показують, що застосування якісних палив і мастильних матеріалів значно збільшує надійність і довговічність техніки [21].

Роль мастильних матеріалів в трибосистемі зводиться, перш за все, до запобігання тертьових поверхонь від зношування, задирів і корозійного впливу навколишнього середовища. Як правило, пластичні мастильні матеріали краще виконують ці функції, ніж рідкі. Тому антифрикційні пластичні мастила займають одне з центральних місць серед інших груп мастильних матеріалів в обсязі та асортименті виробництва [25].

Однак звичайні пластичні мастильні матеріали, що використовуються у сільськогосподарській техніці (Солідол, Літол-24), не володіють достатнім рівнем властивостей, необхідних для забезпечення надійної роботи машин протягом усього періоду експлуатації. Особливо чутливі до якості мастила підшипники кочення. Виходом в даній ситуації є застосування спеціальних добавок в мастильні матеріали. В даний час цей напрям набув широкого поширення і є вельми перспективним. [26].

Аналіз видів зношування і пошкоджень поверхонь деталей і вузлів через різні навантаження вказує на недостатні протизносні та антифрикційні властивості застосовуваних мастильних матеріалів, тому завдання створення нових зносостійких консистентних мастил, що витримують великі ударні навантаження, є актуальним [27].

З метою підвищення ресурсу та надійності, важко навантажених вузлів і деталей сільськогосподарської техніки розробляють і застосовують високоефективні мастильні матеріали на основі нанотехнологій. Важливе місце серед них займають консистентні мастила, що представляють собою структуровані дисперсні загусники в мастильних маслах. При звичайних температурах в більшості мильних консистентних мастил загущувач диспергований у вигляді анізодіаметричних кристалічних частинок, що мають колоїдні розміри в одному або двох вимірах [14].

Одним з методів підвищення довговічності трибоспряжень за рахунок модифікування поверхонь тертя є застосування металоплакуючих мастил, до складу яких введені дисперсні ферромагнетиками. Практичне значення мають перехідні метали, а також деякі їх інтерметалічні з'єднання, наприклад залізо-нікель, залізо-кобальт. Найбільш широко застосовують магнетит. Він має хорошу адсорбційну здатність по відношенню до ПАР, а також здатний утворювати колоїдні дисперсії з високою намагніченістю. Розділовий шар, що утворюється в зоні контакту і перешкоджає взаємодії деталей вузла тертя в таких мастилах, формують частинки металів або металомісткі з'єднання,

заповнюючи мікронерівності поверхонь тертя і зменшуючи тим самим величину контактного тиску. В якості таких добавок використовують високодисперсні порошки цинку, бронзи, міді, свинцю і деякі інші з розміром частинок 10 ... 100 мкм, солі монокарбонічних кислот з металами або металевий порошок – промисловий відхід електрохімічного процесу гальваніки (що містить мідь), змішаний з олеїною кислотою. При формуванні металоплакуючої плівки в зоні контакту відбувається прискорення перенесення магнітоактивних частинок з об'єму мастила, що забезпечує зниження зносу, моменту тертя і підвищення протизадірної стійкості вузлів тертя [29].

Підшипники ковзання найчастіше виходять з ладу внаслідок зносу і заїдання поверхні. Головним чином ці патологічні процеси тертя відбуваються при пуску і зупинці механізму. У такий період роботи в опорах валів спостерігаються найбільш важкі умови тертя, що обумовлено дуже малою дією гідродинамічного ефекту або повною його відсутністю [30].

Згідно молекулярно-механічної теорії тертя, запропонованої І. В. Крагельським [31], в ході відносного ковзання контактуючих поверхонь відбувається безперервне утворення і руйнування фрикційних зв'язків. Ці процеси, обумовлені міжмолекулярною взаємодією між контактуючими тілами в зонах фактичного дотику, представляють сутність адгезійної складової зовнішнього тертя. Міцність фрикційних зв'язків залежить від величини дотичних напружень на межі розділу твердих тіл і визначається відношенням опору молекулярного зв'язку до межі плинності основного матеріалу. Ослаблення міцності таких зв'язків сприяє нормальній роботі вузла тертя [32].

Робота деталей сільськогосподарських машин, що труться, відбувається в основному в режимі граничного тертя. Високонантаженість роботи механізмів сільськогосподарської техніки в умовах підвищеного

вмісту абразиву в мастилі вимагає більш інтенсивного формування і відновлення захисної плівки на поверхнях, що труться [17].

Ефективним способом зниження зовнішнього тертя є локалізація деформації матеріалу в тонкому поверхневому шарі в так званій деформаційній зоні захисної плівки. Для здійснення цієї локалізації необхідне дотримання правила позитивного градієнта, згідно з яким міцність виникаючих молекулярних зв'язків повинна бути менше міцності нижчих шарів.

Тому, введення в мастильний матеріал добавок, наповнювачів і присадок, що дозволяють знижувати як деформаційну, так і адгезійну складову дозволяє знижувати силу тертя і підвищувати зносостійкість деталей машин.

Таким чином, створення ефективних протизносних і антифрикційних присадок і наповнювачів до пластичних мастильних матеріалів, використовуваних в сільськогосподарському виробництві є одним з перспективних шляхів підвищення працездатності трибоспрямиєнь сільськогосподарської техніки.

### **Висновки і завдання досліджень**

Як показує практика, одним з найбільш економічно вигідних шляхів підвищення зносостійкості, надійності і довговічності різних машин і механізмів є поліпшення якості мастильних матеріалів, в першу чергу поліпшення їх протизносних і антифрикційних властивостей.

Це може бути досягнуто застосуванням високоефективних в триботехнічному плані присадок. Разом з тим створення присадок, що поліпшують одночасно протизносні та антифрикційні, і не знижують інші характеристики мастильних матеріалів, є досить складним завданням.

На підставі проведеного аналізу стану питання і для досягнення поставленої мети в даній роботі необхідно вирішити наступні завдання досліджень:

1. Провести аналіз шляхів покращення показників надійності використанням мастильних матеріалів.
2. Виявити оптимальну концентрацію присадок в пластичних мастилах.
3. Розробити методику та провести експериментальні дослідження основних триботехнічних властивостей пластичних мастил і виявити їх вплив на режими тертя вузлів тертя сільськогосподарських машин.
4. Провести економічну оцінку розробок.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Вибір матеріалів для досліджень

Для досліджень використовувалися пластичні мастила, що широко застосовуються у вузлах тертя техніки, яка застосовується в сільськогосподарському виробництві (синтетичний солідол марки С ГОСТ 4366-78, літол-24 ГОСТ 20150).

Дані матеріали використовувалися як основа мастильної композиції. В якості досліджуваних присадок застосовувалися експериментально отримані дискотичні мезогенні з'єднання – карбоксилати міді. Досліджувалися наступні сполуки: валерат міді, ундецилат міді, міристат міді, стеарат міді, бегенат міді. Вибір даних хімічних сполук був обумовлений тим, що вони здатні при підвищенні температури переходити в рідкокристалічний стан (утворювати мезофазу), а в мезоморфному стані здатні утворювати впорядковані колончаті дискотичні структури [18].

Дані сполуки отримують з насичених жирних карбонових кислот.

Отримані сполуки відрізнялися будовою, визначеними умовами синтезу присадок. Основною відмінністю даних з'єднань один від одного є розмір центрального фрагмента молекули і довжина вуглеводневого ланцюга. Процентний вміст присадок в мастилі варіювався. Максимальний вміст присадок в солідолі не перевищував 20%.

#### 2.2. Методика дослідження зносостійкості

Триботехнічні випробування мастильних матеріалів включають оцінку їх протизносних, протизадирних і антифрикційних властивостей на

лабораторних приладах або установках з випробувальними зразками простої геометричної форми. На відміну від випробувань мастильних матеріалів в умовах експлуатації і на стендах, лабораторні випробування не вимагають великих витрат часу, вони більшою мірою дозволяють змінювати умови на поверхні тертя і виділяти основний параметр, який впливає на трибологічні характеристики мастильних матеріалів [5, 19].

В роботі для оцінки та порівняння розроблених присадок були досліджені триботехнічні характеристики – залежності коефіцієнта тертя від прикладеного навантаження, величини зносу від шляху тертя при постійному навантаженні і залежність інтенсивності зношування від прикладеного навантаження при фіксованому пробігу. Ці характеристики визначають межі працездатності пари тертя. Стійкість матеріалів до зношування в різних режимах тертя визначають ресурс і термін служби вузлів тертя.

У зв'язку з тим, що на тертя і знос впливає велика кількість чинників, випробування досліджуваних матеріалів проводилося в кілька етапів, згідно [20]:

- 1) фізико-механічні випробування матеріалів;
- 2) випробування матеріалів на тертя і знос в лабораторних умовах на установках з визначення параметрів зносостійкості матеріалів (машини тертя СМТ-1; П-5018). Проводилась оцінка впливу фізико-механічних властивостей матеріалів і режимів тертя на їх триботехнічні характеристики;
- 3) випробування матеріалів на тертя і знос при терті в технологічних середовищах і різних режимах тертя;

Дослідження триботехнічних характеристик проводилося на машинах для випробування матеріалів на тертя і знос моделей СМТ-1; П-5018.

Випробування проводилися за схемою «диск – частковий вкладиш», представленою на рисунку 2.1.

