

**К. В. Борак, д. т. н., доц.; В. Л. Куликівський; Д. І. Руднік**

## **ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОЇ КОРОЗІЇ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН**

*В результаті аналізу стану проблеми впливу попередньої корозії на інтенсивність абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин встановлено фактори, які впливають на інтенсивність абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин та встановлено, що на сьогодні дослідження впливу попередньої корозії на інтенсивність абразивного зношування проводилися тільки в лабораторних умовах, саме тому необхідно провести експлуатаційні дослідження у виробничих умовах.*

*В статті встановлено, що під час міжсезонного зберігання ґрунтообробної техніки вона піддається впливу атмосферної корозії. Найінтенсивніше процеси корозії протікають в зоні фрикційного контакту де наявні сліди абразивного зношування. Це явище можна пояснити особливістю абразивного зношування, оскільки в результаті такого виду зношування на поверхні тертя утворюються вторинні структури, мікродфекти та дефекти кристалічної ґратки.*

*Атмосферна корозія поверхонь тертя робочих органів ґрунтообробних машин призводить до зміни триботехнічних характеристик, а саме: зменшення мікротвердості на 3,54...9,6 %, та зростання інтенсивності зношування на 9,4 %. Для визначення ефективності застосування вітчизняних і зарубіжних консерваційних матеріалів для захисту від атмосферної корозії поверхонь тертя, під час міжсезонного зберігання, були проведенні відповідні дослідження. В результаті досліджень встановлено, що для консервації робочих органів ґрунтообробної техніки слід використовувати вітчизняні консерваційні матеріали типу БЕСТ КМ-1 та ПВК, оскільки іноземні аналоги показують ідентичні результати, а коштують в 2...2,5 рази дорожче. Рекомендовані раціональні способи і методи зберігання та консервації робочих органів ґрунтообробних машин для мінімізації дії атмосферної корозії на поверхні тертя робочих органів ґрунтообробних машин.*

**Ключові слова:** корозія, абразивне зношування, зберігання, сталь, ґрунтообробна машина, мікротвердість, робочий орган.

### **Вступ**

Атмосферна корозія надзвичайно негативно впливає на різні сфери економіки (гірничовидобувну галузь, сільське господарство, енергетику, транспорт та ін.) [1]. За даними наведеними в роботі [2] збитки від неї в США складають понад сто мільйонів доларів в рік. В сільському господарстві більшість машин піддаються атмосферній корозії. Але найбільше вона впливає на робочі органи, які не захищені захисними покриттями та в процесі експлуатації піддаються абразивному, абразивно-ударному та іншим видам зношування. В результаті зношування на таких поверхнях виникають дефекти, які інтенсифікують процес атмосферної корозії. Інтенсивне протікання процесу атмосферної корозії на поверхнях робочих органів під час їх зберігання призводить до зростання інтенсивності зношування цих поверхонь після зняття зі зберігання. Найгостріше це питання стосується робочих органів ґрунтообробних та посівних машин, які знаходяться на зберіганні 90 % часу, а поверхні їх робочих органів (сошники, диски, культиваторні лапи та ін.) після виконання технологічних операцій не мають захисного покриття та мають безліч дефектів (мікротріщини, вакансії та ін.). Саме тому дослідження впливу попередньої атмосферної корозії на інтенсивність абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин та пошук шляхів зменшення величини її негативного впливу, є беззаперечно актуальною задачею.

### Аналіз останніх досліджень

Всебічне розуміння процесу абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин дозволить суттєво підвищити їх зносостійкість. Процес абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин носить складний характер, оскільки в зоні фрикційного контакту одночасно протікають хімічні, механічні та фізичні процеси. Переважним процесом при абразивному зношенні робочих органів ґрунтообробних машин є механічний. Хімічні та фізичні процеси, які протікають в зоні фрикційного контакту при зношенні робочих органів ґрунтообробних машин не мають суттєвого впливу на інтенсивність абразивного зношування, хоча також мають незначний вплив на загальну величину абразивного зношування. Хімічні процеси на поверхні тертя можуть зменшувати міцність поверхневих шарів і пришвидшувати протікання механічних процесів в зоні фрикційного контакту поверхні робочого органу і ґрунтового середовища.

