

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра технологій та засобів механізації аграрного виробництва

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Забезпечення збережуваності двигунів внутрішнього згорання
шляхом удосконалення сервісного обслуговування»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 4
Красюк Дмитро Олександрович
Керівник: Келемеш А. О.
Рецензент: Дудник В. В.

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Висока працездатність і безвідмовність сільськогосподарської техніки – одна з необхідних умов ефективності виробництва сільськогосподарської продукції. Через сезонний характер сільськогосподарських робіт і вузьку спеціалізацію багато видів техніки працюють всього 150-300 годин на рік і якщо їх відповідним чином ніяк не підготувати до зберігання, то приходять в непридатність.

Раціональне зберігання машинно-тракторного парку в неробочий період з використанням поліфункціональних робоче-консерваційних матеріалів є одним з перспективних напрямів підвищення надійності техніки. Брак консерваційних матеріалів вітчизняного виробництва вимагає інших підходів до консервації техніки і диктує необхідність розробки поліфункціонального інгібітора корозії на основі дешевої і доступної вітчизняної сировини.

Метою роботи є вдосконалення технології консервації двигунів внутрішнього згоряння сільськогосподарської техніки.

Об'єктом дослідження є: робоче-консерваційні суміші, розроблені на основі відпрацьованих масел і розробленого інгібітора корозії, їх фізико-хімічні, екологічні та експлуатаційні властивості.

Предметом дослідження є: кількісні і якісні показники, що характеризують роботу силових установок.

Практичну цінність становлять розроблена рецептура і технологія застосування поліфункціонального інгібітору корозії, що є продуктом конденсації.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Особливості умов зберігання, специфіка експлуатації машинно-тракторного парку

Зважаючи на ряд чинників, проблема ефективного використання ресурсів МТП є досить актуальною. До цих факторів можна віднести порівняно невисокий рівень рентабельності багатьох підприємств сільського господарства країни, відсутність методичних засобів і системного підходу для забезпечення раціональної організації використання техніки з урахуванням широкого спектра умов і факторів функціонування підприємств.

В даний час мають місце старіння і низькі темпи зростання МТП підприємств. В середньому з машин, що надходять в сільське господарство, третина йде на збільшення парку, інші йдуть на відшкодування тих, що вибувають з ладу, в результаті чого особливо актуальною стає проблема ефективного використання техніки як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва. Крім того, через економічну ситуацію, що склалася на сьогоднішній день, утруднена закупівля нових зразків зарубіжної техніки, а вітчизняна не завжди відповідає необхідним і достатнім вимогам, що пред'являються на сучасних вітчизняних виробництвах [1]. В результаті, постійно зростають вимоги до надійності самохідної техніки, що вже знаходиться в строю.

Безперервно підвищуються вимоги до якості, продуктивності, надійності і діапазону виконуваних сільськогосподарських операцій. В результаті це призводить до підвищення завантаженості техніки.

Також до збільшення кількості відмов призводить і збільшення напрацювання на кожен окремий агрегат, відповідно збільшується і час знаходження техніки на ремонті, тому чинником, що має першорядне

значення, є забезпечення надійності окремих складальних одиниць і агрегатів, а в результаті і окремих зразків самохідної техніки в цілому. Прості високопродуктивних примірників техніки через низькі показники надійності призводять до збільшення сільськогосподарських термінів, що в свою чергу може привести до втрат врожаю.

Досягнення необхідного рівня працездатності сільськогосподарського обладнання вимагає формування і точного функціонування матеріально-технічної бази з обслуговування та проведення своєчасних ремонтних робіт техніки. Однак, в ході реформування економіки максимальним негативним змінам піддалася якраз система технічного сервісу АПК [2]. З огляду на низьку рентабельність багато заводів і майстерні, які займалися в минулому ремонтом сільськогосподарської техніки, або закрилися, або перекваліфікувалися на виробництво іншої промислової продукції, або в багатопрофільні ремонтно-технічні підприємства, станції по обслуговуванню легкових автомобілів та інші організації.

Система районних і обласних ремонтно-технічних підприємств так само зазнала подібні зміни. Значна частина РТП збереглися як підприємства, проте значно зменшилися обсяги вироблених ними сервісних робіт і скоротилася кількість співробітників.

Інші підприємства в результаті поділу на декілька приватних малих різнопрофільних організацій, втратили можливість виконувати раніше виконувані функції. У більшій частині регіонів припинили свою діяльність станції технічного обслуговування і ремонту енергонасичених тракторів, станції ТО і ремонту автомобілів, станції ТО і ремонту обладнання тваринницьких ферм, технічні обмінні пункти та інші об'єкти.

Зазнала змін у бік ослаблення і ремонтно-обслуговуюча база сільськогосподарських підприємств, яка в даний час не дозволяє якісно і в строк виконувати ремонт техніки. Наявне у виробничих майстернях ремонтно-технологічне обладнання застаріло, нові технології виконання ремонтних робіт не застосовуються. Практично не здійснюється відновлення

зношених деталей. Все це веде до збільшення витрат на ремонт техніки, термінів виконання ремонту, погіршення його якості і, в кінцевому підсумку, до зниження рівня технічної готовності машинно-тракторного парку.

Використовувані типові технології технічного сервісу машин виконуються в повному обсязі і не включають в достатній мірі всього комплексу процесів забезпечення їх працездатності. Частина технологій ремонту і технічного обслуговування, в зв'язку з модернізацією і покупкою господарствами нової техніки, вимагають нових розробок [2, 3]. Ремонт машин в осінньо-зимовий період при підготовці техніки до польових робіт сільськогосподарські підприємства виконують в основному власними силами в своїх ремонтних майстернях.

Беручи до уваги сьогоденній розподіл обсягів виконуваних робіт за рівнями ремонтно-обслуговуючої бази можна зробити висновок, що у всій галузі зберігається тенденція до відновлення на спеціалізованих підприємствах складних складальних одиниць, вузлів і агрегатів при проведенні ремонту обладнання. Аналогічний розподіл ремонтних робіт спостерігається і за кордоном. В наслідок цього, підтримку і вдосконалення спеціалізованих ремонтних підприємств по ремонту найбільш складних складальних одиниць є багатообіцяючим напрямком сучасного розвитку ремонтної бази регіонів. Подібні підприємства вимагають оснащення не тільки обладнанням високої точності і відповідним оснащенням, а й новими технічними регламентами на виконання ремонту та технічного обслуговування як вітчизняної, так і зарубіжної сільськогосподарської техніки [4].

1.2. Аналіз силових установок, що застосовуються в сільськогосподарській техніці

Умови експлуатації сільськогосподарської техніки мають ряд особливостей. Головними з них є сезонність виконання робіт і агресивність

багатьох виробничих середовищ. Зайнятість основних видів сільськогосподарської техніки в році в середньому становить від 150 до 300 мотогодин в рік. У час, що залишився техніка знаходиться на зберіганні, частіше за все на відкритих майданчиках, піддається інтенсивному впливу зовнішніх факторів, таких як атмосферні опади, сонячна радіація, пил, вітрові навантаження, вплив як низьких, так і високих температур [5].

Виходячи з вищесказаного, з огляду на суворі експлуатаційні умови до сільськогосподарської техніки спочатку пред'являються високі вимоги до якості і рівня як експлуатації, так і обслуговування в цілому.

Наведені характерні риси умов роботи техніки призводять до збільшення швидкості зношування, старіння, швидкого погіршення експлуатаційних характеристик і, в результаті, раннього виходу техніки з ладу, що викликає в свою чергу додаткові витрати на непередбачений ремонт. Відомо, що після десяти років експлуатації тракторів простої техніки збільшуються на 15%, відбувається зниження річного напрацювання в середньому на 17%, подвоюються витрати на обслуговування і ремонт в порівнянні з другим роком експлуатації [6].

Силова установка самохідної техніки складається з двигуна і пристроїв, що забезпечують його роботу. Двигун – джерело енергії для руху і роботи автомобілів і тракторів. Від характеристик двигуна в значній мірі залежить ефективність роботи автомобілів і тракторів [7].

Практично у всіх зразках сучасної автомобільної та сільськогосподарської техніки використовуються поршневі двигуни внутрішнього згоряння. Основними типами ДВЗ в сільському господарстві є дизельні ДВЗ [7].

Моторесурс двигуна, тобто його термін служби до капітального ремонту, визначається його типом і потужністю. Зі зростанням потужності двигуна збільшуються і вимоги до терміну служби до капітального ремонту. Для більшості автомобільних бензинових двигунів пробіг до капітального ремонту складає від 2 до 4 тис. мотогодин, для більшості дизельних

турбованих високофорсованих дизелів, що експлуатуються в сільськогосподарській техніці, напрацювання до капітального ремонту повинно становити не менше 10 тис. мотогодин. Ресурс двигуна, тобто термін його служби до проведення капітального ремонту, як правило, відповідає терміну служби самої техніки, тобто термін служби сільськогосподарської техніки практично повністю визначається терміном служби силової установки [8].

Головними тенденціями розвитку ДВЗ на сьогоднішній день є наступні напрямки:

1. Підвищення питомої потужності та економічності.
2. Забезпечення зростаючих вимог по екологічності.
3. Зниження витрат на експлуатацію.
4. Зниження витрат безпосередньо на виготовлення самого двигуна і його утилізацію.

Прогрес за першими трьома перерахованими пунктами забезпечується наступними методами: оптимізацією процесів перетворення і передачі енергії в ДВЗ за рахунок зменшення витрат; удосконаленням процесів змащування з метою скорочення енерговитрат; використанням нових, або модифікованих матеріалів.

Підвищення цих показників можна домогтися шляхом застосування поліпшених мастильних матеріалів, які покращують як збереженість техніки в неробочий період, так і покращують експлуатаційні характеристики двигунів. Доведено, що застосування подібних засобів покращує характеристики ДВЗ [7].

Надійність – одна з найважливіших характеристик будь-якої техніки. Від показників надійності залежать такі найважливіші параметри техніки як продуктивність праці і економічність роботи [8].

Надійність є найбільш важливою ознакою якості промислової продукції, в тому числі двигунів внутрішнього згорання. Відповідно до ГОСТ 27002-89, надійність – це властивість об'єкта виконувати задані

функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, що відповідають заданим режимам та умовам застосування, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування [9].

Надійність є комплексною властивістю, яке включає в себе безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збереженість.

Справним станом техніки вважається стан, при якому вона функціонує безперебійно, а експлуатаційні характеристики знаходяться в заданих межах. Порушення такого стану техніки вважається несправністю і може служити причиною відмов.

Для сільськогосподарської техніки одним з найважливіших параметрів є збереженість техніки, тому що сільськогосподарська техніка більшу частину року перебуває на зберіганні.

Підвищення надійності техніки може відбуватися двома шляхами: шляхом підвищення довговічності і безвідмовності, та шляхом підвищення зберігаємості. Для сільськогосподарської та деяких інших видів техніки, що мають сезонний характер використання, підвищення надійності має здійснюватися виключно комплексними методами, що включають в себе підвищення всіх складових надійності. Безпосередньо в період експлуатації техніки показники зберігання не мають для споживача практичної користі, на відміну від безвідмовності і довговічності. З іншого боку, без підвищення зберігання для зазначених видів техніки, тому що в процесі зберігання може значно знижуватися довговічність і безвідмовність, особливо при недостатньому протикорозійному захисті або при використанні недосконалих технологій з підготовки техніки до зберігання [10].

Відомо, що з огляду на недостатню надійність, більша частина сільськогосподарської техніки йде на відшкодування вибуваючих з ладу машин. Так, 80,2% всіх поступлених в сільське господарство тракторів вводиться в дію замість вибулих машин, і лише 19,2% – на розширення парку. Схожа ситуація спостерігається і по зернозбиральних комбайнах і

становить 75% і 25%, що в умовах зростання обсягів сільськогосподарського виробництва є недостатнім. Аналогічне становище спостерігається і за іншими видами техніки [11].

Така властивість як збереженість має ряд специфічних рис, які накладають певні обмеження на процес проведення випробувань виробів на збереженість, а в деяких випадках і зовсім ставлять під сумнів практичну можливість проведення таких випробувань.

Головна особливість полягає в тому, що в число характеристик виробу, які повинні бути збережені за період зберігання, повинні включати в себе всі інші показники надійності – безвідмовність, довговічність і ремонтпридатність. Таким чином, важливим є умова, щоб виріб після зберігання нормально функціонував тривалий час із зазначеними в технічних умовах значеннями безвідмовності, ремонтпридатності і надійності. І якщо в деяких ситуаціях показники ремонтпридатності і довговічності можуть бути віднесені на другий план, то такий показник як безвідмовність безумовно повинен входити в число характеристик якості, збереження яких гарантується.