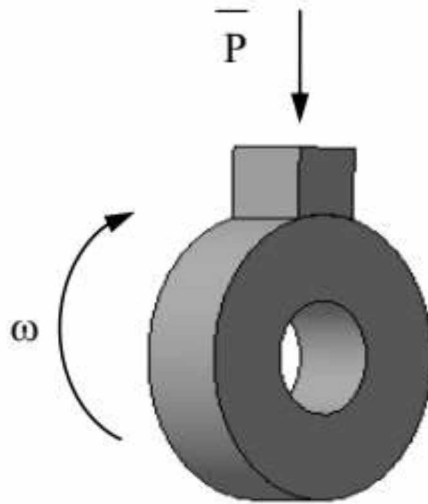


Рисунок 2.1 – Схема випробування зразків («обертювий диск - нерухомий частковий вкладиш»)

Момент тертя на валу (диска, що обертається) вимірювався за допомогою безконтактного індуктивного датчика. Електричні сигнали з вимірювальних котушок датчика подаються в електричну схему порівняння і далі на потенціометр КСП-005, вмонтований в електричній шафі управління машиною.

Зразки виготовлялися розмірами  $l = 10$  мм,  $b = 10$  мм,  $h = 10$  мм. Всі зразки мали поверхні 9-10 класу шорсткості. Контртілом служили ролики  $\varnothing 40$  мм, товщиною 10 мм, виготовлені зі сталі 45 HRC 25 ... 30 (рисунок 2.2).

При дослідженні триботехнічних властивостей мастильних матеріалів, було обрано такі режими роботи пари тертя: швидкість ковзання 1 м/с; тертя граничне (мастило наносилося на ролик 1 раз перед кожним випробуванням); навантаження на зразок підвищувалося поступово до різкого збільшення моменту тертя. Перед випробуванням кожного нового мастила поверхні зразка і контртіла наводилися до вихідної шорсткості (9-10 клас) шляхом шліфування та полірування.

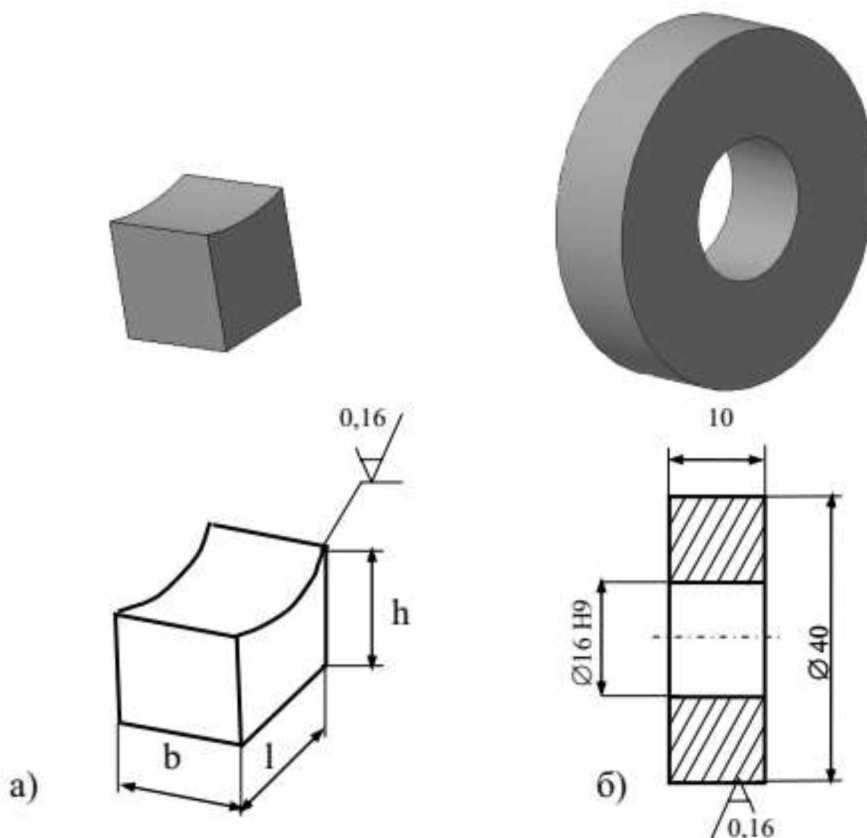


Рисунок 2.2 – Частковий вкладиш (а) і контртіло (б) для проведення випробувань на тертя та зношування

У даній роботі використовувалися методи визначення лінійного і вагового зносу зразків.

Схема визначення лінійного зносу представлена на малюнку 2.3.

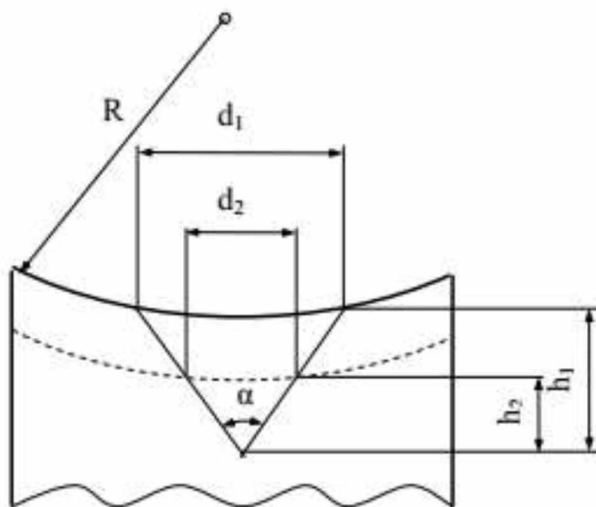


Рисунок 2.3 – Схема визначення лінійного зносу за методом «штучних баз»

Вимірювання лінійного зносу проводили методом «штучних баз» – встановленням лінійного зносу по заздалегідь нанесеним відбиткам на твердоміре ТК-1М конічним твердосплавним індентором з кутом при вершині  $\alpha = 120^\circ$  (рисунок 2.3).

Діаметри відбитків визначалися за допомогою мікроскопів МПБ-2.

Величина лінійного зносу з урахуванням угнутості поверхні визначалася за формулою:

$$\Delta h = \frac{(d_1 - d_2)}{m} - \frac{(d_1 - d_2)}{8R}; \quad (2.1)$$

$$m = \frac{2}{\operatorname{tg}(90 - \frac{\alpha}{2})}, \quad (22)$$

де  $\Delta h$  – лінійний знос, мм;

$d_1$  – діаметр відбитка до зношування, мм.;

$d_2$  – діаметр відбитка після зношування, мм.;

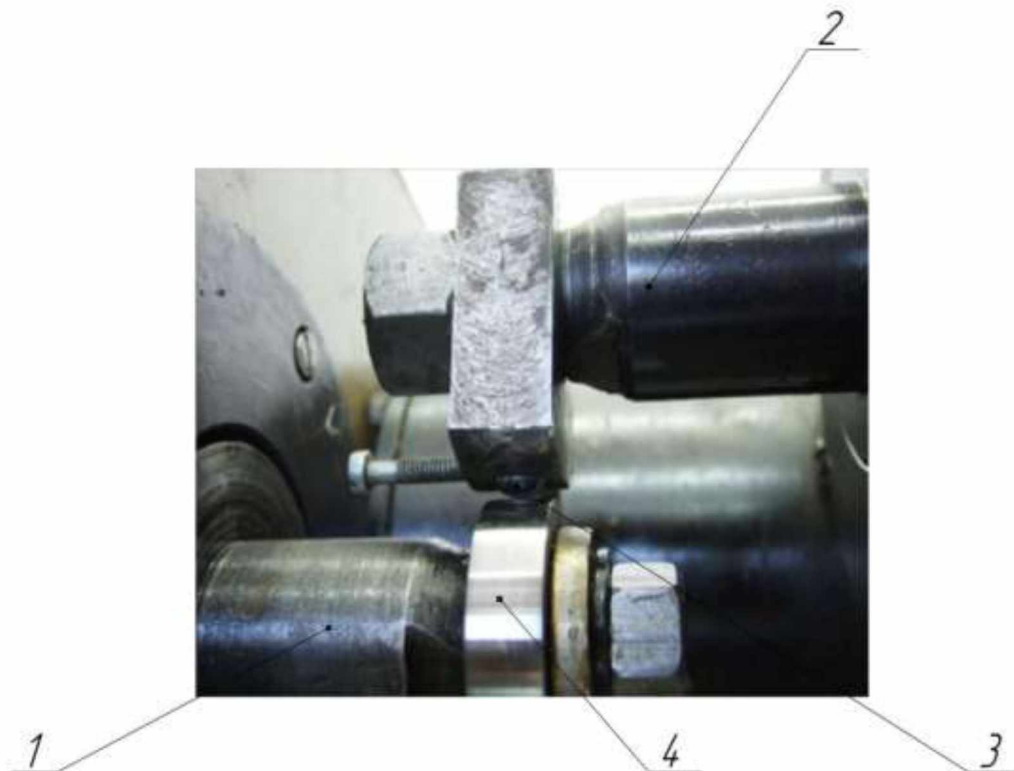
$R$  – радіус угнутості поверхні, мм.

Для визначення триботехнічних характеристик, як пластичних мастильних матеріалів, так і рідких масел на машинах тертя застосування знайшли схеми тертя зі змінною площею контакту зразків.

Для цього на машину тертя СМТ-1 встановили пару тертя обертовий диск - нерухому кульку (рис. 2.4).

Матеріал диска сталь 45 з твердістю HRC 45 - 50. Матеріал кульки сталь ШХ 15. Обертовий диск (ролик) має діаметр 40 мм і ширину 10 мм. Куля використовувався діаметром  $d = 10$  мм.

У процесі досліджень мастильних матеріалів за схемою тертя «обертовий диск - нерухомий кулька» фіксувалися зміни коефіцієнта тертя і зміни інтенсивності зношування пари тертя. За характеристику протизносних



1 – нижній (обертальний) вал; 2 – верхній (нерухомий) вал; 3 –  
нерухома кулька; 4 – контртіло (обертаний диск).

Рисунок 2.4 – Вузол тертя машини СМТ-1

властивостей, приймалася площа плями контакту, яка визначалася як площа еліпса за формулою:

$$S = (\pi \cdot d_1 \cdot d_2) / 4, \quad (2.3)$$

де  $d_1$  – діаметр плями зносу в горизонтальному напрямку, мм;

$d_2$  – діаметр плями зносу у вертикальному положенні, мм.