Процес абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин в різний час вивчали Костецький Б. І [3], Крагельський І. В. [4], Северньов М. М. [5], Аулін В. В. [6], Борак К. В. [7] та інші. За результатами досліджень цих авторів можна зробити висновок, що процес зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин може відбуватися закріпленими, напівзакріпленими та вільними абразивними частинками. Ступінь закріпленості абразивних частинок залежить від стану ґрунтового середовища.

В роботі [7] встановлено вплив ступеня закріпленості на інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин. В цій роботі виявлено, що зміна ступеня закріпленості абразивних частинок на одній ділянці поля може докорінно змінити процеси на поверхні тертя та збільшити або зменшити інтенсивність зношування в два рази.

Суттєвий вплив на інтенсивність зношування має вологість ґрунту. Так в роботі [8] встановлено вплив вологості ґрунту на інтенсивність зношування (рис. 1).

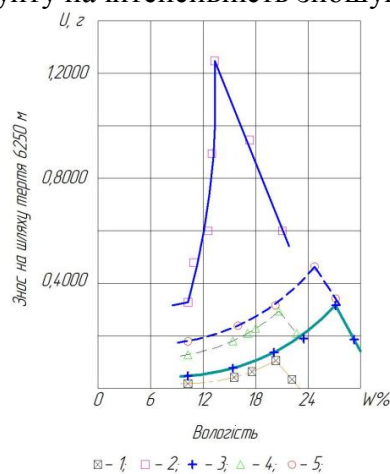


Рис. 1. Вплив вологості ґрунту на знос (шлях тертя 6250 м) [8]

Для всіх типів ґрунтів можна спостерігати підвищення величини зносу зі зростанням вологості ґрунту до певної межі (критичного значення). Після досягнення критичного значення на поверхні тертя спостерігається виділення вільної вологи, яка виступає в якості мастила, що призводить до зменшення інтенсивності зношування.

Наявність кам'янистих включень в ґрунті в межах 5,17...7,25 % призводить до росту інтенсивності зношування в 3,1 рази [10].

На інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин впливає фазовий склад ґрунту в якому їх експлуатують. Відомо, що ґрунт складається з чотирьох фаз (рис. 2).

Тверда фаза ґрунту є визначальною його абразивних властивостей, оскільки містить мінеральні частинки, які мають твердість вищу за твердість матеріалу робочих органів ґрунтообробних машин.

Твердість і форма абразивних частинок ґрунту визначає можливість найбільш негативного механічного процесу – мікрорізання. При твердості абразивних частинок менше 0,7 твердості матеріалу робочого органу мікрорізання не спостерігається. Саме тому більшість робіт по підвищенню довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин спрямовані на підвищення твердості зон зношування робочих органів ґрунтообробних машин.