Для кожного параметра надійності існує два характерних стани досліджуваної системи. При дослідженні кожної складової надійності перший стан є вихідним, другим є стан, в який переходить або може перейти зразок в процесі випробувань. Для кожного параметра ці стани відрізняються. При випробуваннях на безвідмовність першим характеристичним станом є стан повної працездатності, другий стан – це стан відмови. У випробуваннях на ремонтпридатність ситуація рівно протилежна – першим (вихідним) характеристичним станом є стан відмови, другим – стан працездатності. При випробуваннях на довговічність вихідним станом є стан працездатності при відсутності витрати ресурсу, другим вважається граничний стан, при якому можлива експлуатація виробу. При випробуваннях на збереженість першим станом є стан, в якому всі характеристики зразка відповідають заявленим технічним умовам, другим

станом є стан, коли хоча б один з досліджуваних параметрів виходить з встановлених у технічній документації допусків.

Таким чином, для визначення характеристичних станів зберігання потрібно, як мінімум, виявити стан безвідмовності випробовуваної системи. З іншого боку, практично нездійсненним є завдання виявлення безвідмовності зразка без значних витрат часу і коштів, і найголовніше, без зміни ресурсу самої досліджуваної системи.

Зазначені обставини значно ускладнюють (і підвищують вартість) проведення випробувань на збереженість, практично виключають проведення експериментів, що вимагають перевірки стану досліджуваної системи в одному досліді, також практично виключається можливість визначення таких показників, як тривалість зберігання виробу в заданих умовах до виходу хоча б однієї з досліджуваних характеристик з встановлених меж T_c , і, отже, математичного очікування часу збереження T_c . Доведено, що при реалізації подібних випробувань можна провести контроль лише незначну кількість разів під час одного досліду. Відповідно, визначення показників часу зберігання і шукані показники T_c і T_c можуть бути визначені настільки приблизно, що їх використання є неможливим, а визначення є недоцільним [12].

Головним напрямком підвищення зберігання сільськогосподарської техніки є розробка нових технологій консервації техніки із застосуванням більш сучасних консерваційних матеріалів. Для консервації двигуна і трансмісії одним з найбільш перспективних напрямків є розробка робоче-консерваційних матеріалів замість традиційно використовуваних консерваційних складів. Консерваційні склади мають ряд позитивних якостей, таких як хороші водовідштовхувальні властивості, добре зберігають деталі від корозії, але мають низькі експлуатаційні властивості, такі як низькі протизносні і протизадирні властивості, висока зольність і т.д., тому такі склади можуть використовуватися тільки в період зберігання техніки і перед

введенням в експлуатацію потрібні операції з їх видалення та заміни на склади, призначені для використання в експлуатованій техніці.

Інший напрямок підвищення надійності пов'язаний з підвищенням зносостійкості тертьових сполучень.

Зносостійкість – це здатність матеріалу чинити опір зношування в певних умовах тертя. Зносостійкість оцінюється величиною, зворотною швидкості зношування [12].

Представлені напрямки досліджень щодо підвищення надійності силової установки ґрунтуються на заходах, що проводяться до початку їх експлуатації. Фактична надійність силової установки визначається за результатами реальної експлуатації. Третім напрямком по збільшенню надійності техніки є роботи по локалізації різних пошкоджень в зоні тертя, що з'являються в результаті порушення режимів роботи, таких як порушення режиму змащування поверхонь, при ненормованих перевантаженнях, попаданні абразивних частинок. Роботи в цьому напрямку, як правило, спрямовані на підвищення довговічності техніки.

При нормальній експлуатації техніки деталі зношуються в основному в результаті тертя контактуючих поверхонь. Сила тертя залежить від багатьох причин, головними з яких є тип матеріалу, умови роботи (навантаження, режим мастила) і багато інших. Також виділяють кілька видів зношування: механічне, корозійно-механічне, абразивний, гідро- і газоерозійне, утомлююче і багато інших [12]. При експлуатації техніки, як правило, реалізується одночасно відразу кілька видів зношування, в результаті чого апріорне визначення величини зносу є важким завданням, а наявні рішення базуються на емпіричних даних, отриманих в результаті експлуатації схожих зразків техніки в схожих умовах.

Знос деталей – явище непереборне і неминуче, проте характер його наростання залежить від умов роботи, якості технічного обслуговування і зберігання техніки, а також від конструктивних рішень, технологія виготовлення, матеріалу деталей, якості складання і т. д. При порушенні

правил технічного обслуговування, режимів роботи деталі зношуються швидше і форсоване збільшення зносу може призводити навіть до раптової відмови всієї машини або окремих агрегатів (поломка, заїдання і т. д.). При належній експлуатації техніки подібні відмови відбуватися не повинні.

Як було зазначено вище, на інтенсивність зношування впливають такі чинники:

1) Умови експлуатації (температура, перевантаження, відносна швидкість руху і питомий тиск на зношувальних поверхнях). Чим більше питомий тиск, тим вища швидкість зношування. Високе перевантаження, вібрація, динамічне навантаження також збільшують швидкість зношування.

2) Матеріали, застосовувані в трибоспряженнях. При одних і тих же конструкційних матеріалах на інтенсивність зношування істотно впливає якість мастильного матеріалу і навпаки, при одному і тому ж мастильному матеріалі інтенсивність зношування залежить від матеріалу, з якого виготовлені поверхні, що спряжені.

3) Характер контакту, умови мащення поверхонь і технологічні дефекти (сухе тертя, неспіввісність валів, втрата паралельності або перпендикулярності осей або площин), як правило, збільшують швидкість зношування.

4) Особливості продуктів зношування. Більші і тверді частинки підвищують швидкість зношування спряження.

5) Призначення оптимальних термінів обслуговування, спряженого з втручанням в роботу механізмів (регулювання, безрозбірного відновлення, ремонту, спряженого з розбирально-складальними операціями) є важливим заходом підвищення надійності [13].

На ДВЗ і його системи (живлення, охолодження і випуску) припадає 50-55% від загального числа відмов автомобілів і до 50% відмов тракторів і комбайнів. При цьому ресурс ДВЗ визначається в основному станом ЦПГ і кривошипно-шатунного механізму, на які припадає від 45 до 60% всіх

відмов, внаслідок недостатньо високої зносостійкості складових їх тертьових з'єднань [13].

У процесі згоряння палива в циліндрі різко підвищуються температура і тиск газів. Гази проникають за поршневі кільця і притискають їх до дзеркала циліндра, внаслідок чого підвищується питомий тиск кілець на поверхню циліндра.

При зворотно-поступальному переміщенні поршня найбільш несприятливі умови роботи деталей ЦПГ створюються в момент реверсування, тобто при найменших швидкостях переміщення. У максимальному ступені це проявляється поблизу камери згоряння, де відбувається інтенсифікація процесу зношування деталей внаслідок впливу високих температур і тисків. Товщина масляної плівки між кільцями і гільзою різна на різних ділянках руху поршня. У період всмоктування відбувається її розрідження бензином. При подальшому стисненні плівка видувається з-під компресійних кілець і вигорає під час займання. Це призводить, практично, до її повного руйнування (втрати мастильної здатності). Зміна зносу і основних параметрів, що впливають на знос, по висоті гільзи циліндра показано на рисунку 1.1.

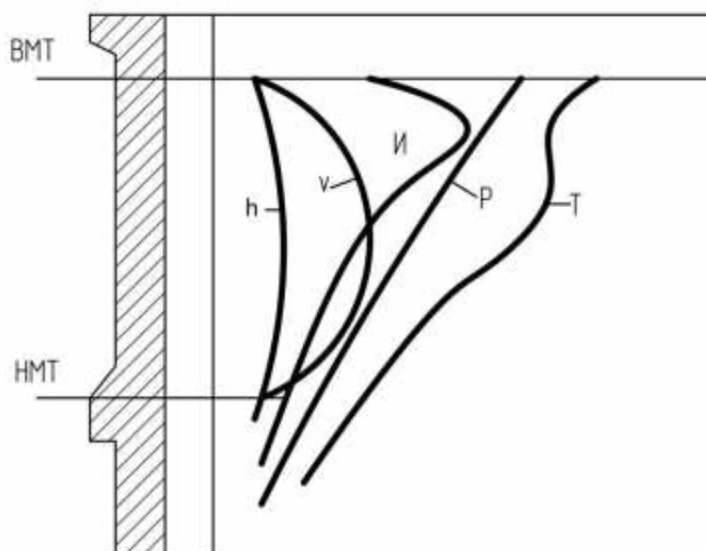


Рисунок 1.1 – Зміна товщини масляної плівки h , швидкості руху поршня V , зносу гільзи I , тиску газів P і температури T по довжині гільзи [13]

Вібрації третьових поверхонь поршня, пальця, кілець, що збільшуються у міру зносу деталей, ударний характер їх взаємодій зі стінками циліндра вкрай ускладнюють умови роботи вузла. При положеннях поршня у верхній і нижній мертвих точках (ВМТ і НМТ) спостерігається майже повне руйнування масляної плівки і виникає напівсухе тертя.

В області підвищених швидкостей ковзання поршня (ближче до середньої частини гільзи) товщина масляної плівки зростає, і можуть створюватися умови для гідродинамічного тертя.

Частота обертання колінчастого валу впливає на величину зони граничного тертя. При зниженні частоти обертання область граничного тертя по довжині гільзи від ВМТ до НМТ збільшується. Подібний вплив на поширення зони напівсухого тертя надають збільшення тиску на поршневі кільця і підвищення температури поверхонь тертя. Сила тертя, що виникає при русі кілець по дзеркалу гільзи, залежить від кількох факторів, таких як нормальний тиск, швидкість, умови утворення масляної плівки і її властивості та досягає максимальної величини в момент зміни напрямку руху. Коефіцієнт тертя в даний період може варіюватися від 0,02 до 0,20 [14].

На швидкість зношування ЦПГ в результаті хімічного впливу активних речовин величезний вплив справляє також температурний режим двигуна. Дослідження показують, що знос підвищується при температурі стінки гільзи нижче 90° С. Це пояснюється конденсацією водяної пари на стінках циліндрів. Водяна пара з продуктами згоряння утворюють кислоти, під впливом яких підвищується корозійний знос робочої поверхні гільз циліндрів. Про вплив температури свідчить різний знос гільз одного і того ж двигуна: гільзи, ближче розташовані до радіатора, більше зношуються порівняно з іншими.

В процесі експлуатації гільзи циліндрів двигунів деформуються, внаслідок чого порушується їх циліндрична форма. Це відбувається в результаті різностінності, неправильної затяжки болтів кріплення головки блоку, нерівномірного нагрівання гільз.

На знос гільзи по колу впливає також перекис поршня при русі в площині гойдання шатуна, внаслідок чого відбувається скребковий вплив на стінки циліндра кромek поршневих кілець. Крім того, під час роботи двигуна через тиск газів і нерівномірного розподілу маси металу поршні дещо деформуються, що також впливає на знос гільзи.

Знос деталей ЦПГ залежить також від роботи і стану системи очищення повітря. При недостатньому очищенню повітря в циліндр потрапляють абразивні частинки, які значно посилюють знос деталей циліндро-поршневої групи

Масла, що мають низьку в'язкість і містять абразивні домішки, і хімічно активні речовини, також підсилюють знос деталей ЦПГ. В процесі зношування на поверхнях гільз, циліндрів і поршневих кілець може відбуватися молекулярне схоплювання, втомні і абразивні пошкодження. Ці види зносу тісно пов'язані. Залежно від температурного і силового режимів, якості змащення, властивостей матеріалів деталей і поверхневих шарів може переважати той чи інший вид зносу.

Ресурс двигуна обмежується як ресурсом деталей циліндро-поршневої групи, так і ресурсом кривошипно-шатунного механізму. Найбільше зменшення зносостійкості внаслідок ремонту відбувається в спряженні шатунна шийка колінчастого валу – вкладиш.

Таким чином, дане спряження являє собою одну з найбільш слабких ділянок, що обмежують ресурс двигуна. Підвищити довговічність колінчастого валу можна за рахунок збільшення зносостійкості шляхом зниження швидкості зношування поверхонь тертя.

Нарівні зі збільшенням зносостійкості ЦПГ і колінчастого валу для підвищення довговічності двигуна в цілому також необхідно щоб зносостійкість інших деталей і складальних одиниць, що визначають ресурс двигуна, була достатньою.