### 2.3. Методика визначення характеристик отриманих мастильних матеріалів

Так як в якості основи мастильної композиції використовувалися пластичні мастильні матеріали різної природи, то для них визначався коефіцієнт penetрації.

Коефіцієнт penetрації визначався за допомогою напівавтоматичного пенетрометра М-984ПК (див. рисунки 2.5, 2.6).



Рисунок 2.5 – Прилад М-984ПК для вимірювання penetрації пластичних мастильних матеріалів



Рисунок 2.6 – Вимірювання пенетрації мастильного матеріалу приладом М-984ПК

Також визначалася температура розм'якшення і каплепадіння базових мастильних матеріалів і експериментальних.

### **Висновок**

Розроблено методику експериментальних досліджень основних триботехнічних властивостей пластичних мастил з присадками і визначено їх вплив на зносостійкість вузлів тертя.

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### **3.1. Аналіз механізмів дії існуючих присадок до серійних мастильних матеріалів**

Дослідження електричних властивостей граничних мастильних шарів показали, що для останніх типові нелінійні вольт-амперні характеристики (ВАХ) і кулоновольтні характеристики гістерезисного типу, які характерні для сегнетоелектриків, що мають доменну структуру [7].

Таким чином, ефективність мастильних матеріалів, яка полягає в здатності утворювати на поверхні тертя плівки хімічного і фізичного походження, багато в чому визначається наявністю в базовому змащувальному матеріалі різних хімічних сполук – присадок.

Для рідких і пластичних мастильних матеріалів випускаються наступні основні типи присадок: мийно-диспергуючі, інгібітори окислення і корозії, в'язкі, депресорні, протизносні, протизадирні, протипінні та припрацьовочні.

За хімічним складом присадки можуть бути розділені на кілька груп: алкілфенольні, сульфонатні, алкілсаліцилатні, діалкілдитіофосфатні, полімерні і сукцініміди [7].

Для пластичних мастильних матеріалів найбільш характерно застосування антиокисних, протизносних і протизадирних присадок.

В основі дії антиокисних присадок знаходиться обрив окислювальних ланцюгів [7]. Дослідження Г.І. Шора зі співробітниками [24] показали, що процес окислення мастильного матеріалу пов'язаний з роботою виходу електронів металу на поверхні, яка в свою чергу безперервно змінюється внаслідок впливу на процес компонентів мастильного матеріалу і присадок.

Таким чином, присадки, що знижують роботу виходу електронів металевої поверхні, впливають на мастильний матеріал як антиокислювачі. Негативні іони, що виникають в змащувальному матеріалі внаслідок електричних взаємодій з металевою поверхнею тертя, гальмують окислення вуглеводнів.

Протизадирні присадки діють у такий спосіб. Між компонентами присадки, що містить сірку, фосфор або хлор, і металом протікають хімічні реакції, в результаті яких утворюються продукти, що відрізняються за властивостями від металу поверхні тертя (менша твердість, низька температура плавлення). Хімічні реакції протікають, перш за все, на вершинах мікронерівностей поверхонь, де концентрується енергія. В результаті шорсткості згладжуються, або нівелюються. Таке хімічне полірування полегшує створення масляного клина.

Дія зазначених з'єднань в якості протизносних присадок пов'язано з формуванням на поверхні тертя адсорбційних шарів [7].

Ряд дослідників пов'язують протизношувальну дію присадок з хімічною модифікацією ювенільних, а, відповідно і хімічно активних поверхонь тертя продуктами термічного розкладання присадок.

Стосовно до поведінки мастильних матеріалів і маслорозчинних поверхнево-активних речовин (ПАР) у вузлах тертя умовно можна виділити три принципових випадки (на практиці вони часто супроводжують один одного і переходять з одного в інший), при яких виявляються антифрикційні (змащувальні), протизносні і протизадирні властивості нафтопродуктів [17].

Перший випадок – поверхні тертя розділені досить товстим шаром мастильного матеріалу, що знаходиться під впливом силового поля металу. При цьому мастильні матеріали поведуться відповідно гідродинамічній теорії мастила [11]. При цьому сила тертя залежить від наступних факторів [17]:

$$F_{тр} = \eta \cdot S \cdot V/h, \quad (3.1)$$

де  $F_{тр}$  – сила тертя;

$\eta$  – динамічна в'язкість масла;

$S$  – фактична площа контакту;

$V$  – швидкість ковзання;

$h$  – товщина масляної плівки.

Маслорозчинні ПАР в цьому випадку виконують дві функції: викликають адсорбційну пластифікацію металу і утворюють граничний шар, що розділяє поверхні тертя [18].

При цьому концентрацію ПАР в зоні контакту можна знайти з наступного співвідношення:

$$\ln C = \theta/R \cdot T_{кр} + K, \quad (3.2)$$

де  $C$  – концентрація ПАР в зоні контакту;

$\theta_{адс}$  – теплота адсорбції;

$R$  – універсальна газова постійна;

$T_{кр}$  – температура початку десорбції ПАР і руйнування мастильної плівки на поверхні;

$K$  – константа, яка визначається експериментально.

Якщо температура в зоні тертя перевищує критичну, то відбувається руйнування мастильної плівки і заїдання поверхонь. В даному режимі проявляються антифрикційні властивості мастильного матеріалу.

При виборному перенесенні на поверхнях тертя утворюється сервовитна плівка, що захищає поверхні тертя від контакту і зношування. При деформації сервовитна плівка не руйнується і не піддається втомному руйнуванню. Вона сприймає все навантаження, покриваючи шорсткості поверхонь тертя деталей, які практично не беруть участь в процесі тертя. У цих умовах навантаження розподіляється рівномірно по поверхні тертя, в результаті чого знижується контактний тиск. Сервовитна плівка має здатність до відновлення. Це сприяє продовженню ресурсу вузла тертя.

Другий випадок – прояв протизносних властивостей мастильних матеріалів, тобто здатності цих матеріалів і маслорозчинних ПАР знижувати

знос поверхонь тертя при помірних навантаженнях і контактних температурах. При цьому на енергетичний стан поверхні металу основний вплив має мономолекулярний адсорбційний шар (90% загального ефекту), на умови граничного тертя – товщина цього шару, що залежить, в свою чергу, від хімічної будови, полярності і поляризованості ПАР. Для гомологічного ряду ПАР коефіцієнт тертя залежить від числа вуглецевих атомів в молекулі ПАР [37]:

$$F_{\text{тр}} = A - B \cdot n, \quad (3.3)$$

де  $A$  – коефіцієнт, що залежить від природи поверхонь, що труться і хімічної будови ПАР;

$B$  – тангенс кута нахилу прямої коефіцієнта тертя до осі абсцис, що залежить від гомологічного ряду ПАР;

$n$  – число вуглецевих атомів в молекулі ПАР.

Якщо відбувається часткове руйнування мастильної плівки в умовах граничного тертя, то сила тертя виражається рівнянням [11, 13]:

$$F_{\text{тр}} = S \cdot [S_u/S \cdot \tau_s + (1 - a) \cdot \tau], \quad (3.4)$$

де  $S$  – фактична несуча поверхня;

$S_u$  – номінальна поверхня тертя;

$\tau_s$  – опір зрізу хемосорбційної фази металу;

$\tau$  – опір зсуву мастильної плівки.

Таким чином, протизносні властивості мастильних матеріалів залежать не тільки від властивостей граничної мастильної плівки, але і властивостей, і термодинамічних функцій хемосорбційної фази поверхневих шарів металу, зокрема від опору цієї фази зрізу, температури її плавлення і т.п. [17].

Третім випадком поведінки мастильного матеріалу і маслорозчинних ПАР в зонах тертя є розкладання цих ПАР під впливом високих температур,

тисків і каталітичного дії металу. Продукти розкладання утворюють на поверхні металу сульфід, хлорид, фосфід та інші сполуки з певними енергетичними, фізичними і механічними властивостями. В цьому випадку проявляються протизадирні властивості мастильних матеріалів з ПАР, при критичних режимах роботи пари тертя.

Однак методи підвищення працездатності трибоспряжень, пов'язані з реалізацією хімічних реакцій на поверхнях тертя, не завжди прийнятні за умовами роботи спряження. Зокрема, вони можуть приводити до корозії контактуючих матеріалів і їх інтенсивному корозійно-механічному зношуванню [14].

Мастильна дія таких шарів визначається рівнем орієнтації молекул відносно мастильних поверхонь тертя. При цьому орієнтація молекул на міжфазній межі розділу твердого тіла і рідкого мастила відтворює орієнтацію поверхневого шару твердого тіла. Отже, зміною рівня орієнтації поверхневого шару, можна регулювати мастильну і несучу здатність граничних шарів. Існування в вузлах тертя шарів мастила з певною орієнтаційно-впорядкованою структурою, що забезпечує тертьовим парам необхідну зносостійкість і зменшення втрат на тертя [44].

### **3.2. Теоретичний аналіз використання пластичних мастильних матеріалів з присадками у вигляді рідкокристалічних сполук**

Проблема підвищення надійності трибоспряжень є важливою і актуальною в даний час для машинобудування. Використання різних трибопрепаратів для поліпшення характеристик мастильних матеріалів є одним із шляхів ефективного вирішення даної проблеми.

Металомісткі рідкі кристали проявляють все ті ж різноманітні типи мезофаз, які виявляються в звичайних органічних рідких кристалах [16].

Таким чином, можна стверджувати що процеси, що протікають в присутності дискотичних металмезогенів-карбоксилатів міді при терті в цілому схожі з процесами в присутності рідких кристалів інших типів.