1.3. Аналіз матеріалів для протикорозійного захисту

Корозійні ураження деталей і складальних одиниць сільськогосподарської техніки значно позначаються на їх технічному стані. Так зношування деталей двигуна, що мають корозійні ураження, протікає в 1,5-2 рази швидше, межа втомної міцності сталей знижується на 30-50%. За різними дослідженнями, до 30% відмов сільськогосподарських машин і устаткування відбувається в результаті корозійного руйнування. Крім зносу деталей, що мають корозійні ураження, збільшується і знос спряжених деталей [15].

У загальному випадку процес корозії є багатофакторним, і одноразово можуть протікати відразу кілька видів корозії, що має враховуватися при розробці технологічних процесів консервації сільськогосподарської техніки.

Для уповільнення процесу корозії і підвищення таким чином зберігання техніки в сільському господарстві, як і в багатьох інших галузях промисловості застосовують різні консерваційні та робоче-консерваційні матеріали.

За минулі роки змінилася матеріально-технічна база нашої країни, багато видів сировини для приготування консерваційних складів виробляються все в менших обсягах, частина компонентів не виробляються зовсім і замінені або на низькоякісні вітчизняні аналоги, або на імпорتنі складові, що в нинішній економічній ситуації створює значні труднощі в забезпеченні галузі потрібною кількістю консерваційних складів.

Проте, вітчизняні виробники все ще виготовляють деякі склади. Ці склади мають недостатні захисні властивості, в результаті чого існує гостра необхідність розробки робоче-консерваційного складу, що володіє високими необхідними властивостями, а також значною недефіцитною сировинною базою.

Застосовують склад для тривалої консервації виробів, що зберігаються без прямого погодного впливу. ДВЗ консервують без розбирання: зливають

моторне масло, прокачують маслом К-17, надлишки масла видаляють. Для введення двигуна в експлуатацію необхідно замінити масло К-17 штатним маслом. При консервації повинна бути забезпечена циркуляція масла у консервуючій поверхні. Масло К-17 можна використовувати як присадку до високосірчистого газотурбінного палива (0,002% на паливо). При цьому знижується корозія паливної апаратури двигунів і підвищується міжремонтний період їх роботи.

До недоліків складу можна віднести велике число компонентів і необхідність заміни масла на штатний перед введенням техніки в експлуатацію.

Діалкілтіофосфат цинку є присадкою до моторних мастил комбінованої дії. Застосування діалкілдитіофосфату цинку в оливах для бензинових і дизельних двигунів знижує швидкість зношування і запобігає піттингу тарілок штовхачів клапанів і кулачків розподільного валу двигуна, де присутні значні контактні навантаження. За останні роки все збільшується енергонавантаженість двигунів, тобто збільшується потужність двигуна на одиницю ваги. Збільшення енергонавантаженості призвело до підвищення контактних навантажень на поверхні тертя штовхачів, частим задирам і руйнування їх поверхні в результаті піттингу. Піттинг викликається втомлюваним руйнуванням поверхонь тертя при коливальних високих навантаженнях в умовах тертя кочення. При використанні моторних оливок без присадок виразкова корозія не спостерігається, однак відбувається інтенсивне зношування поверхонь тертя. Введення в моторні масла миючих присадок для зменшення нагаро- і лакоутворення підвищує інтенсивність піттинга штовхачів.

До діалкілдитіофосфату цинку відносяться такі присадки:

- Сантолюб-493, Хайтек-85, Хайтек-948, Хайтек-99, Оробіс-267;
- ДФ-8, ДФ-9, ДФ-10 і ДФ-11. Присадки ДФ випускаються у вигляді 50% -них концентратів.

Діалкілдитіофосфати в нерозбавленому вигляді і в масляних розчинах при нагріванні при температурах порядку 130-180° руйнуються. Нагрівання масляних розчинів діалкілдитіофосфату цинку в робочих концентраціях при температурах їх руйнування призводить до втрати протизносних властивостей розчином.

При термічному розкладанні діалкілдитіофосфату цинку та інших металів (кадмію, нікелю) виділяються алкени, діалкілсульфіди, алкілмеркаптани, сірководень і залишається щільний органофосфорний полімер.

Також до недоліків даної присадки можна віднести високу зольність оливи при додаванні до них даної присадки. В результаті при тривалій експлуатації подібної оливи збільшується нагар і лакові відкладення, а, отже, і знос двигуна.

У другій половині ХХ століття великого поширення як інгібітори корозії й присадки до палив отримали продукти нітрування вуглеводнів. Нітруванням називається реакція введення однієї або декількох нітрогруп (NO_2) в молекулу органічної речовини шляхом заміщення атомів водню або галоїда, сульфогрупи, карбоксильної руппи і ін., або шляхом приєднання за місцем подвійного зв'язку в ненасиченому з'єднанні.

До подібних інгібіторів корозії відноситься інгібітор АКОР-1, також випускається кілька товарних оливи з використанням даного інгібітора до корозії: робоче-консерваційний склад НГ-203, НГ-204 і НГ-204у.

Присадки на основі боратів етаноламід карбонових кислот є продуктами конденсації карбонових кислот і етаноламіну. В результаті синтезу виходять органічні сполуки з асиметричною молекулярною структурою, що містять гідрофобний радикал і гідрофільну частину. Такі сполуки відносяться до класу неіоногенних поверхнево-активних речовин, тобто сполук, що не дисоціюються у водному розчині з утворенням іонів, як більшість ПАВ. Однак захисна здатність подібних з'єднань в іншому. Одним з найбільш важливих властивостей цих речовин є створення на поверхні

металу структурованої мономолекулярної плівки, тобто плівки, товщиною в один молекулярний шар.

Значною перевагою є мала кількість компонентів і їх доступність. Всі складові виробляються вітчизняною промисловістю у великому обсязі і легкодоступні. Етаноламіни широко використовуються у фармацевтичній, текстильній, лакофарбовій, парфумерній, автомобільній, шкіряній промисловості, у виробництві пластмас і синтетичних волокон, при отриманні мастильно-охолоджуючих рідин (МОР), гідравлічних, гартівних та інших технологічних рідин. Борна кислота також є недефіцитним товаром і є в оптовій і роздрібній торгівлі. Джерелом жирних кислот можуть служити рослинні масла вітчизняного виробництва.

Висновки, мета і завдання досліджень

1. Проведено огляд робіт з питань зберігання техніки, що дозволив встановити, що при зберіганні машини піддаються впливу комплексу різноманітних зовнішніх факторів, основними з яких є кліматичні.

2. Аналіз засобів захисту від атмосферної корозії, що застосовуються для консервації техніки, показав їх низьку ефективність як робоче-консерваційних матеріалів. Дефіцит вітчизняних консерваційних матеріалів викликаний припиненням випуску ряду компонентів, що є основою для виробництва інгібіторів корозії.

Основні завдання дослідження:

1. Аналіз існуючих засобів протикорозійного захисту техніки.
2. Аналіз структури машинно-тракторного парку, його стану і динаміки розвитку.
3. Розробка рецептури інгібітору корозії з використанням недефіцитної сировини.

4. Проведення досліджень впливу модифікатора на фізико-хімічні, екологічні та експлуатаційні властивості олив і можливість використання композицій на основі серійних олив та інгібітору як робоче-консерваційний склад.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Вибір об'єкту досліджень

Програма випробувань розроблялася виходячи з таких вимог:

1. Розроблюваний робоче-консерваційний склад повинен володіти високими антикорозійними властивостями, отже, необхідно всебічне дослідження властивостей, що впливають на збереженість. Були проаналізовані умови роботи двигуна, фактори, що впливають на збереженість при консервації; проаналізовані сучасні технології і матеріали, що застосовуються при консервації сільськогосподарської техніки. В результаті були визначені види випробувань, необхідні для розробки технології консервації сільськогосподарської техніки та обґрунтування застосування розробленого складу.

2. Робоче-консерваційні склади повинні не погіршувати експлуатаційні властивості масел. Для цього необхідний відповідний комплекс випробувань, що дозволяє визначити вплив присадок до мастил на основні експлуатаційні характеристики.

Для проведення випробувань були підготовлені кілька робоче-консерваційних складів. Основою для робоче-консерваційних складів було прийнято моторне напівсинтетичне масло MANNOL TS-5 UNPD 10W-40 API CI-4/CH-4/CG-4/CF-4/SL. Так як перевагою розробленого складу і технології консервації техніки є відсутність необхідності заміни перед консервацією масла, відпрацьованого деякий ресурс, було вирішено провести відбір масел з різним відпрацьованим ресурсом.

Зразки масел відбиралися з екскаватора-навантажувача JCB 3CX Sitemaster 1997 року. Технічні характеристики представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики двигуна JCB 3CX. Модель двигуна Tier II

| | |
|--|---|
| Виробник | JCB |
| Тип палива | Дизельне пальне |
| Масляний фільтр та система мащення | Повно поточний |
| Наддув | Турбонаддув |
| Робочий об'єм, л | 4,4 |
| Кількість циліндрів | 4 |
| Впорскування пального | Пряме |
| Паливний фільтр | Змінні картриджі, сепаратор для відділення води від дизельного пального |
| Внутрішній діаметр поршня, мм | 103 |
| Хід поршня, мм | 132 |
| Номінальна частота обертання, хв ⁻¹ | 2200 |
| Повна потужність по ISO 14396 (SAE J1995 Gross), к.с. | 92 |
| Максимальний крутний момент по ISO 14396 (SAE J1995 Gross), Нм | 1200 |
| Об'єм системи мащення двигуна (з фільтром), л | 15 |
| Пристрій підігрівання при холодному запуску | Є |
| Повітряний фільтр | Двоступінчастий циклонного типу з сухим елементом |

Так як цикл між двома плановими технічними обслуговуваннями для даної одиниці техніки становить 250 мотогодин, було вирішено провести відбір зразків в наступному порядку з одного циклу технічного обслуговування:

1. Масло, що не відпрацювало ресурс (тобто 0 мотогодин);
2. Масло, відпрацьоване ресурс 90 мотогодин;
3. Масло, відпрацьоване ресурс 250 мотогодин;

На основі відібраних зразків були складені наступні склади:

1. Масло Mannol TS-5 чисте без присадок;

2. Масло Mannol TS-5 чисте + 10% маслорозчинного інгібітору корозії ІК-1;
3. Масло Mannol TS-5 чисте + 10% маслорозчинного інгібітору корозії АКОР-1;
4. Масло Mannol TS-5, з пробігом 90 мотогодин, без присадок;
5. Масло Mannol TS-5, з пробігом 90 мотогодин, + 10% маслорозчинного інгібітору корозії ІК-1;
6. Масло Mannol TS-5, з пробігом 90 мотогодин, чисте + 10% маслорозчинного інгібітору корозії АКОР-1;
7. Масло Mannol TS-5, з пробігом 250 мотогодин, без присадок;
8. Масло Mannol TS-5, з пробігом 250 мотогодин, + 10% маслорозчинного інгібітору корозії ІК-1;
9. Масло Mannol TS-5, з пробігом 250 мотогодин, + 10% маслорозчинного інгібітору корозії АКОР-1;

Надалі всі види лабораторних випробувань проводилися на зазначених зразках мастильних матеріалів, крім випробувань за визначенням схильності моторних масел до високотемпературного окислення.

2.2. Методика визначення зносу і трибологічних характеристик

Випробування по визначенню зносу і трибологічних характеристик проводилися на машині тертя МІ-1М. Дана машина призначена для випробування матеріалів на тертя і знос, а також для вивчення процесів тертя і зносу.

Принцип дії машини полягає в стиранні пари зразків, притиснутих силою Р. На даній установці можливо випробування за різними схемами: диск-диск з різним коефіцієнтом ковзання, диск-нерухомий диск, вал-втулка і ролик-колодка. У даній роботі була обрана схема ролик-колодка. Диск виготовлений зі сталі 40, колодка з чавуну марки СЧ 21. Загальний вигляд зразків представлений на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 - Загальний вигляд пари тертя колодка-ролик

Значення зусилля притискання зразків визначається датчиком навантаження, а частота обертання валу – тахогенератором приводу і вольтметром на приладовій стійці. При випробуваннях відбувається відлік числа обертів вала нижнього зразка. Датчиком частоти обертання служить безконтактний датчик числа циклів.

В процесі випробувань вимірюється момент тертя; сигнал, пропорційний величині моменту тертя, надходить з датчика. Для випробувань масла завантажувалися в ємність, потім в ємність занурювався ролик, потім відбувався запуск машини.