Для карбоксилатів міді важливими є ефекти орієнтаційної впорядкованості [17].

Перехід з твердого кристала в нематичну фазу характеризується руйнуванням порядку в просторовому розташуванні молекул, але не орієнтаційного порядку. Мезофаза має плинність і в той же час анізотропна внаслідок легкості, з якою молекули ковзають щодо одна одної, зберігаючи при цьому паралельність. Орієнтаційний порядок в рідкому кристалі при нагріванні поступово падає, тоді як деякі інші термодинамічні властивості, наприклад питома теплоємність, теплове розширення і ізотермічна стисливість, різко зростають у міру наближення температури до точки переходу – ізотропна рідина. Має місце слабкий фазовий перехід першого роду (зі стрибком), який супроводжується повним руйнуванням дальнього орієнтаційного порядку. Зміни ентропії і обсягу, що супроводжують цей перехід, зазвичай складають всього лише кілька відсотків від відповідних значень для переходу твердий кристал – нематик [97].

Зміна в рідкокристалічних з'єднаннях при зміні температури описуються різними моделями.

Трибологічні характеристики мастильних матеріалів багато в чому визначаються їх в'язкістю.

В'язкість більшості мастильних матеріалів знижується з ростом температури [18]. В даний час більшість авторів відзначають експонентну в'язкість від температури згідно виразу [19, 20]:

$$\eta = A \cdot e^{-B/T}, \quad (3.5)$$

де  $A, B$  – постійні;

$T$  – температура.

Постійні  $A$  і  $B$  можна визначити з формул [18,21]:

$$A = \eta_1 \cdot e^{-B/T_1}, \quad (3.6)$$

$$B = (T_1 \cdot T_2 / (T_1 - T_2)) \cdot \ln\left(\frac{\eta_1}{\eta_2}\right), \quad (3.7)$$

де  $T_1$  і  $T_2$  – температури, при яких виміряні в'язкості  $\eta_1$  і  $\eta_2$  відповідно.

Аналогічне явище може спостерігатися для рідкокристалічних систем при зміні температури [22]. Нехай температура зростає, тоді в'язкість розчину знижується. Однак при досягненні деякої температури спостерігається різкий стрибок в'язкості вгору. Це відбувається тому, що при даній температурі внаслідок посиленого теплового руху стався фазовий перехід від анізотропного розчину до ізотропної системи, і опір течією різко зріс [22].

В'язка течія нематичних рідких кристалів, які є неньютонівськими рідинами, залежить від кутів між «директором і градієнтом швидкості» [23, 24].

Тому для його опису використовують три коефіцієнти Мъезовіча ( $\eta$ ), пов'язаних з шістьма коефіцієнтами Леслі ( $\alpha$ ) наступними співвідношеннями [23]:

$$\eta_1 = \frac{1}{2} \cdot (-\alpha_2 + \alpha_4 + \alpha_5), \quad (3.8)$$

$$\eta_2 = \frac{1}{2} \cdot (\alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_6), \quad (3.9)$$

$$\eta_3 = \frac{1}{2} \cdot \alpha_4, \quad (3.10)$$

де  $\eta_1$  – складова в'язкості в разі, коли директор паралельний градієнту швидкості;

$\eta_2$  – складова в'язкості в разі, коли директор паралельний напрямку потоку;

$\eta_3$  – складова в'язкості в разі, коли директор перпендикулярний градієнту швидкості і напрямку потоку.

Коефіцієнти Леслі в даному випадку можна визначити на підставі співвідношення Пароди [24]:

$$\eta_1 + \alpha_2 = \eta_2 - \alpha_3. \quad (3.11)$$

Крім цього необхідно враховувати і коефіцієнти тертя для директора  $\gamma_1$  і  $\gamma_2$ , що мають розмірність в'язкості [24]:

$$\gamma_1 = \alpha_3 - \alpha_2, \quad (3.12)$$

$$\gamma_2 = \alpha_6 - \alpha_5. \quad (3.13)$$

Кут між напрямком потоку і директором визначається з виразу:

$$\cos 2 \theta_0 = -\gamma_1 / \gamma_2. \quad (3.14)$$

Об'ємна в'язкість змінюється також і зі зміною розмірів молекули. Дослідження [24] показують, що зі збільшенням довжини алкільного ланцюга спостерігається загальне зростання об'ємної в'язкості, причому для ряду сполук наступні непарні гомологи виявляються дуже в'язкими, ніж попередні парні.

Мінімальний знос елементів пар тертя, а також мінімальний коефіцієнт тертя відповідають режиму, коли поверхні, що труться повністю розділені шаром мастильного матеріалу. При цьому надійність поділу поверхонь тертя визначається характеристиками шару мастильного матеріалу.

В'язкість рідкокристалічного розчину залежить від того, в якому напрямку відбувається протягом. Зокрема, зусилля, яке потрібно прикласти, щоб протягнути твердий кулька через рідкокристалічний розчин, залежить від того, в якому напрямку рухається ця кулька.

Таким чином, високі характеристики адсорбованих мастильних шарів з рідкими кристалами визначаються певною орієнтацією шарів дискотичного металмезогена (у вигляді стопки дисків) на поверхні тертя. Напрямок переважної орієнтації молекул рідкого кристала прийнято характеризувати одиничним вектором, який називається директором [24].

Мірою далекого орієнтаційної порядку є ступінь впорядкованості (або параметр порядку), введена В.Н. Квітковим [24]:

$$S = \frac{1}{2} \cdot (3 \cdot \cos^2 \theta - 1), \quad (3.15)$$

де  $\theta$  – кут між віссю окремої молекули і директором рідкого кристала, а усереднення ведеться по всіх молекул в зразку.

В ідеальному кристалі  $S = 1$ , в ізотропній фазі  $S = 0$ . У нематичної фазитипові значення  $S = 0,6-0,8$  [104].

У свою чергу в нематичної фази відповідно до теорії Майєра-Заупе температурна залежність описується наступним універсальним виразом:

$$S = (1 - 0,98 \cdot T)^{0,22} \quad (3.16)$$

Параметр порядку залежить від температури: чим менше температура, тим більше параметр порядку.

Таким чином, на підставі вищевикладених передумов, можна відзначити наступне. Для підвищення протизносних характеристик мастильних матеріалів, необхідно, щоб металмезогенні присадки карбоксилати міді в мастильних композиціях створювали на поверхнях тертя впорядковані рідкокристалічні структури, що мають позитивний градієнт механічних властивостей в площині, перпендикулярній напрямку руху елементів трибоспряжень. Для поліпшення антифрикційних характеристик

такі шари повинні мати низьку міцність опору зрізу в площині руху елементів пар тертя.

### 3.3. Дослідження впливу введення карбоксилатів міді на протизносні характеристики мастил

Найважливішою характеристикою мастильних матеріалів є його здатність в процесі тертя знижувати зношування тертьових елементів пари тертя.

Як показують проведені дослідження, введення досліджуваних карбоксилатів міді дозволяє підвищити протизносні характеристики синтетичного солідолу. Результати дослідження зносу зразків від навантаження на них представлені на рисунку 3.1.

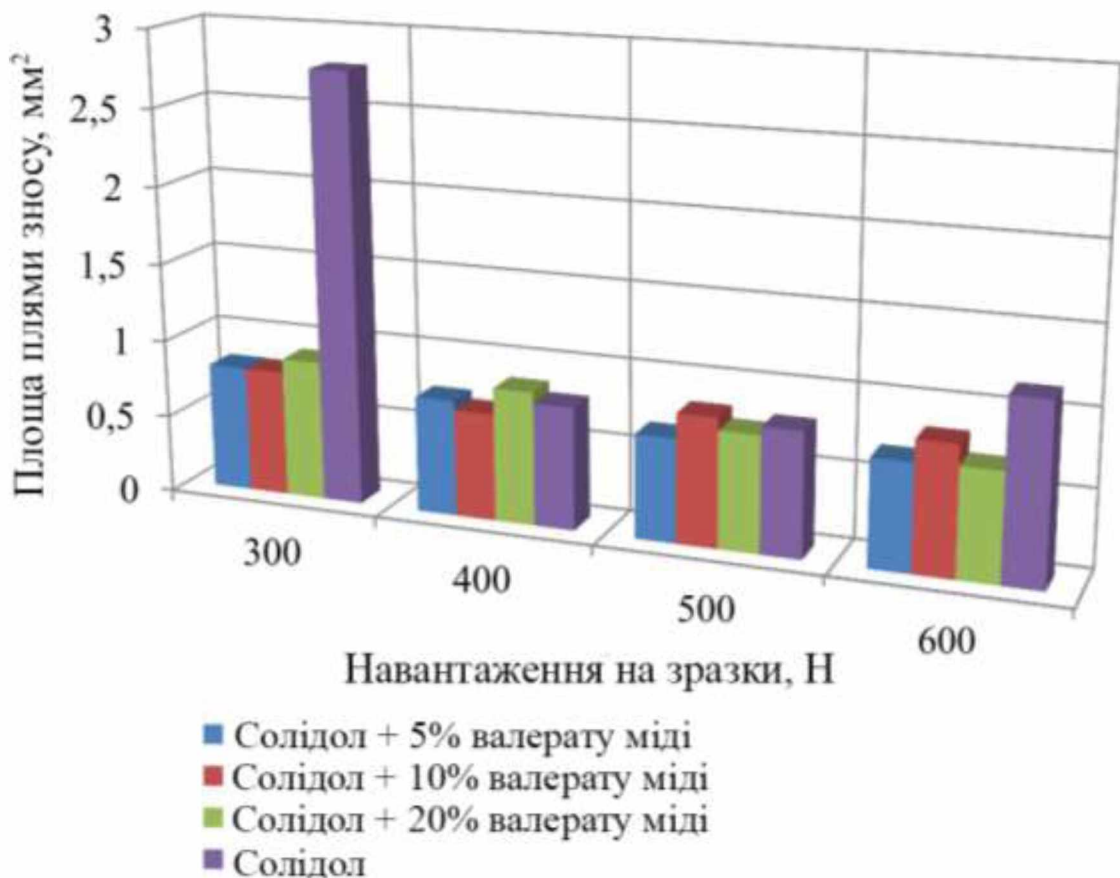


Рисунок 3.1 – Залежність зносу кулі від навантаження на зразки при введенні валерата міді в солідол

Як видно з результатів досліджень, представлених на рисунку 3.1 введення досліджених карбоксилатів міді в солідол призводить до зниження зносу нерухомого зразка.