Знос визначався по зносу колодки, так як знос ролика є незначним. Знос визначався як різниця маси зразка до і після випробувань. Вимірювання маси проводилося на лабораторних вагах.

2.3. Методика визначення корозійної стійкості

Для визначення всебічного впливу інгібітора корозії на захисні властивості моторного масла були проведені випробування на корозійну стійкість сталей і чавунів, покритих захисним складом.

Суть методу полягає в утриманні консерваційних матеріалів, нанесених на металеві пластини, в умовах підвищеної вологості повітря і температури з періодичною конденсацією вологи на поверхні зразків. Використовувалися сталеві пластини розміром $(50,0 \times 50,0) \pm 0,2$ мм, товщиною 3,0 мм з отвором для підвісу зразка відповідно. Матеріал пластин сталь 30. Зовнішній вигляд зразка представлений на рисунку 2.2. Пластини зашліфовувались з усіх боків до шорсткості від 1,25 до 0,63 мкм. Напрямок шліфування вибирався таким чином, щоб ризики, які утворюються на поверхні пластин, при підвісі зразків мали вертикальний напрямок. Кожен зразок промивали, знежирювали ацетоном і зважували на лабораторних вагах. Для кожного консерваційного складу було підготовлено 3 зразка, також 3 зразка були призначені для випробування без захисного складу.



Рисунок 2.2 - Сталевий зразок для випробувань на корозійну стійкість

Для проведення випробувань сталеві зразки занурювалися на 10 хвилин в підігріті до 50°C мастильні композиції, потім розміщувалися на дратовому підвісі в ексикаторі, в нижню частину якого заливалася дистильована вода. Ексикатор із зразками розміщали в сушильну шафу моделі ШС-80-01 СПУ. У шафі щодня відбувалося підвищення температури до 80°C, витримка протягом 2 годин і вимикання до наступного дня. У міру витрати в ексикатор доливалася вода.

Показником корозії в даному випробуванні було вибрано зміна маси пластин після випробування (ваговий метод).

2.4. Методика визначення кінематичної в'язкості

В'язкість моторних масел є одним з основних показників, що характеризують якість мащення, розподіл масла по робочих поверхнях і втрати енергії на тертя і знос двигуна.

Визначення в'язкості масел проводилося відповідно до ISO 3104-94. Суть методу полягає у вимірюванні каліброваним скляним віскозиметром часу закінчення, в секундах, визначеного обсягу випробуваної рідини під впливом сили тяжіння при постійній температурі.

Для вимірювання в'язкості проба масла поміщається в капілярний віскозиметр марки ВПЖ-1 з діаметром капіляра 1,52 мм, потім віскозиметр занурюється в рідинний переливний термостат, який попередньо заповнений водою. Віскозиметри типу ВПЖ-1 дозволяють визначати в'язкість рідин при температурах як вище, так і нижче нуля градусів Цельсія.

Віскозиметр ВПЖ-1 завдяки точності вимірювань і великій функціональності ідеально підходить для визначення в'язкості паливно-мастильних матеріалів, тому його широко застосовують в різних галузях промисловості.

Віскозиметр встановлюється вертикально в рідинний термостат так, щоб рівень води знаходився на кілька сантиметрів вище розширення резервуара.

Далі вимірюють час зниження рівня в трубці від позначки M_1 до позначки M_2 . Кінематична в'язкість обчислюється за формулою [17]:

$$\nu = \frac{g}{9,807} \cdot t \cdot K \quad (2.1)$$

де g – прискорення вільного падіння в місці вимірювання м/с^2 ;

K – постійна віскозиметра. Для віскозиметра ВПЖ-1 з капіляром 1,52 мм постійна віскозиметра дорівнює $0,3 \text{ мм}^2/\text{с}^2$;

ν – кінематична в'язкість рідини $\text{мм}^2/\text{с}$;

t – час витікання рідини в секундах.

Надалі значення уточнюється шляхом визначення середнього значення кінематичної в'язкості за кількома вимірами.

Висновки

Представлені види досліджень дозволяють провести повноцінне і всебічне дослідження властивостей розроблених робоче-консерваційних складів.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Вплив кліматичних факторів на протікання процесу корозії

Швидкий знос техніки пояснюється рядом факторів. Багато що залежить від конструктивних недоліків машин, їх низької надійності і довговічності. Але чимало техніки вибраковується з причин неефективного використання, незадовільного протикорозійного захисту і низькою збереженості в неробочий період. В результаті вивчення стану сільськогосподарських машин можна зробити наступні висновки: близько 80% деталей сільськогосподарської техніки, які експлуатуються протягом 1-3 років, схильні до корозійного впливу [18].

Корозійні ураження деталей і складальних одиниць сільськогосподарської техніки значно позначаються на їх технічному стані. Так зношування деталей двигуна, що мають корозійні ураження, протікає в 1,5-2 рази швидше, межа втомної міцності сталей знижується на 30-50%. За різними дослідженнями, до 30% відмов сільськогосподарських машин і устаткування відбувається в результаті корозійного руйнування. Крім зносу деталей, що мають корозійні ураження, збільшується і знос спряжених деталей [19].

За механізмом протікання корозію поділяють на хімічну і електрохімічну. Хімічна корозія металів – мимовільна взаємодія металу з корозійним середовищем, при якому окислення металу і відновлення окисного компонента корозійного середовища протікають в одному акті. Цей тип корозії спостерігається при дії на метали сухих газів (повітря, продуктів горіння палива і ін.) і рідких неелектролітів (нафти, бензину та ін.) та є гетерогенною хімічною реакцією рідкого або газоподібного середовища (або їх окислювальних компонентів) з металом. Велике число металевих

конструкцій піддається руйнуванню унаслідок газової корозії і корозії в рідкому паливі при наявності в ньому корозійно-активних складових [20].

Одним з найбільш поширених видів хімічної корозії є газова корозія – корозія металів і сплавів при взаємодії з газами при високій температурі. Цей вид корозії має місце в двигуні, у вихлопній системі, у системі охолодження та ін.

Електрохімічна корозія металів являє собою мимовільне руйнування металевих матеріалів унаслідок електрохімічної взаємодії їх з навколишнім середовищем, при якому іонізація атомів металу і відновлення окисного компонента корозійної середовища протікають не в одному акті і їх швидкості залежать від величини електродного потенціалу металу [21].

Причиною електрохімічної корозії є термодинамічна нестабільність металів і сплавів за даних умов.

Найбільш поширеним видом електрохімічної корозії в сільському господарстві є атмосферна корозія, тому що велика частина сільськогосподарської техніки зберігається на відкритих майданчиках або під навісами [19]. Також необхідно підкреслити, при атмосферної корозії, яка відбувається в тонких шарах електролітів на поверхні металу, проявляються специфічні умови, які не можна не розглядати при розробці механізмів захисту металу від корозії.

При електрохімічній корозії спостерігається два основних процеси, що визначають швидкість корозії:

- 1) Анодний процес, що полягає в переході іонів металу в розчин електроліту з утворенням гідратованих іонів.

- 2) Перехід цих іонів з розчину з виділенням їх у вигляді нейтральних атомів.

Всі ключові фактори, що визначають швидкість атмосферної корозії, можна розділити на зовнішні і внутрішні [19].

Внутрішні чинники пов'язані з дефектами структури металу, з технологічною спадковістю деталі, з якістю обробки поверхні, залишковими напруженнями, конструкційними недоліками і т.д.

Зовнішні чинники – це чинники, що визначають умови протікання корозійних процесів. Сюди можна віднести вологість повітря, склад атмосфери, тривалість перебування плівки вологи на поверхні металу, температурний режим.

Швидкість корозії в значній мірі визначається складом атмосфери і кліматичними умовами.

Агресивність атмосфери, що залежить від багатьох факторів, дуже сильно змінюється в залежності від місця розташування. Результати досліджень [22], проведених в різних точках земної кулі на сталевих зразках, показують, що швидкість корозії в різних частинах земної кулі варіюється в значних межах. Так найбільша швидкість корозії зареєстрована в районах сильно забруднених сірчистим газом. Найменша швидкість корозії реєструвалася в сухій чистій атмосфері. У багатьох випадках агресивність атмосфери виявлялася достатньо сильно. У зазначених дослідженнях наведені корозійні випробування в різних частинах земної кулі. Також автори дали оцінку в балах корозійній агресивності різних атмосфер.

Згідно з дослідженнями [23], терміни служби дротів зв'язку в сільській місцевості та в районах промислових підприємств (металургійних та хімічних заводів, електростанцій і т.д.) різко відрізняються. У сільській місцевості дроти даного типу не втрачають своєї експлуатаційної придатності приблизно 50-60 років. У промислових районах термін служби аналогічних дротів обмежується терміном до 4-5 років, тобто в промислових районах корозія протікає в 15 разів швидше.

Іншим прикладом значного впливу кліматичних умов є дослідження [24], в якому наведені результати спостережень за швидкістю корозії гальванічних покриттів в різних районах нашої країни. Можна звернути увагу на те, що навіть в межах атмосфери одного типу швидкість корозії

може значно змінюватися. Так, наприклад, в районах з тропічним кліматом швидкість корозії сталей варіюються від 25 до 655 мкм/рік.

Крім характеру і складу атмосфери значний вплив мають і інші кліматичні умови. Встановлено, що корозійна агресивність атмосфери не є величиною постійною, а змінюється зі зміною погоди. Є помітна різниця в корозійній поведінці металів, встановлених в різні періоди в межах навіть одного року. Важливим показником є напрямок вітру, так як він призводить до зміни складу атмосфери; вітри, що дмуть з боку океанів, морів і промислових районів, сприяють насиченню повітря корозійноактивними газами, різними солями і вологою. Також до прискорення процесу корозії призводить наявність туманів [8].

Атмосферне повітря являє собою суміш сухого повітря і водяної пари. У промислових і приморських районах в повітрі містяться також активні гази, такі як сірчистий ангідрид SO_2 , хлор Cl_2 , H_2S , частки різних солей, таких як NaCl та інших.

Кількість водяної пари в повітрі може бути обчислено за допомогою парціального тиску (пружності) водяної пари (p_D), яка, як і тиск повітря, вимірюється в Па, а також в міліметрах ртутного стовпа (мм.рт.ст) [20].

У одиниці об'єму повітря може міститися різна кількість водяної пари. Однак кожному значенню температури повітря відповідає цілком певний максимальний вміст водяної пари в одиниці об'єму. Чим вище температура повітря, тим вище значення цього максимуму. Якщо в повітрі міститься максимально можлива кількість водяної пари, то таке повітря називається насиченим.

Вміст водяної пари в повітрі при заданій температурі і заданому тиску обмежений, таким чином, цілком певними межами; воно не може перевищити значення, при якому парціальний тиск парів води в суміші буде вище тиску насиченої водяної пари при даній температурі.

Пружність пари, що насичує простір над плоскою поверхнею води (p), є функцією температури і з підвищенням останньої швидко зростає [24].

Теоретично ця залежність виражається рівнянням Клайперона:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{l}{(V - V_0)T}, \quad (2.2)$$

де p – тиск пари;

l – прихована теплота пароутворення;

T – абсолютна температура пари;

V – об'єм пари;

V_0 – об'єм рідини.

Зробивши припущення, що $(V - V_0) = V$ (обсяг пари набагато більше обсягу рідини) і враховуючи, що для невеликих інтервалів температур витримується рівність:

$$V = \frac{RT}{P} \quad (2.3)$$

Проінтегрувавши вихідне рівняння, отримуємо:

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{l}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (2.4)$$

Залежність тиску насичених парів від температури повітря показана на рисунку 3.1.