Молекулярну будову карбоксилатів міді впливає на механізм сорбції досліджених сполук з контактує поверхнею металу.

Процентний вміст присадок також впливає на інтенсивність зношування.

Результати досліджень зносу зразків від процентного вмісту карбоксилатів міді в солідолі представлені на рисунках 3.2-3.3.

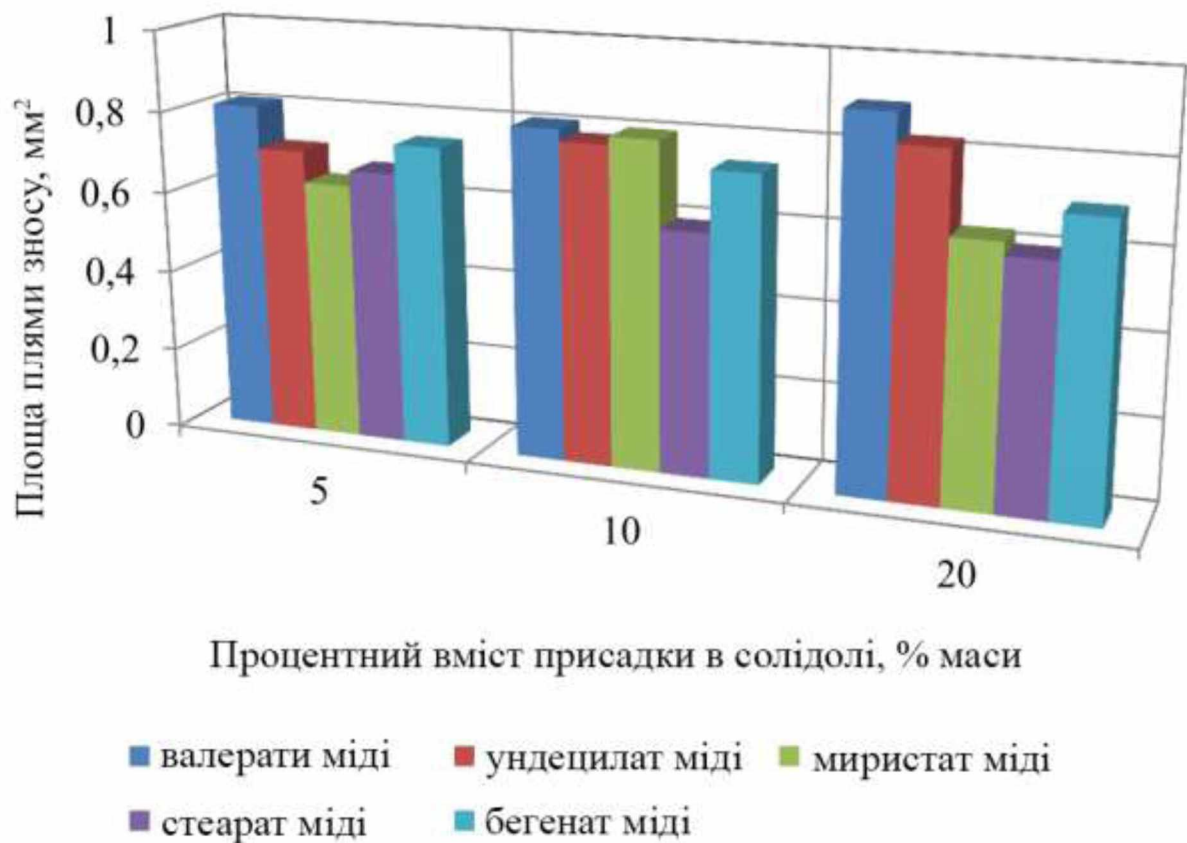


Рисунок 3.2 – Залежність зносу кулі від процентного вмісту карбоксилатів міді в солідолі при навантаженні на зразки 300 Н

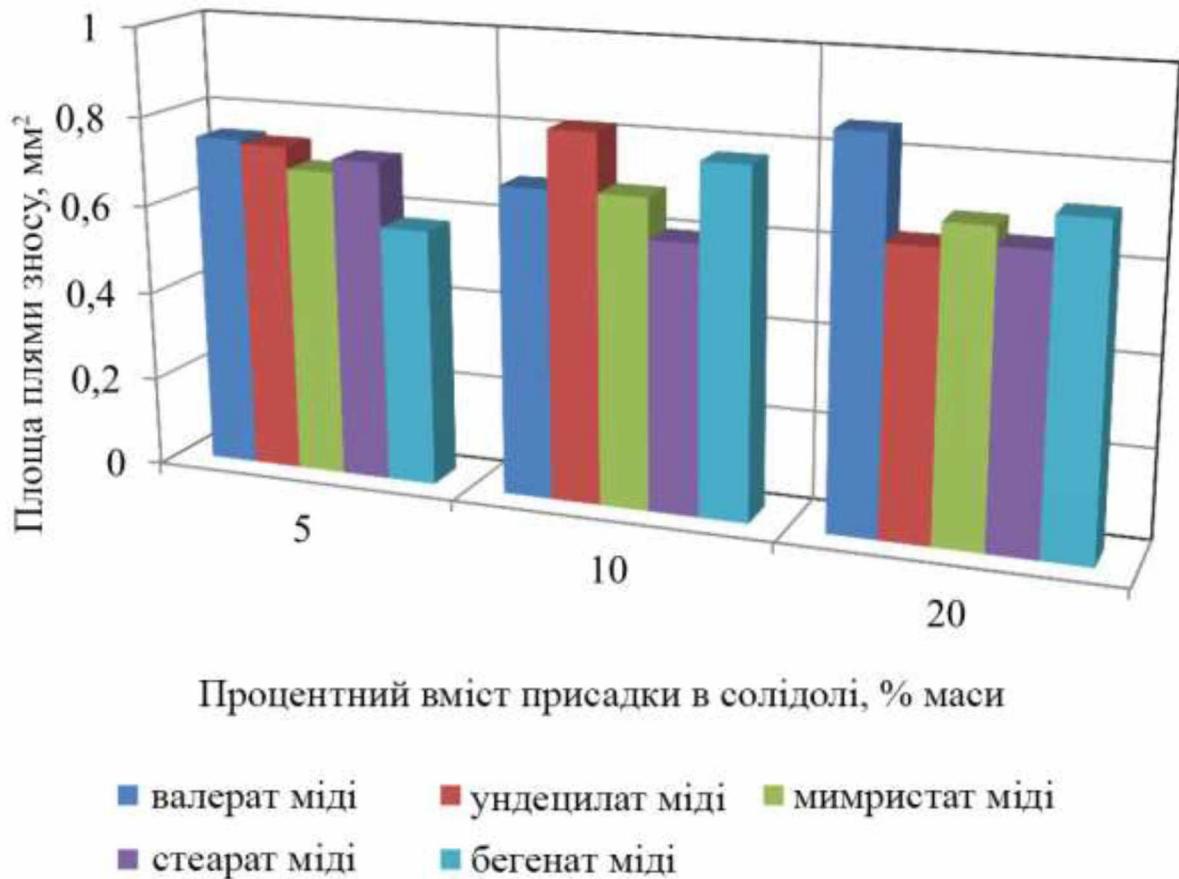


Рисунок 3.3 – Залежність зносу кулі від процентного вмісту карбоксилатів міді в солідолі при навантаженні на зразки 400 Н.

З представлених залежностей (див. рисунки 3.2-3.3) видно, що збільшення процентного вмісту карбоксилатів міді в солідолі неоднозначно впливає на знос елементів триботехнічних спряжень.

Результати досліджень показують, що існує оптимальний діапазон кількісного вмісту присадки в солідолі, при якому знос є мінімальним. Для валерата і ундецилата міді при навантаженнях на зразки понад 400 Н збільшення процентного вмісту в солідолі понад 5% мас. є недоцільним. При навантаженнях на зразки до 400 Н знос знижується з ростом кількості гомолога в солідолі.

Таким чином, введення досліджених карбоксилатів міді в синтетичний солідол дозволяє поліпшити основні антифрикційні та протизносні

характеристики останнього, а також підвищити температурний діапазон його використання.

Введення досліджених рідкокристалічних сполук в мастильні матеріали на основі літєвих мил також призводить до поліпшення їх антифрикційних характеристик.

Результати досліджень антифрикційних характеристик літол-24 з дослідженими рідкокристалічними мезогенними сполуками представлені на рисунку 3.4.

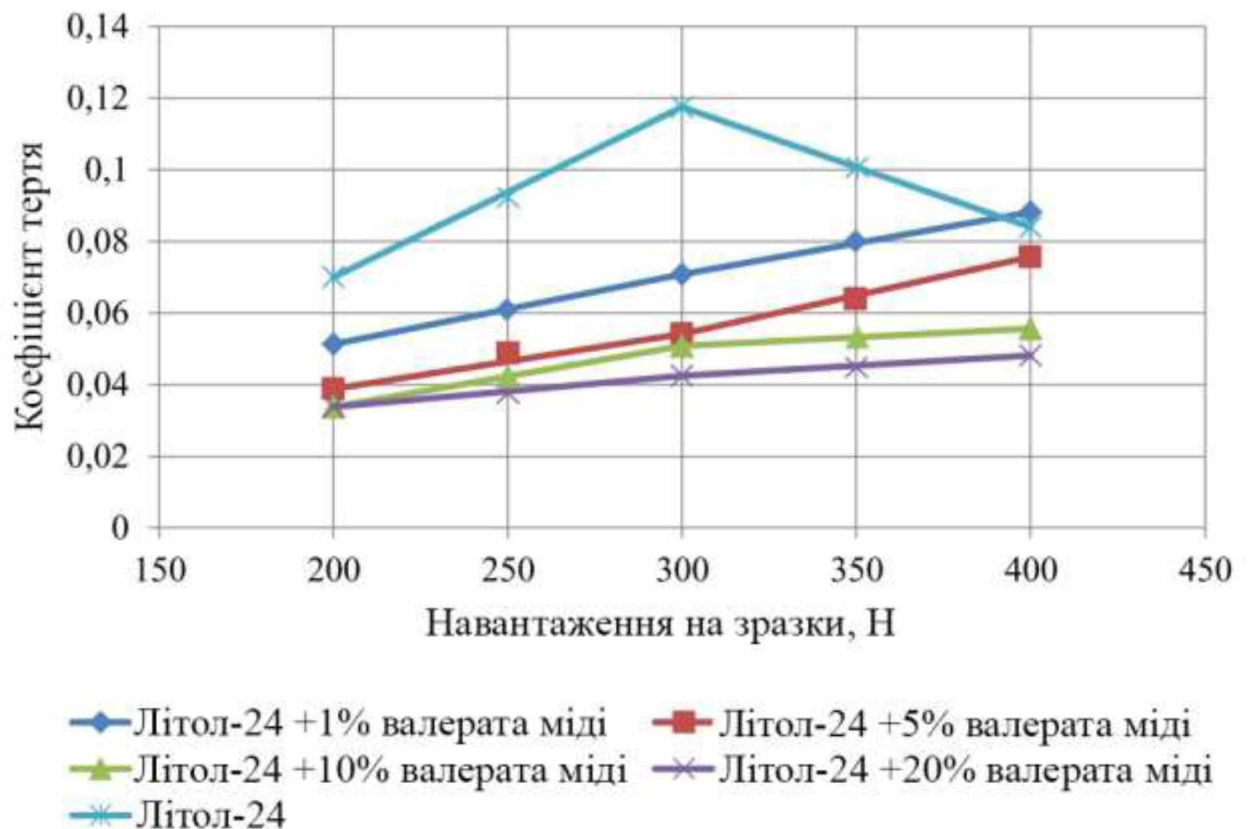


Рисунок 3.4 – Залежність коефіцієнта тертя від навантаження на зразки при введенні валерата міді в Літол-24

Аналізуючи представлені залежності можна відзначити, що введення досліджених присадок в Літол-24 в основному призводить до зниження коефіцієнта тертя в трибоспряженнях, що в цілому дозволяє зменшувати

втрати на тертя в трибоспряженнях, а, відповідно і втрати енергії на холостий привід механізмів сільськогосподарської техніки.

При цьому для досліджених матеріалів спостерігається тенденція до поліпшення характеристик при збільшенні кількості присадки в базовій мастилі. Ця закономірність простежується для різного діапазону навантажень. Залежність коефіцієнта тертя від процентного вмісту досліджених присадок в базовій мастилі представлена на рисунку 3.5.

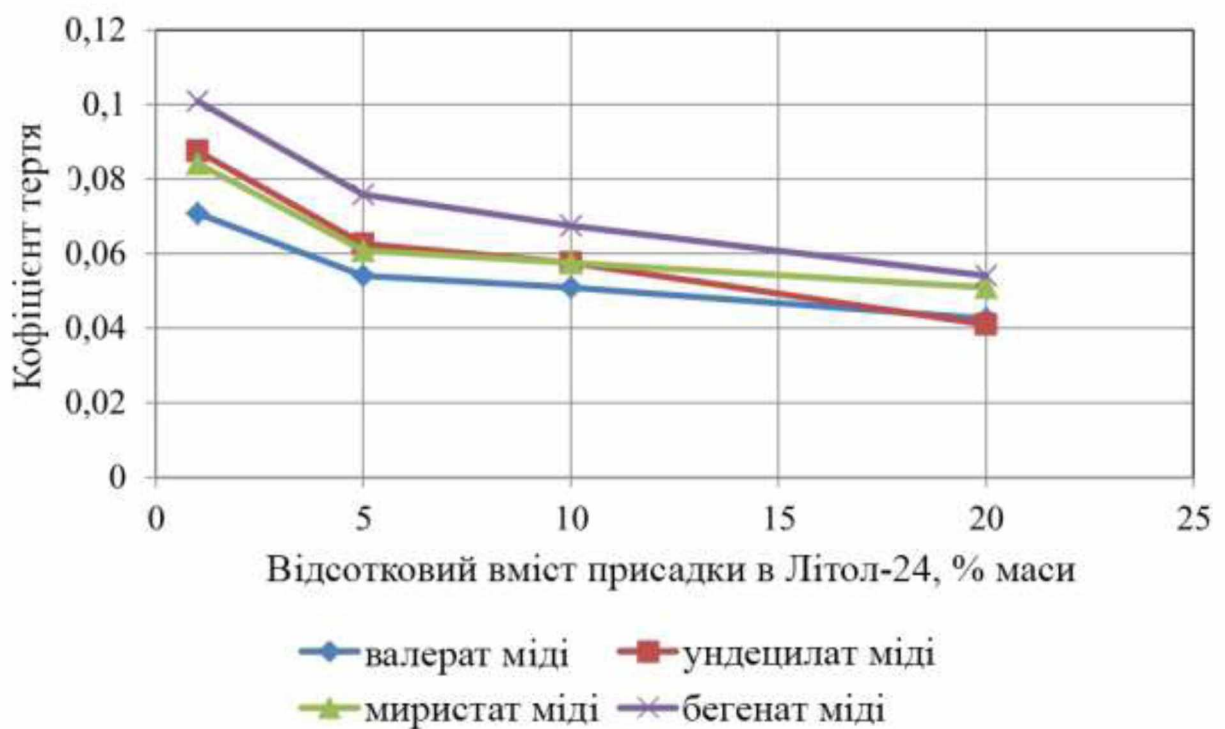


Рисунок 3.5 – Залежність коефіцієнта тертя від процентного вмісту карбоксилатов міді в базовій мастилі - литол-24 (навантаження на зразки 300 Н).

З представлених закономірностей можна відзначити загальну тенденцію до зниження антифрикційних характеристик при збільшенні кількості присадки в базовій мастилі.

Введення досліджених карбоксилатів в літєве мастило дозволяє поліпшувати його протизносні характеристики. Результати визначення зносу

елементів пари тертя в залежності від навантаження на зразки представлені на рисунку 3.6.

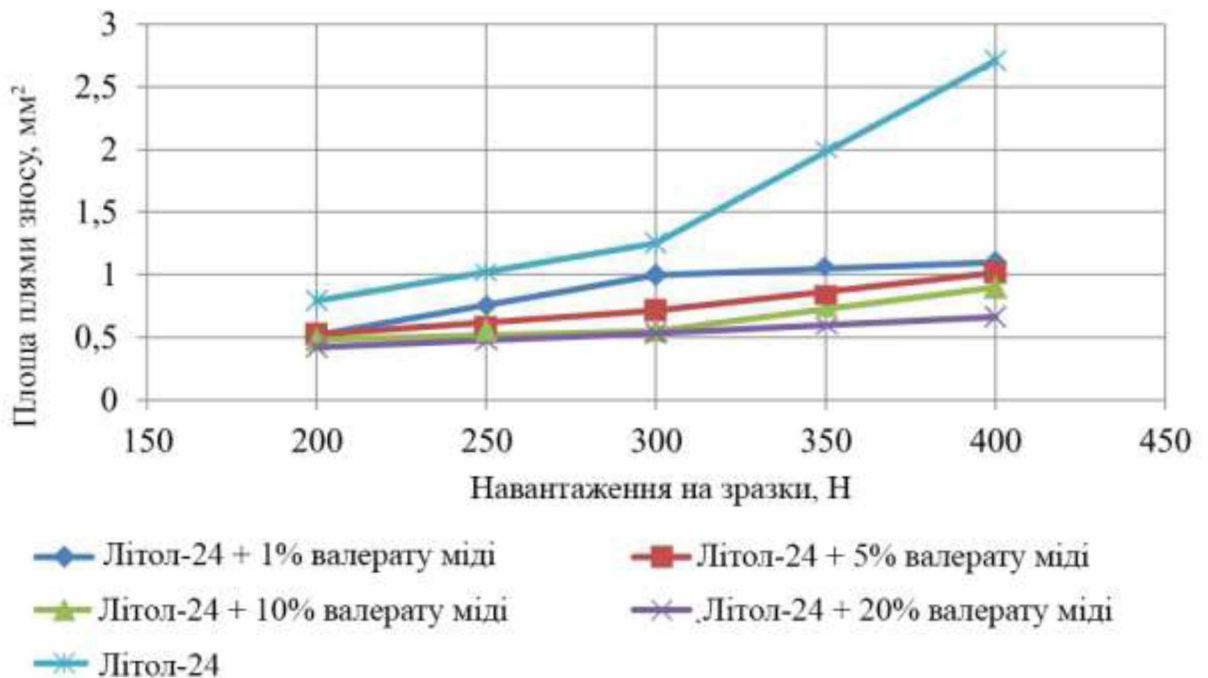


Рисунок 3.6 – Залежність зносу кулі від навантаження на зразки при введенні валерата міді в Літол-24

### 3.4. Дослідження впливу введення карбоксилатів міді на основні реологічні характеристики мастил

Введення карбоксилатів міді призводить до зміни реологічних характеристик мастильних матеріалів. При цьому різні гомологи по різному змінюють їх.