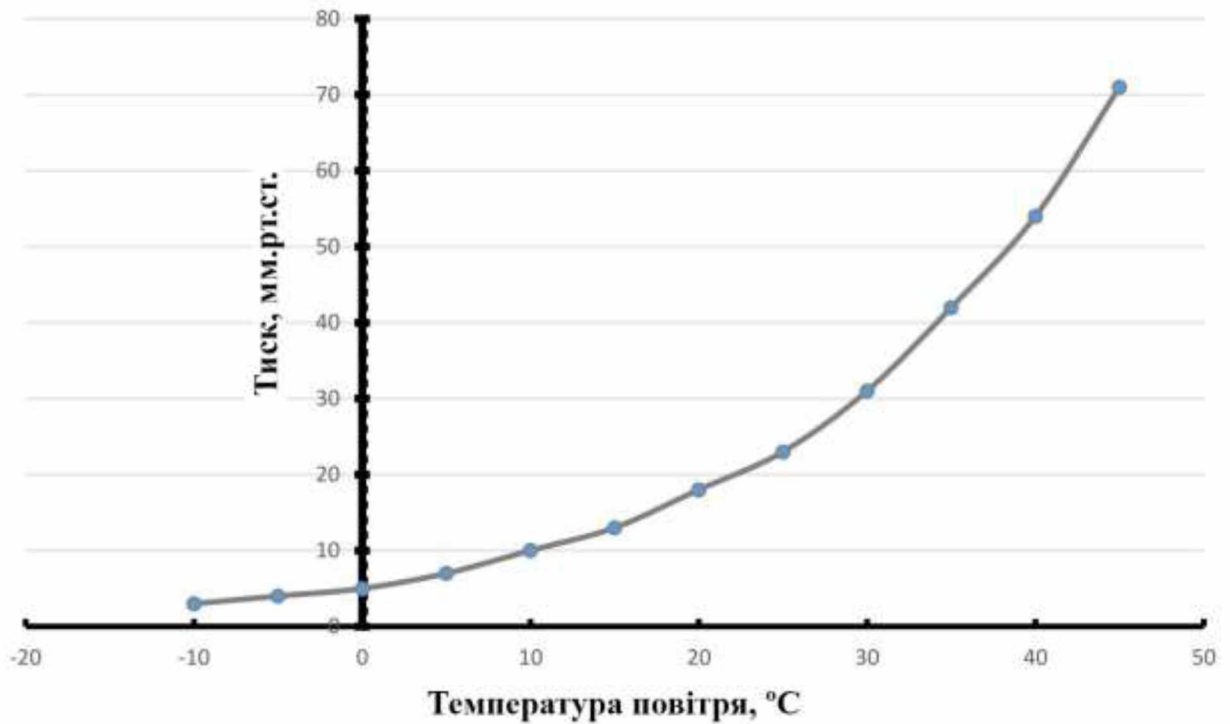


Рисунок 3.1 - Залежність тиску насичених парів води від температури

Таким чином, знаючи тиск парів при одній температурі можна легко обчислити тиск пари при іншій.

Залежно від вологості атмосфери розрізняють наступні види атмосферної корозії: мокру, вологу і суху [19,23].

Мокра атмосферна корозія спостерігається при крапельній конденсації вологи на поверхні металу при відносній вологості повітря, що дорівнює 100%. До цього виду корозії відносять руйнування металевих конструкцій під впливом дощу, снігу, туману та ін. При мокрій атмосферній корозії товщина плівок води, що утворюється може досягати 1 мм [24].

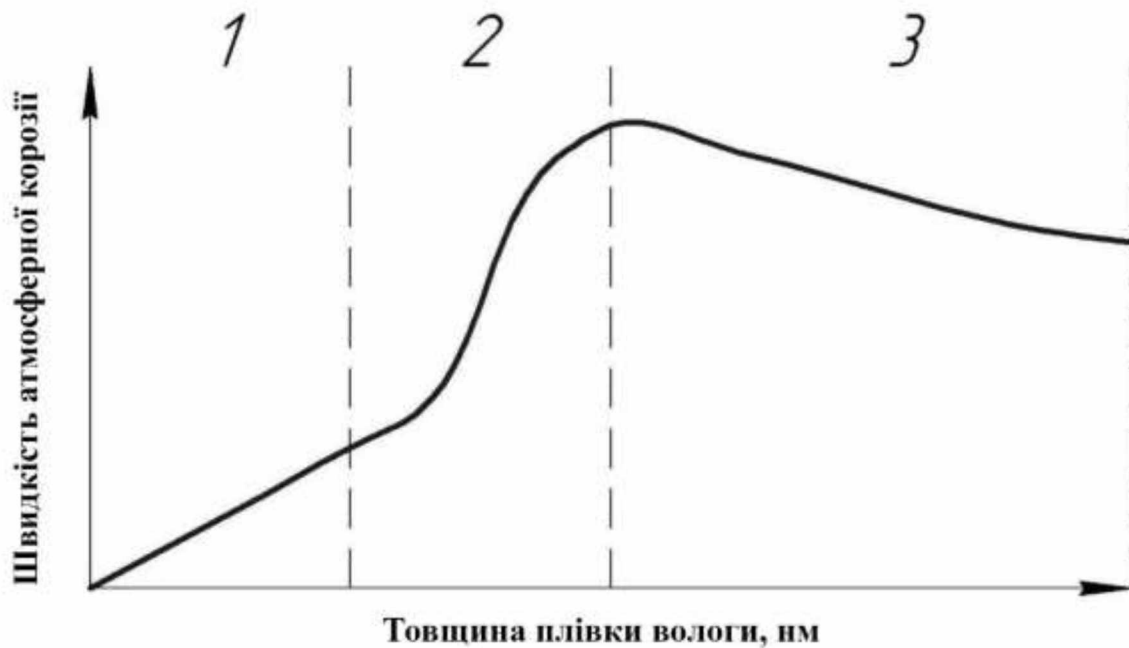
Волога атмосферна корозія виникає при вологості в атмосфері від 60-70% до 100%, супроводжується адсорбційною, капілярною і хімічною конденсацією води на поверхні металу. Адсорбційна конденсація – це процес утворення найтоншого шару молекул води, пов'язаних з поверхнею металу адсорбційними силами. Залежно від стану металевої поверхні на ній при вологості трохи нижче 100% може адсорбуватися шар вологи товщиною в

кілька десятків молекулярних шарів. Відносна вологість, при якій починається конденсація вологи на поверхні металу, називається критичною вологістю. Критична вологість повітря залежить від стану поверхні металу і ступеня забрудненості повітря. Товщина плівок вологи тут може варіюватися від 10 до 100 нм [25].

Суша атмосферна корозія проходить при відносній вологості нижче критичної, тобто під дією кисню повітря. При цьому процесі спостерігається лише тьмяніння поверхні металу внаслідок утворення плівки з продуктів корозії. Процес руйнування в разі сухої атмосферної корозії подібний хімічному процесу зростання оксидних плівок на поверхні металу: плівка на металі в умовах сухої атмосферної корозії зростає дуже повільно, зростання її швидко припиняється, тому що утворені оксидні плівки володіють захисними властивостями і гальмують розвиток корозійних руйнувань. Плівка вологи при сухій корозії є невидимою оку і має товщину всього в декілька нанометрів. Однак суха атмосферна корозія при попаданні вологи на поверхню металу може швидко переходити у вологу, а потім і в мокру корозію, тобто можливі переходи одного виду корозії в інший [25].

Найбільша швидкість корозії спостерігається при вологості близько 100%, так як в цьому випадку відбувається періодична конденсація вологи і утворені плівки не перешкоджають доступу кисню до поверхні металу. При вологості 100% або при повному зануренні металу у воду кисень повітря не проникає через товщу води і взаємодія відбувається тільки з розчиненим у воді киснем.

Якісна залежність швидкості атмосферної корозії від товщини шару вологи на поверхні металу приведена на рисунку 3.2.



1 - суха корозія (товщина шару 1-10 нм); 2 - волога корозія (товщина шару 10-100 нм); 3 - мокра (товщина шару 100 нм - 1 мм); 4 - повне занурення металу в воду

Рисунок 3.2 - Залежність швидкості атмосферної корозії від товщини шару води на поверхні металу.

3.2. Обґрунтування застосування маслорозчинних інгібіторів корозії

Використання інгібіторів для захисту металів від корозії можливо і доцільно практично у всіх галузях промисловості і особливо в сільському господарстві. Найбільш позитивні результати досягаються в тому випадку, якщо інгібітори задовольняють сукупності конкретних вимог, визначених специфікою даної галузі незважаючи на різноманітність цих вимог, можна все ж виділити деякі властивості, якими повинен володіти будь-який інгібітор незалежно від його призначення [4]:

1. Забезпечення необхідного ступеня захисту металу від корозії або необхідного значення коефіцієнта гальмування корозії при такій

концентрації інгібітора, при якій його застосування буде економічно виправданим і доцільним. Залежно від області застосування і вартості інгібітора оптимальні концентрації і захисні ефекти можуть змінюватися в широких межах.

2. Відсутність шкідливого впливу на хід технологічного процесу, на кількість і на основні робочі властивості захищеного металу. У конкретних випадках це шкідливий вплив може проявлятися різними способами – уповільнення розчинення окалини; збільшення наводнення металу; покриття його поверхні плівками, що заважають обробці металовиробів, наприклад при травленні металів; «отруєнні» каталізаторів; забруднення продукту смолами і азотовмісними речовинами; посилення локальної корозії і т. д.

3. Технологічність застосування, тобто простота і легкість дозування, введення інгібітора і контролю за його вмістом. Використання рідких і сипучих інгібіторів дозволяє застосовувати автоматичні дозувальні пристрої. Температура застигання повинна бути по можливості низькою, а в'язкість чистого інгібітору або його розчину – не надто відрізнятися від в'язкості середовища, в якій застосовується речовина. Для досягнення оптимальної концентрації інгібітор повинен швидко і добре розчинятися в корозійному середовищі і зберігатися в активній фазі протягом тривалого проміжку часу. Він не повинен коагулювати, утворювати смолисті сполуки, розкладатися в умовах експлуатації металевої споруди.

4. Відповідність санітарно-гігієнічним нормам і правилам охорони праці і техніки безпеки. Не можна використовувати інгібітори, які не пройшли токсикологічні випробування; які не мають характеристик по гранично допустимій концентрації (ГДК) і біологічній стійкості; інгібітори, застосування яких може привести до засмічення навколишнього середовища. Небажано застосування інгібіторів, що погано пахнуть і володіють властивостями алергенів. Інгібітори повинні бути пожежо- і вибухобезпечними, тобто не повинні підвищувати небезпеку виникнення пожеж і вибухів.

5. Стабільність промислового виробництва інгібіторів, тобто забезпеченість сировиною, сталість властивостей інгібіторів незалежно від часу випуску та партії, доступність його споживачеві в будь-яких необхідних кількостях і розфасовках.

6. Явно виражений ефект наслідків, тобто збереження захисної дії інгібітора протягом деякого часу після його застосування, наприклад, при вилученні металу з інгібованого середовища і перенесення його в корозійне середовище, що не містить інгібітор. Ця вимога пред'являється не до всіх інгібіторів, а до переважної їх більшості

В реальних умовах деталі, як правило, знаходяться в контакті не з маслом, а з вуглеводневу-водною сумішшю. У двигуні внутрішнього згоряння, наприклад, ця суміш буде складатися з масла, палива і продуктів його згоряння і сконденсованої вологи, що містить різні домішки (пил та інші забруднюючі частки з атмосфери, різні гази і ін.). Також це можуть бути змащувально-охолоджувальні рідини, різні емульсії, водні гідравлічні рідини. У такі системи можна вводити такі інгібітори: водорозчинні, маслорозчинні і водомаслорозчинні. Додавання водорозчинних інгібіторів корозії призводить до гідрофобізації поверхні, таким чином вода починає витісняти масло з поверхні металу (рисунок 3.3).

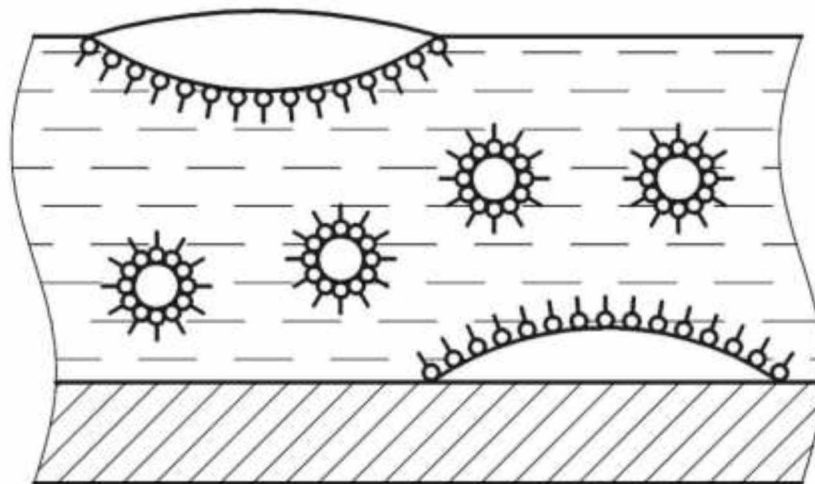


Рисунок 3.3 – Механізм дії водорозчинних ПАР в системі вуглеводень-вода.