Пенетрація є одним з фізико-хімічних властивостей мастильного матеріалу, що визначає ступінь його густоти та консистенції. Пенетрація є одним з основних показників, що визначають міцність мастила і його реологічні властивості. Число пенетрації багато в чому визначає здатність мастильного матеріалу проникати в зазор між деталями і там утримуватися.

Результати визначення пенетрації представлені на рисунках 3.7-3.8.

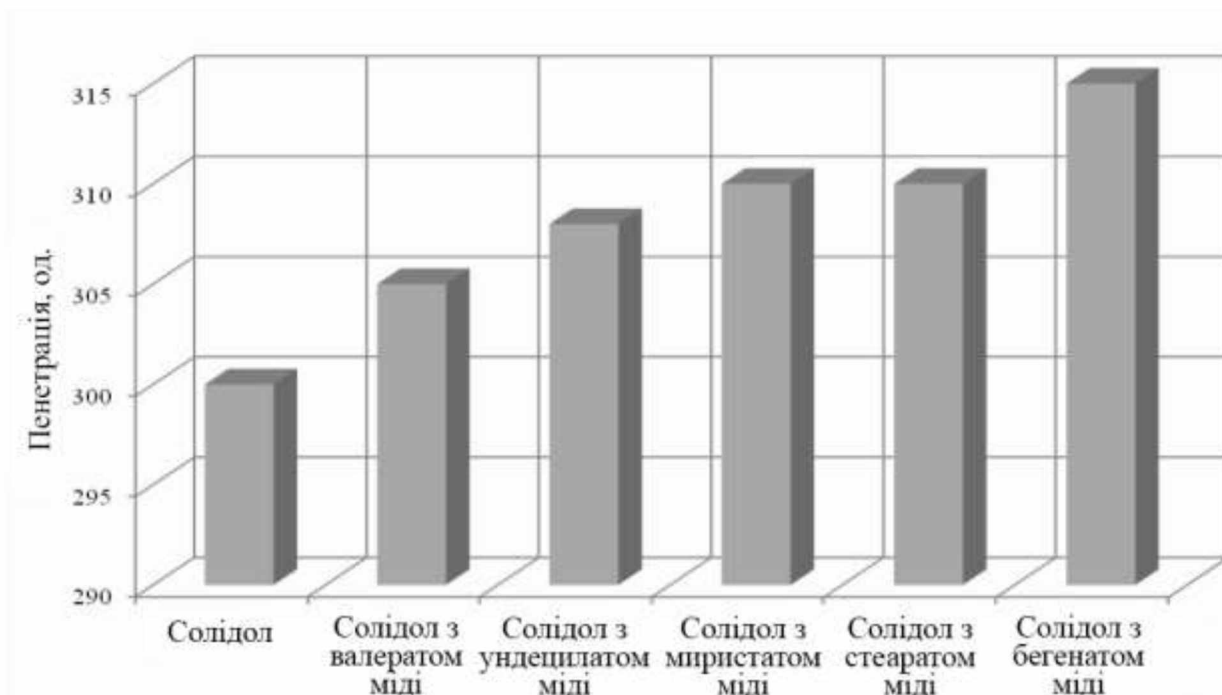


Рисунок 3.7 – Результати визначення пенетрації при введенні досліджених карбоксилатів міді в солідол

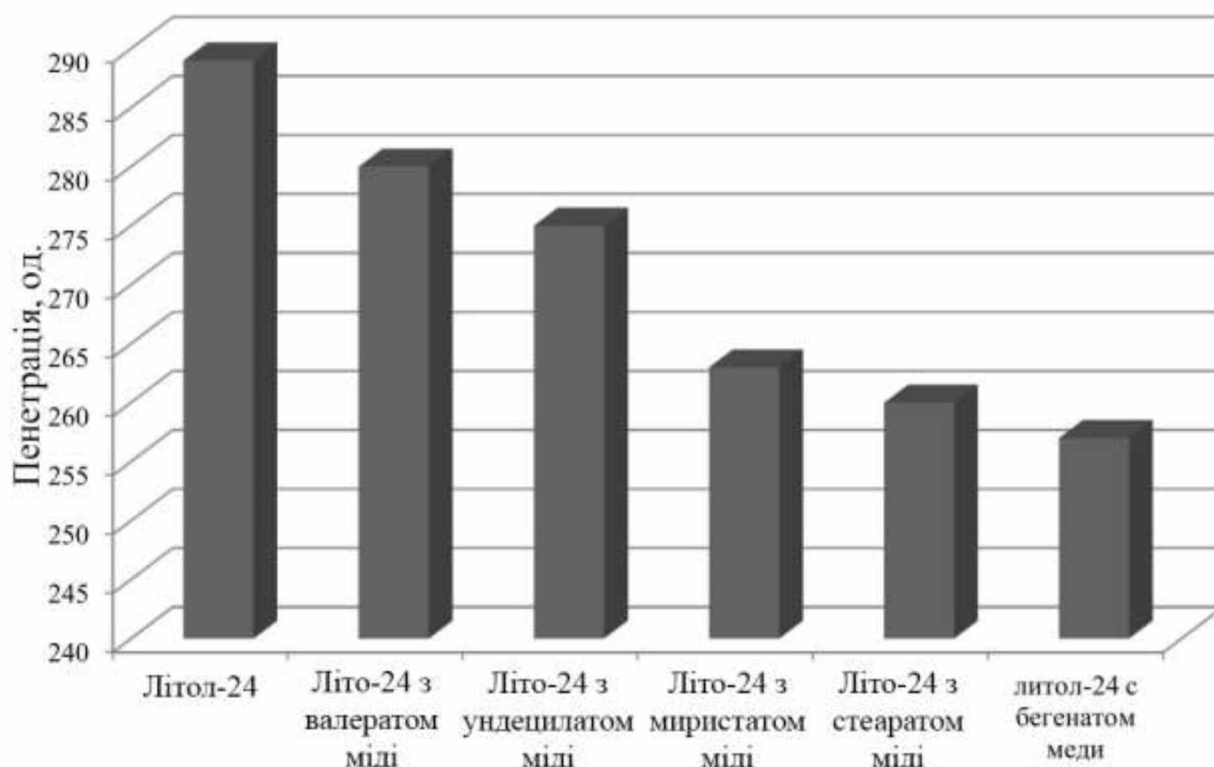


Рисунок 3.8 – Результати визначення пенетрації при введенні досліджених карбоксилатів міді в Літол-24

Зміна реологічних характеристик в більшості випадків призводить до поліпшення протизносних характеристик.

### **Висновки**

1. Проведено теоретичний аналіз шляхів покращення показників надійності використанням мастильних матеріалів.

2. Підтверджено, що поліпшення антифрикційних і протизносних характеристик обумовлено можливістю карбоксилатів міді створювати на поверхнях тертя мастильний шар з особливою структурою

3. Виявлено оптимальна концентрація присадок в пластичних мастильних матеріалах. Дослідження показують, що оптимальною є концентрація присадок в матеріалах на базі кальцієвих мастил від 5 до 10 мас.%. в залежності від навантаження на зразки. Для мастильних матеріалів на літєвій основі максимальне поліпшення триботехнічних характеристик спостерігається при концентраціях присадок від 10 до 20 мас.%.

## РОЗДІЛ 4

### РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

#### 4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна паспортизація ремонтно-обслуговуючих підприємств є одним з ефективних перспективних засобів охорони навколишнього природного середовища. Екологічний паспорт підприємства належить до його основної проектно-технічної документації. Поряд з технологічним регламентом він повинний бути на кожному підприємстві. У цьому документі наведені дані, що характеризують взаємовідносини підприємства з довкіллям.

У першій частині паспорта наводяться загальні відомості про виробництво: назва підприємства та продукції, що виробляється, район розташування, його потужність, займана площа, кількість працюючих та основні витратні величини споживаної сировини, води, енергії, палива, пари, повітря тощо, а також відомості про споживану сировину, джерела водо- і теплопостачання, короткий опис технологічних схем виробництва основної продукції, технології очищення газо- димових викидів в атмосферне повітря та стічних вод, оборотність, зберігання, транспортування та вилучення твердих відходів (назва, кількість, хімічний склад та деякі основні властивості, технологія відновлення або виготовлення), утримання приміщень і споруд, плани дій в аварійних умовах, небезпечні матеріали, відомості про кращі альтернативні технології, що застосовуються на інших підприємствах країни чи світової практики і завдають меншої шкоди довкіллю.

Характеризується також санітарно-захисна зона підприємства (площа зони, прилеглі об'єкти, її оформлення).

У другій частині паспорта відображені заплановані природоохоронні заходи із зазначенням конкретних термінів, виконавців, обсягів і витрат, питомих і загальних газо-димових викидів в атмосферне повітря і скидів стічних вод та відходів виробництва до і після впровадження кожного заходу.

Екологічні паспорти дають змогу зробити аналіз екологічного середовища в регіоні, порівняти техніко- і еколого-економічні дані з даними інших підприємств, що характеризуються природоохоронними заходами.

Одночасно можна оцінити й ефективність застосованої технології, повноту використання матеріалів й палива, ефективність технології очищення стічних вод і газо-димових викидів.

Можна також зробити еколого-економічну оцінку збитків взагалі і завданих природі зокрема, ефективність використання палива та енергії.

Оскільки об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери і навколишнього середовища, то проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу і дають оцінку виконання екологічних заходів, приводять дані про використання і охорону земельних і водних ресурсів, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Екологічні порушення (злочини) караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення чіткого причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних злочинів відносять: забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту); порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

Забруднення, виснаження поверхневих чи підземних вод, джерел питної води або зміна її природних властивостей можуть завдати шкоди сільському господарству. Оцінка завданого збитку здійснюється з

урахуванням реальної вартості затрат на відновлювальні роботи та ліквідацію наслідків.