При введенні інгібіторів, розчинних і в воді, і в маслі, відбувається емульгування води в маслі або солубілізація води міцелами поверхнево-активних речовин. Подібним чином утворюються емульсії води в олії, а поверхня металу захищена адсорбованим шаром ПАР, хоча при надлишку води цілісність цього шару порушується.

При введенні маслорозчинних інгібіторів корозії, крапля води, як правило, не проникає до поверхні металу і витісняється з масляного шару за рахунок зменшення крайового кута. В результаті поверхня металу надійно екранована адсорбованим шаром ПАР (рисунок 3.4) [18].

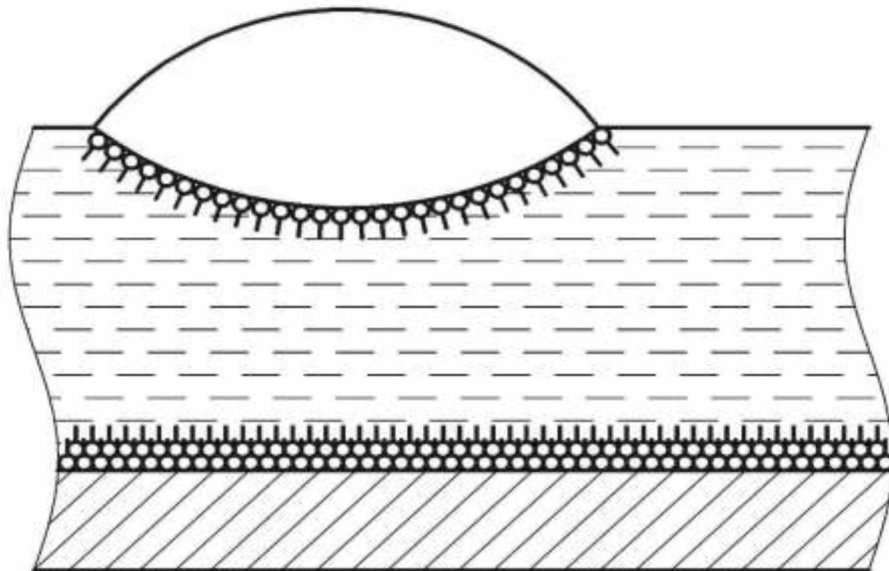


Рисунок 3.4 – Механізм дії маслорозчинних ПАР в системі вуглеводень-вода

Застосування разом маслорозчинних і водорозчинних інгібіторів також не призводить до позитивних результатів. Водорозчинні ПАР перетворюються в абразивні механічні домішки, що погіршують властивості мастил і палив, а також значно збільшують знос [13].

3.3. Результати дослідження за визначенням зносу і трибологічних характеристик

Трибологічні випробування проводилися на машині тертя МИ-1М по схемі «ролик-колодка». Параметри випробування: час випробування $t = 30$ хвилин, сила притискання зразків $P = 2000$ Н, частота обертання валу 200 об/хв, що відповідає швидкості 0,52 м/с.

Результати зносу колодки представлені на рисунку 3.5.

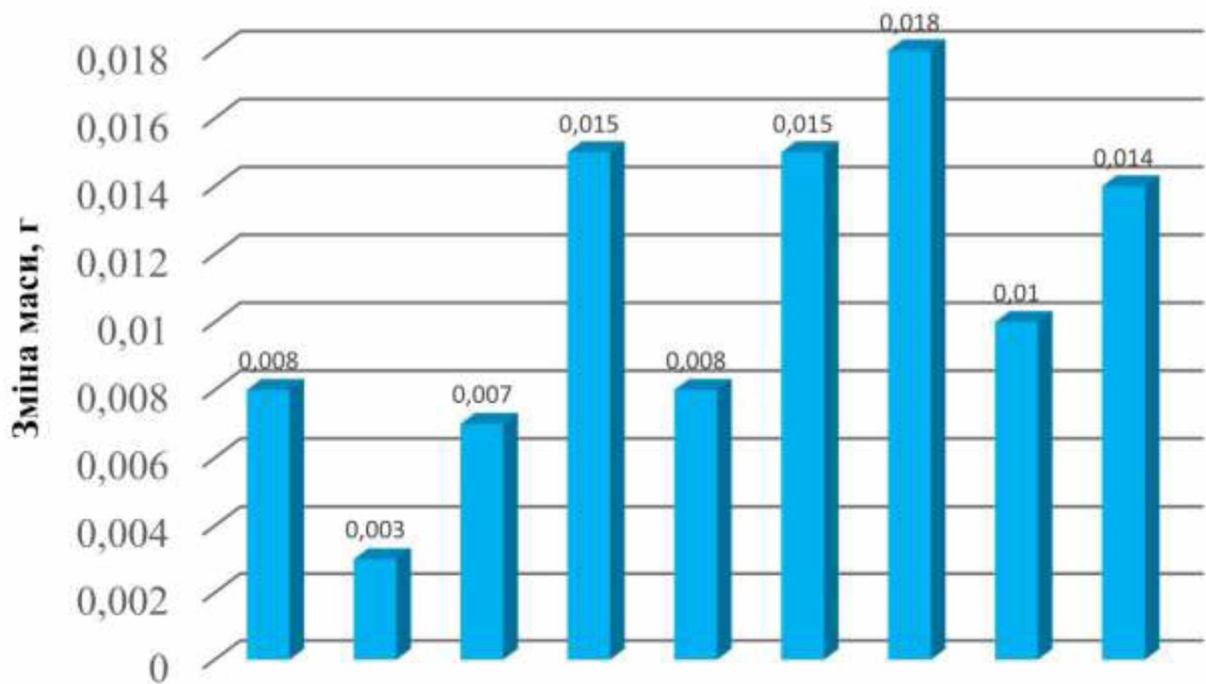


Рисунок 3.5 – Знос колодки при використанні різних робоче-консерваційних матеріалів

При випробуваннях також визначався момент тертя. З огляду на складний характер зміни моменту тертя з плином часу за результат у випробуваннях приймався тільки усталений момент тертя, мало що змінюється з часом.

Значення усталеного моменту тертя представлені на рисунку 3.6.

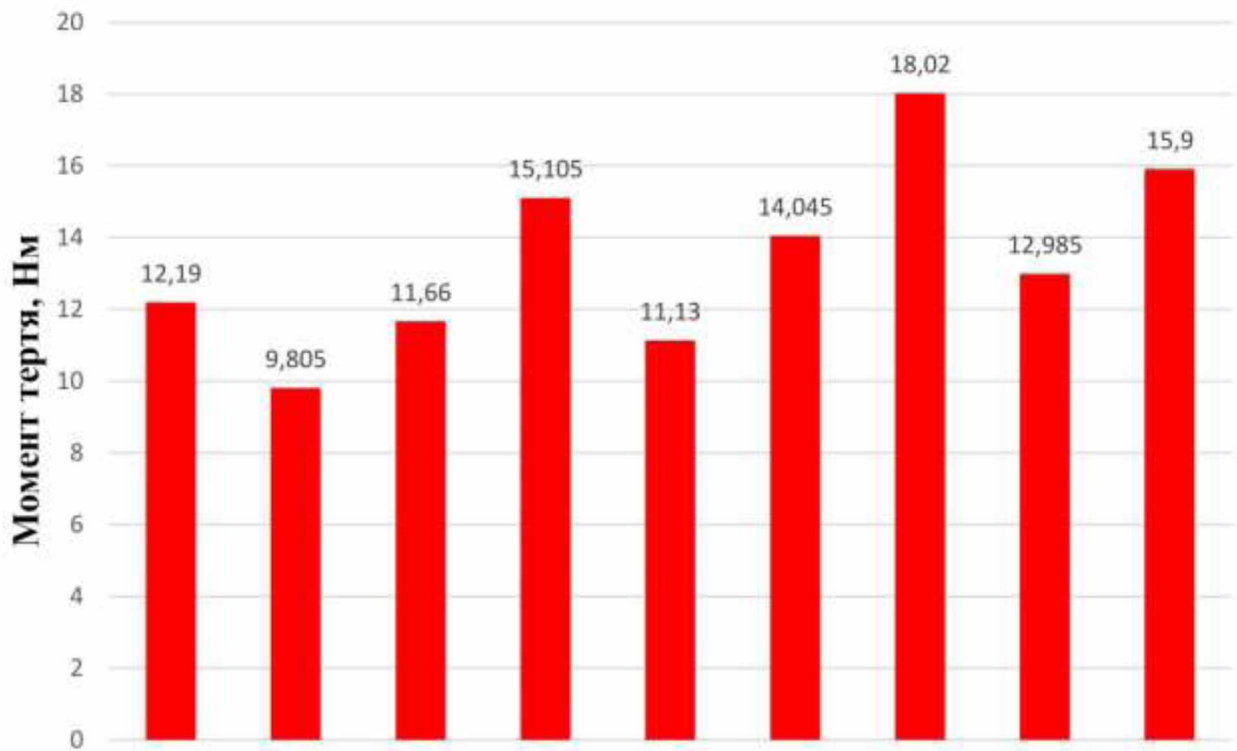


Рисунок 3.6. – Момент сили при терті

Знаючи момент тертя, була розрахована сила тертя і коефіцієнт тертя. Значення сили тертя представлені на рисунку 3.7. Значення коефіцієнта тертя представлені на рисунку 3.8.

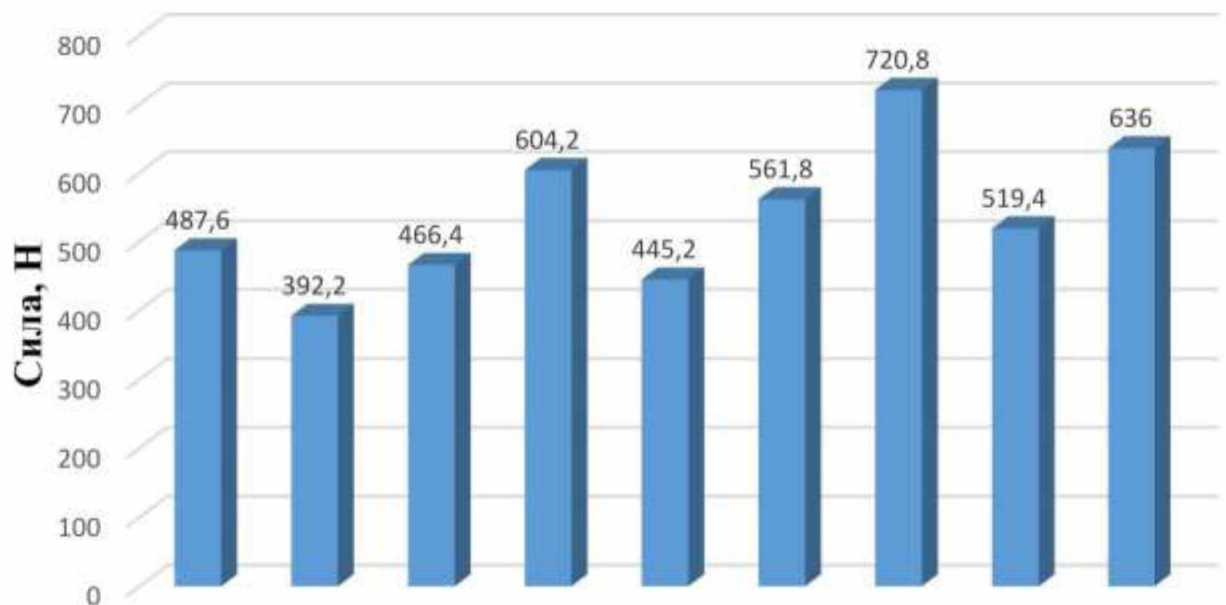


Рисунок 3.7 – Значення сили тертя при проведенні випробувань

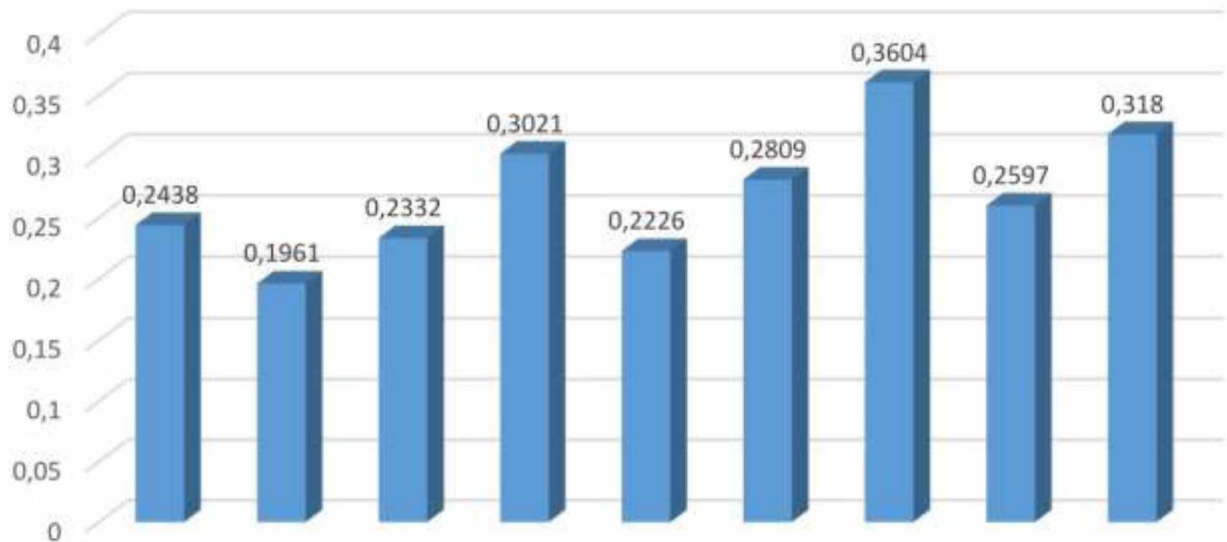


Рисунок 3.8 – Значення коефіцієнта тертя ковзання

З наведених даних видно, що найкращими трибологічними характеристиками володіє робоче-консерваційний склад №2, що складається з масла Mannol TS-5 та інгібітора ІК-1 в розмірі 10% від обсягу.

3.4. Результати дослідження по визначенню корозійної стійкості і кінематичної в'язкості

Для дослідження кожного робоче-консерваційного складу було взято 3 сталевих пластини, на які наносилися композиції. Дані, отримані в результаті випробувань наведені на рисунку 3.9.

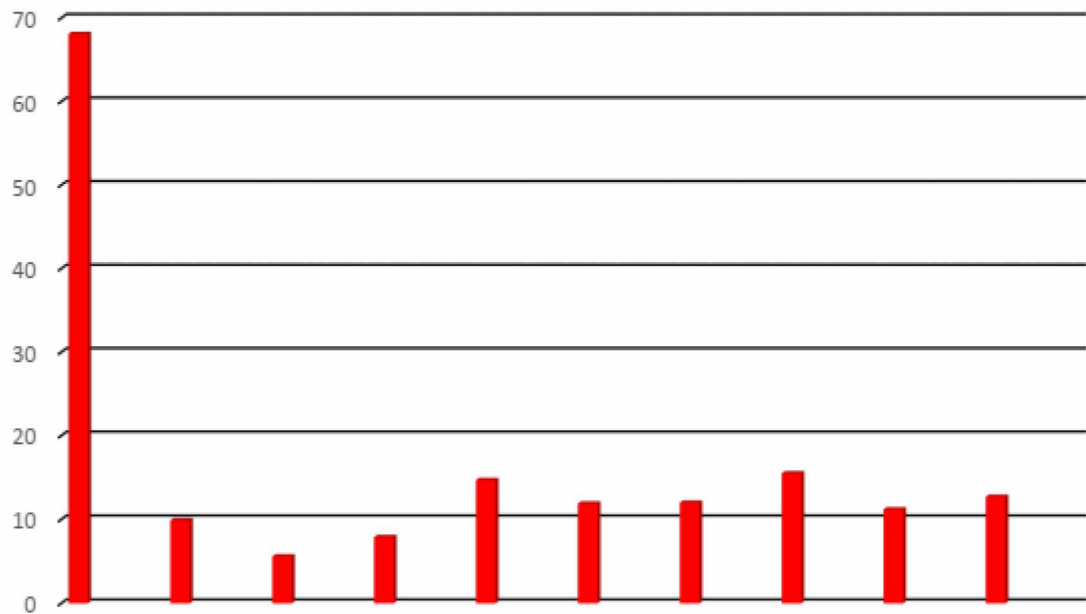


Рисунок 3.9 – Результати випробувань на корозійну стійкість сталевих зразків в камері вологості

Виявлено, що найкращими антикорозійними властивостями в даних випробуваннях володіє робоче-консервації склад №2, що складається з масла Mannol TS-5 з добавкою 10% інгібітора корозії ІК-1.

Значення в'язкості визначалося в трьох точках, при температурі 25, 50 і 70°C, за значеннями яких були побудовані графіки залежності кінематичної в'язкості від температури, так звані криві течії. Криві представлені на рисунках 3.10-3.12.

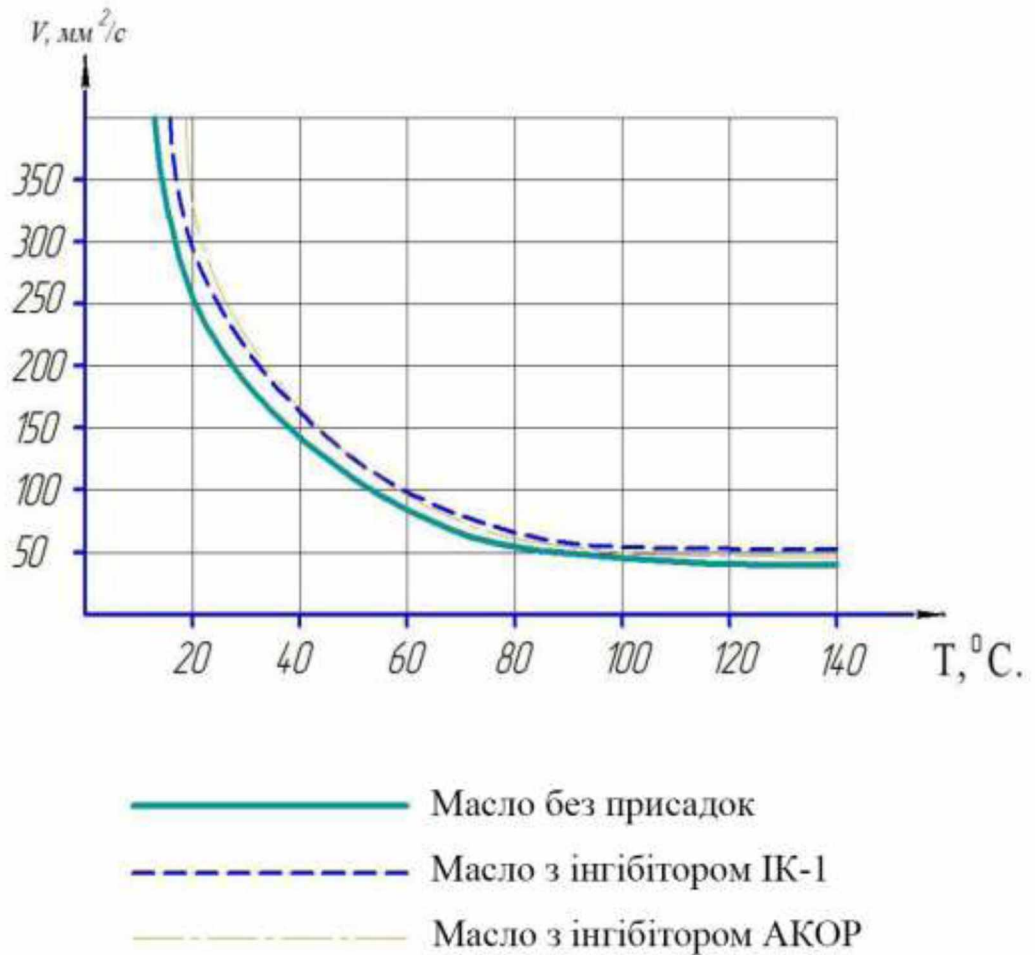


Рисунок 3.10 – Криві течії для робоче-консерваційних складів на основі чистого масла Mannol TS-5

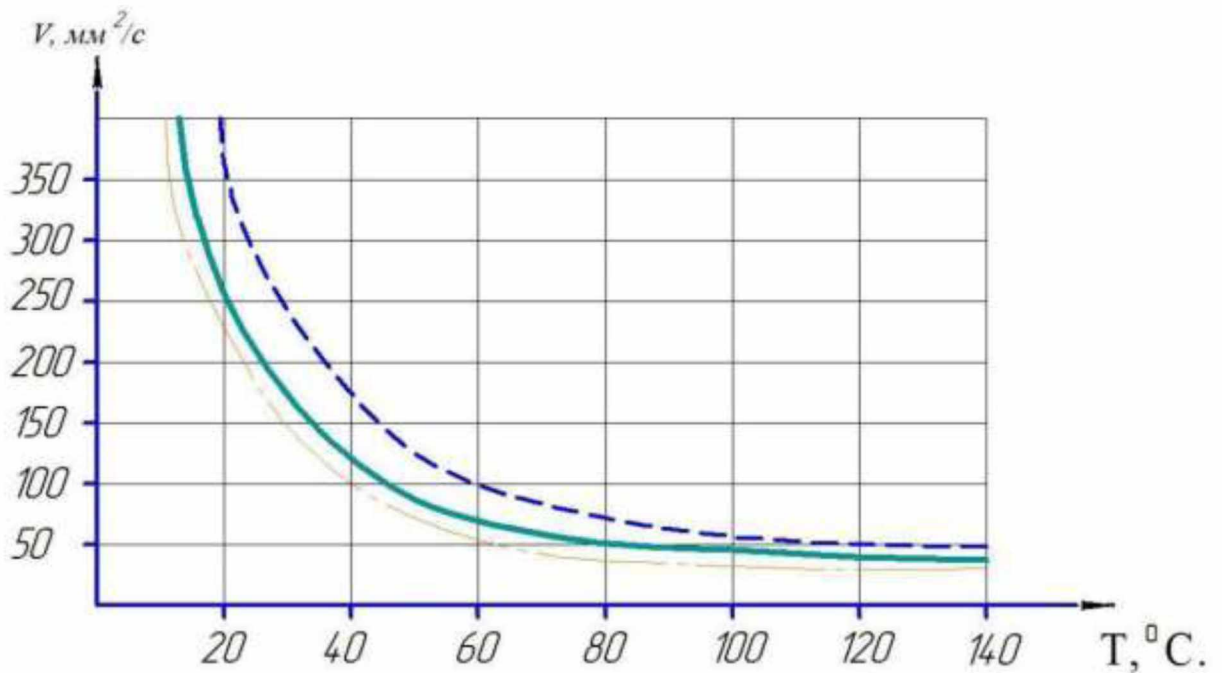


Рисунок 3.11 – Криві течії для робоче-консерваційних складів на основі масла Mannol TS-5, відпрацьовано 90 мотогодин

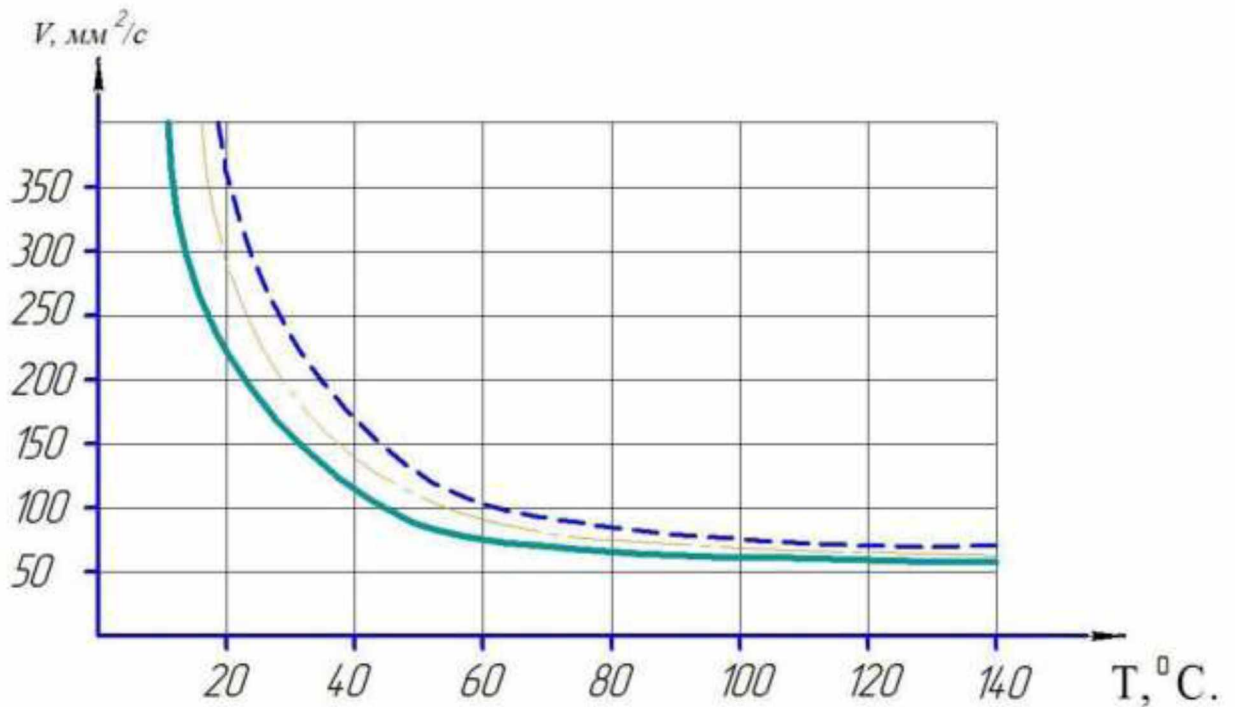


Рисунок 3.12 – Криві течії для робоче-консерваційних складів на основі масла Mannol TS-5, відпрацьовано 250 мотогодин

За отриманими даними можна зробити висновок, що з напрацюванням мотогодин в'язкість масла падає. Очевидно, це пов'язано з тим, що присадка, що відповідає за цю функцію, витрачається. Добавка інгібітора корозії ІК-1 в склади з напрацюванням 90 і 250 мотогодин, в'язкість стає приблизно рівною в'язкості базового масла, що є важливою експлуатаційною властивістю робоче-консерваційного матеріалу.