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, експлуатації очисних споруд чи інших об'єктів спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Шкідливий плив на ґрунти чинить забруднення їх відходами господарської діяльності, що може бути небезпечним для здоров'я людей, забруднювати сільськогосподарську продукцію і водойми.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил будівництва, експлуатації і ліквідації побудованих споруд тощо.

За скоєні екологічні злочини порушники несуть правову відповідальність. Екологічне законодавство передбачає три рівні покарання: порушення; порушення, що завдали значних збитків; порушення, що спричинили смерть людей (тяжкі наслідки).

Залежно від величини заподіяних збитків це можуть бути штрафи, заборона обіймати певні посади на встановлений термін, виправні роботи та позбавлення волі на визначений законом термін.

Система екологічного менеджменту в країні визначається і регламентується Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» Згідно з цим законом, метою державного управління в галузі охорони довкілля є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища. Отже, державний екологічний менеджмент включає чотири основні функції:

- здійснення природоохоронного законодавства;
- контроль за екологічною безпекою;
- забезпечення проведення природоохоронних заходів;
- досягнення узгодженості дій державних і громадських органів.

Ринково орієнтована економіка охоплює такі групи функцій екологічного менеджменту: реструктуризація виробництва, приватизація, створення конкурентного середовища і ринкового ціноутворення.

На рівні підприємства до загальних функцій управління належить:

- формування екологічної політики;
- визначення екологічних цілей та завдань відповідно до екологічної політики;
- розроблення стратегічного плану реалізації екологічної політики;
- розроблення та реалізація програми екологічного управління;
- формування екологічної свідомості та мотивування;
- ведення документації екологічного менеджменту;
- оперативне управління, аналіз та вдосконалення.

Виконання системоутворювальних функцій екологічної політики, визначення екологічних цілей і завдань, розроблення та реалізація екологічної програми здійснюється за допомогою екологічної експертизи. Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколога-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

Основними завданнями екологічної експертизи є визначення ступеня екологічного ризику й безпеки суб'єкта господарської діяльності; встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; оцінка

впливу різних об'єктів на довкілля, здоров'я людей та можливих негативних екологічних наслідків.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- гарантування безпечного життя довкілля;
- наукова обґрунтованість життя довкілля;
- державне регулювання та законність.

Державну екологічну експертизу об'єктів загальнодержавного і міжобласного значення проводить управління екологічної системи України, об'єктів місцевого значення – відділи екологічної експертизи обласних управлінь екологічної безпеки.

Законом «Про екологічну експертизу», прийнятим Верховною Радою України у 1995 р., передбачено державне регулювання і управління в галузі екологічної експертизи, статус експерта, обов'язки замовників експертизи, порядок проведення експертизи, її фінансування, відповідальність за порушення та міжнародне співробітництво [31].

Висновки громадської експертизи направляють в органи, що здійснюють державну екологічну експертизу, центральні й місцеві влади, замовникам проекту.

## **4.2. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях**

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить

нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE [32]. Безпека життя та праці сьогодні формується як меганаука, без якої людство приречене на значні втрати.

Умови праці – це складне об'єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов'язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров'я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в

світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

### **Висновки щодо підвищення стану охорони праці**

У розділі охорони праці дипломного проекту представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;
- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;
- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби;

### **4.3. Техніко-економічне обґрунтування досліджень**

Розрахунок економічної ефективності підвищення зносостійкості проводився для підшипникових вузлів з використанням мастильних матеріалів з присадками карбоксилату міді.

Обсяг робіт за сезон, що виконується на прикладі дискової борони, склав  $Q = 324$  га. Фактичний наробіток агрегату з дисковою причіпною модульною бороною БДМ-6х4П склав  $W_{зм} = 30$  га/зміну. Фактична періодичність заміни підшипників – 1 раз в 165 сезон (рік). Кількість даних підшипників на бороні  $n = 6$  шт. Періодичність змащення підшипникового вузла – 1 раз в зміну.

Питомий річний економічний ефект від підвищення зносостійкості підшипникових вузлів на одну машину складе:

$$E = Z_{об}^{існ} - Z_{об}^{експ}, \quad (4.1)$$

де  $Z_{об}^{існ}$  - витрати на обслуговування підшипникових вузлів при використанні серійного мастильного матеріалу, грн.;

$Z_{об}^{експ}$  - витрати на обслуговування підшипникових вузлів при використанні експериментального мастильного матеріалу, грн.

Витрати на обслуговування підшипникових вузлів при використанні серійного мастильного матеріалу складають:

$$Z_{об}^{існ} = Z_1 + Z_2, \quad (4.2)$$

де  $Z_1$  - витрати на придбання підшипників, грн.;

$Z_2$  - витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу при заміні підшипників, грн.

Витрати на придбання підшипників складають:

$$Z_1 = n \cdot Ц, \quad (4.3)$$

де  $n$  - кількість підшипників на одній машині, шт.;

$Ц$  - середня ціна закупівлі одного підшипника, грн.

$$Z_1 = 6 \cdot 240 = 1440 \text{ грн.}$$

Витрати на витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу при заміні підшипників складають:

$$Z_2 = f \cdot T_{\text{сум}} \cdot n, \quad (4.4)$$

де  $f$  – годинна ставка оплати праці при заміні одного підшипника, грн./год.;

$T_{\text{сум}}$  - сумарна трудомісткість заміни одного підшипника, люд.-год.

$$Z_2 = 95 \cdot 0,3 \cdot 6 = 171 \text{ грн.}$$

$$Z_{\text{об}}^{\text{існ}} = 1440 + 171 = 1611 \text{ грн.}$$

Витрати на обслуговування підшипникових вузлів при використанні експериментального мастильного матеріалу складають:

$$Z_{\text{об}}^{\text{експ}} = Z_{1\text{експ}} + Z_{2\text{експ}} + Z_{\text{пр}}, \quad (4.5)$$

де  $Z_{1\text{експ}}$  - витрати на придбання підшипників при використанні експериментального мастильного матеріалу, грн.;

$Z_{2\text{експ}}$  - витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу при заміні підшипників при використанні експериментального мастильного матеріалу, грн.;

$Z_{\text{пр}}$  - додаткові витрати на серійний мастильний матеріал, що враховують збільшення його вартості при введенні присадки, грн.

З урахуванням того, що буде отримано зниження інтенсивності зношування підшипників в 2,39 рази, то відповідно до цього знижуються і витрати на придбання підшипників і витрати на оплату праці при їх заміні, тобто:

$$Z_{1\text{експ}} = 1440 / 2,39 = 602,5 \text{ грн.}$$

$$Z_{2\text{експ}} = 171 / 2,39 = 71,5 \text{ грн.}$$

Додаткові витрати на серійний мастильний матеріал, що враховують збільшення його вартості при введенні присадки визначається наступним чином:

$$Z_{np} = N \cdot g \cdot C_m, \quad (4.6)$$

де  $N$  - число змін, відпрацьованих агрегатом за сезон, шт;

$g$  - витрата присадки на одну мастило підшипникового вузла, г;

$C_m$  - ціна присадки (з урахуванням її введення в серійний мастильний матеріал), грн./г.

Кількість змін, відпрацьованих агрегатом за сезон, складе:

$$N = \frac{Q}{W_{зм}}, \quad (4.7)$$

де  $Q$  - обсяг робіт за сезон, шт.;  $W_{зм}$  - змінний наробіток агрегату, га/зміну.

$$N = \frac{324}{30} = 10,8 \text{ змін.}$$

Для подальших розрахунків приймаємо  $N = 11$  змін.

Витрата присадки на одне мащення підшипникового вузла визначається:

$$g = G \cdot f, \quad (4.8)$$

де  $G$  – витрата мастильного матеріалу на одне змазування, г;  $f$  - частка присадки в змащувальному матеріалі.

$$g = 30 \cdot 0,1 = 3 \text{ г.}$$

$$Z_{np} = 11 \cdot 3 \cdot 0,23 = 7,6 \text{ грн.}$$

Тоді маємо:

$$Z_{об}^{експ} = 602,5 + 71,5 + 7,6 = 681,6 \text{ грн.}$$

$$E = 1611 - 681,6 = 929,4 \text{ грн.}$$

Питомий річний економічний ефект на один гектар обробленої площі складе:

$$E_{за} = E / Q, \quad (4.9)$$

$$E_{ca} = 929,4 / 324 = 2,9 \text{ грн./га.}$$

Таким чином, питомий річний економічний ефект від підвищення зносостійкості 6 підшипників дискової борони складе 929,4 грн., або 2,9 грн./га.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено теоретичний аналіз шляхів покращення показників надійності використанням мастильних матеріалів.

2. Розроблено методику експериментальних досліджень основних триботехнічних властивостей пластичних мастил з розробленими присадками і визначено їх вплив на зносостійкість вузлів тертя.

3. Підтверджено, що поліпшення антифрикційних і протизносних характеристик обумовлено можливістю карбоксилатів міді створювати на поверхнях тертя мастильний шар з особливою структурою

4. Виявлена оптимальна концентрація присадок в пластичних мастильних матеріалах. Дослідження показують, що оптимальною є концентрація присадок в матеріалах на базі кальцієвих мастил від 5 до 10 мас.%. в залежності від навантаження на зразки. Для мастильних матеріалів на літієвій основі максимальне поліпшення триботехнічних характеристик спостерігається при концентраціях присадок від 10 до 20 мас.%.

5. Питомий річний економічний ефект від підвищення зносостійкості 6 підшипників дискової борони складе 929,4 грн., або 2,9 грн./га.