Висновки

1. Робоче-консерваційні склади на основі розробленого інгібітора показали по всім видам випробувань вищі фізико-хімічні та експлуатаційні властивості

2. При дослідженні трибологічних властивостей композиція на основі чистого масла та інгібітору ІК-1 показала зменшення зносу поверхонь, що стираються від 2,3 до 6 разів і зниження моменту тертя від 18 до 83%.

3. При дослідженні корозії в камері вологості втрата маси сталевих зразків в результаті корозії зменшилася до 41%.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза

Екологічна експертиза в Україні – вид науково-практичної діяльності спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, реалізація і дія яких може негативно впливати або впливає на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, і спрямована на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціональне використання й відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки.

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єктах.

Об'єкти, суб'єкти, види екологічної експертизи висвітленні у законі України «Про екологічну експертизу» (9.02.1995р.).

Екологічна експертиза може бути державна, громадська та інша.

Державна екологічна експертиза проводиться експертними підрозділами чи спеціально створюваними комісіями спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів та його органів на місцях на основі принципів законності, наукової обґрунтованості, комплексності, незалежності, гласності та довгострокового прогнозування.

Для участі в проведенні державної екологічної експертизи можуть залучатися відповідні органи державного управління України, представники науково-дослідних, проектно-конструкторських, інших установ та організацій, вищих навчальних закладів, громадськості, експерти міжнародних організацій.

Висновок державної екологічної експертизи після затвердження спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів є обов'язковим для виконання.

Позитивний висновок державної екологічної експертизи є підставою для відкриття фінансування всіх програм і проектів.

Реалізація програм, проектів і рішень без позитивного висновку державної екологічної експертизи забороняється.

Громадська екологічна експертиза здійснюється незалежними групами спеціалістів з ініціативи громадських об'єднань, а також місцевих органів влади за рахунок їх власних коштів або на громадських засадах.

Громадська екологічна експертиза проводиться незалежно від державної екологічної експертизи.

Висновки громадської екологічної експертизи можуть враховуватися органами, які здійснюють державну екологічну експертизу, а також органами, що заінтересовані у реалізації проектних рішень або експлуатують відповідний об'єкт.

Інші екологічні експертизи можуть здійснюватися за ініціативою заінтересованих юридичних і фізичних осіб на договірній основі із спеціалізованими еколого-експертними органами і формуваннями.

Завданням екологічної експертизи є:

а) визначення екологічної безпеки господарювання та іншої діяльності, яка може нині або в майбутньому прямо або посередньо негативно вплинути на стан навколишнього середовища;

б) встановлення відповідності передпроектних, передпланових, проектних та інших рішень вимогам законодавства про охорону навколишнього середовища;

в) оцінка повноти й обґрунтованості передбачуваних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища та здоров'я населення, яка здійснюється Міністерством охорони навколишнього природного середовища разом із Міністерством охорони здоров'я України.

4.2. Охорона праці

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. 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.

Основними технічними засобами охорони праці є захисні пристрої.

Для запобігання захоплення, удару робочими механізмами всі види передач різних верстатів і установок, які використовуються при відновленні гільз і нанесенні покриттів повинні мати огорожувальні пристрої - кожухи, щити, екрани, козирки, планки, бар'єри (суцільні та сітчасті).

Крім того застосовують: блокувальні пристрої (механічні, електронні, електричні, пневматичні, гідравлічні), пристрої, до яких відносяться системи захисту від ураження електричним струмом, пристрої сигналізації.

Для безпеки експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок необхідно забезпечити захисне заземлення.

При виявленні нагріву тертьових деталей, появи гару або диму верстат потрібно негайно зупинити і приступити до гасіння пожежі наявними засобами, викликати пожежну команду. Двигун, що загорівся, або

електропроводку необхідно гасити сухим піском або вогнегасником (вуглекислотним або порошковим). При значному поширенні пожежі, коли його не можна ліквідувати наявними на ділянці засобами, робітники будуть евакуюватися через задалегідь передбачену необхідну кількість дверей.

ПАВ (поверхнево-активні речовини), порошкоподібні мінеральні і органічні солі антифрикційних металів, водорозчинні ЗОР (змащуючо-охолоджуючі рідини), гліцерин, органічні кислоти та ін.).

Робота з такими речовинами (поверхнево-активні речовини, порошкоподібні мінеральні і органічні солі антифрикційних металів, водорозчинні змащуючо-охолоджуючі рідини, гліцерин, органічні кислоти та ін.) створює небезпеку отруєнь, опіків та професійних захворювань. Вдихання шкідливих речовин призводить до ураження верхніх дихальних шляхів і загальнотоксичного впливу. Попадання кислот і лугів на шкіру може викликати подразнення або опік. Тому необхідно працювати в спеціальній захисній формі.

Поряд з хімічними небезпечними і шкідливими факторами технологічний процес характеризується і фізичними факторами: шумом, вібрацією, запиленістю та ін.

Щоб захистити працюючих від запиленості, шуму і вібрації потрібно встановити в приміщенні вентиляцію, кондиціонери, звукоізолюючі кожухи, екрани, стіни, перетинки, які виготовляють із щільного матеріалу.

Також для працівників повинні проводитись всі потрібні інструктажі і навчання з охорони праці, повинен бути журнал з проведення інструктажів, з відповідними замітками.

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину, дії будь-якого небезпечного фактора визначається як травма.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень небезпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;

- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;

- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону в наслідок відсутності відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці, та інші.

У розділі охорони праці 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 розробки

Розрахунок економічної ефективності консервації за пропонованою технологією з використанням розробленого інгібітора корозії при тривалому зберіганні техніки розглянемо на прикладі двигуна ЯМЗ-238М2 для консервації одного двигуна в складі техніки.

Економічна ефективність від впровадження розробленої технології досягається за рахунок наступних переваг:

1. Непотрібна заміна відпрацьованого масла в двигуні, приготування робоче -консерваційного складу здійснюється на основі даного масла.

2. Використання більш дешевих компонентів, приготування яких можливо безпосередньо в умовах виробничої майстерні МТП.

У таблиці 4.1. в загальному вигляді показані складові витрат на консервацію системи мащення двигуна при використанні інгібітора корозії ІК-1 і АКОР-1

Таблиця 4.1 - Складові витрати на консервацію системи мащення двигуна

| Складова витрат | Консервація за допомогою інгібітора АКОР-1 | Консервація за допомогою інгібітора ІК-1 |
|--|--|--|
| Витрати на інгібітор корозії | + | + |
| Заміна відпрацьованого масла | - | + |
| Промивання двигуна спеціальним промивальним маслом | + | + |
| Заміна масляного фільтра | - | + |
| Консервація різьбових поверхонь заливних горловин | + | + |
| Амортизація обладнання | + | + |
| Витрати на електроенергію | + | + |
| Заробітні плата з відрахуваннями | + | + |

Економічний ефект по суті являє собою різницю між витратами при використанні традиційної технології і витратами при впровадженні нової технології.

При внутрішній консервації одного двигуна розрахуємо для двох випадків:

1. При заміні інгібітору корозії АКОР-1 на ІК-1 при використанні традиційної технології;
2. При використанні розробленої технології замість традиційної.

У першому випадку економічний ефект, позначимо його E_1 , досягається за рахунок використання більш дешевих компонентів при консервації двигуна. Розрахунок зроблений на прикладі консервації двигуна ЯМЗ-238М2, тобто із заміною моторного масла. Місткість масляної системи даного двигуна становить від 24 до 32 літрів. Для розрахунку прийємо обсяг масляної системи рівним 30 літрам. Вартість одного літра штатного масла прийємо за 300 грн. Розрахунок необхідної кількості інгібітора проводився виходячи з кількості в 10% від обсягу.

Результати представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Розрахунок економічного ефекту від заміни інгібітора корозії

| Витрати при застосуванні традиційної технології із застосуванням інгібітора корозії АКОР-1 | Витрати при застосуванні нової технології із застосуванням інгібітора корозії ІК-1 |
|--|--|
| Роботи по заміні масла (з урахуванням заміни фільтра) * – 850 грн. | |
| Вартість масла (30 літрів) – 9000 грн. | – |
| АКОР-1 1 кг = 360 грн. | ІК-1 1 кг = 120 грн. |
| При витраті 10% від об'єму необхідно 3 кг АКОР-1 | При витраті 10% від об'єму необхідно 3 кг ІК-1 |

| | |
|--|--|
| $3 \text{ кг} * 360 \text{ грн.} = 1080 \text{ грн.}$ | $3 \text{ кг} * 120 \text{ грн.} = 360 \text{ грн.}$ |
| Ефект E_2 від застосування на 1 двигуні $9000 + 1080 - 360 = 9720 \text{ грн.}$ | |

* Вартість даної операції прийнята рівною в обох випадках, хоча в разі консервації за розробленою технологією фактично немає заміни масла, воно зливається для приготування робоче-консерваційного складу і непотрібна заміна фільтра грубої очистки.

Таким чином, собівартість розробленого інгібітора корозії менше приблизно на 180 грн., ніж роздрібна вартість 1 кг напівсинтетичного масла і в 4 рази дешевше деяких інших інгібіторів корозії, що є у продажу.

Висновки

Проведена екологічна експертиза свідчить, що запропонована технологія консервації двигунів внутрішнього згоряння сільськогосподарської техніки є безпечною для навколишнього середовища.

Виконано аналіз умов виникнення і розвитку травм і аварій, для їх усунення запропоновані наступні заходи: встановлення захисних щитків, використання спецодягу для приготування технологічних розчинів, проведення регулярних інструктажів з техніки безпеки.

Собівартість розробленого інгібітора корозії менше приблизно на 180 грн., ніж роздрібна вартість 1 кг напівсинтетичного масла і в 4 рази дешевше деяких інших інгібіторів корозії, що є у продажу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Робоче-консерваційні склади на основі розробленого інгібітора показали по всім видам випробувань вищі фізико-хімічні та експлуатаційні властивості.
2. При дослідженні трибологічних властивостей композиція на основі чистого масла та інгібітора ІК-1 показала зменшення зносу поверхонь, що стираються від 2,3 до 6 разів і зниження моменту тертя від 18 до 83%;
3. При дослідженні корозії в камері вологості втрата маси сталевих зразків в результаті корозії зменшилася до 41%.
4. Консервація робоче-консерваційним складом №8, що складається з відпрацьованого масла та інгібітора ІК-1 дозволяє зменшити корозійні втрати до 400%. Також даний склад витримав найбільшу кількість циклів випробування – 8 циклів, що більше на 1 цикл ніж у аналогічного складу без інгібітору та з інгібітором корозії АКОР.
5. Собівартість розробленого інгібітора корозії менше приблизно на 180 грн., ніж роздрібна вартість 1 кг напівсинтетичного масла і в 4 рази дешевше деяких інших інгібіторів корозії, що є у продажу.