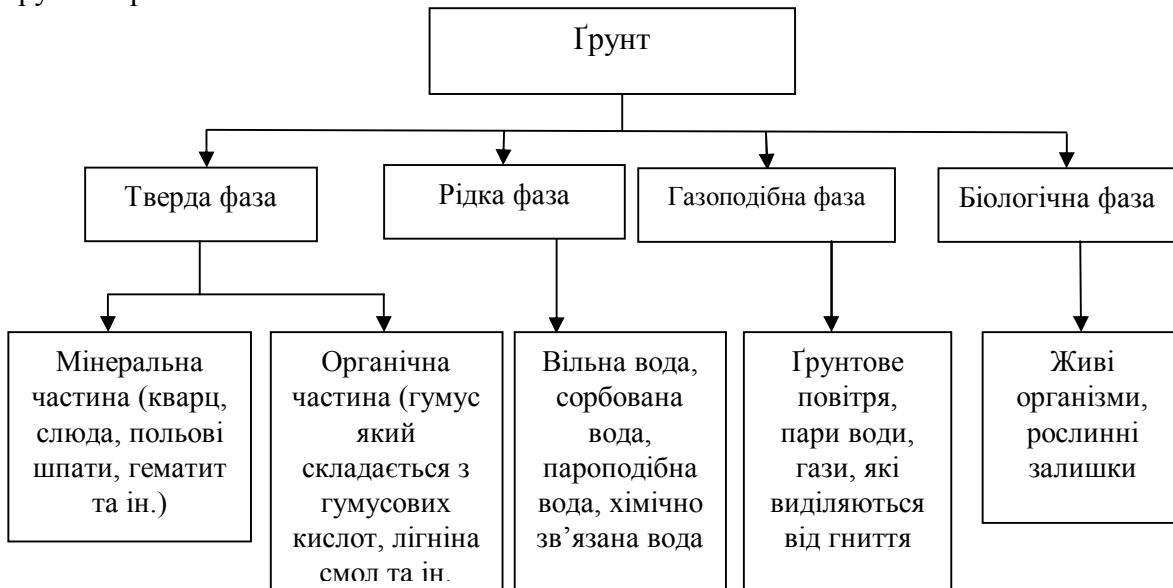


Рис. 2. Фазовий склад ґрунту [9]

Фундаментальний аналіз досліджень по впливу розміру абразивних частинок на інтенсивність зношування представлено в роботі [11]. Встановлено, що збільшення розміру абразивних частинок до критичного розміру (CPS) призводить до прямопропорційного росту швидкості зносу (рис. 3).

При досягненні критичного розміру абразивних частинок може спостерігатися три явища (рис. 3): 1 – зменшення швидкості зношування; 2 – стабілізація швидкості зношування; 3 – зростання швидкості зношування. Нажаль зараз відсутнє загальноприйняте пояснення цього явища.

Вважається, що підвищення твердості сталі призводить до пропорційного зростання зносостійкості до абразивного зношування. У сучасних працях це твердження піддається сумніву. Так в роботі [12] отримані данні які вказують на відсутність прямої залежності зносостійкості від твердості поверхні тертя та з'ясовано, що значний вплив на стійкість до абразивного зношування має пластичність сталі (рис. 4).

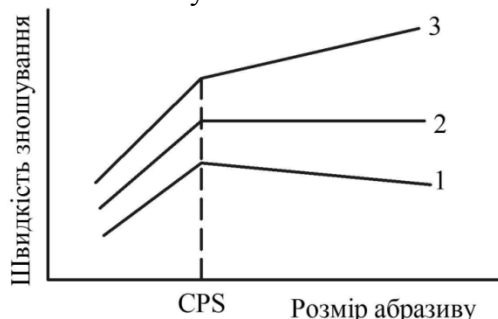


Рис. 3 Залежність швидкості зношування від розміру абразиву

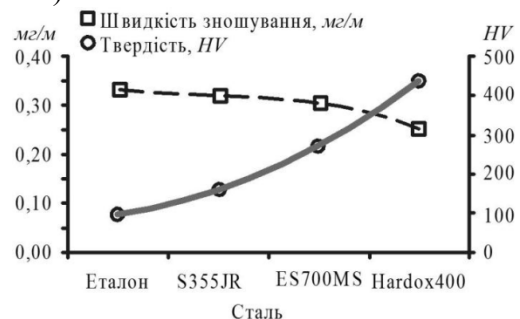


Рис. 4. Швидкість зношування та твердість сталі

Встановлено, що зростання вмісту вуглецю в залізвуглецевих сплавах призводить до росту стійкості до абразивного зношування (рис. 5) [13, 14]. У легованих сталях визначальним фактором у стійкості до абразивного зношування є вміст легуючих елементів.

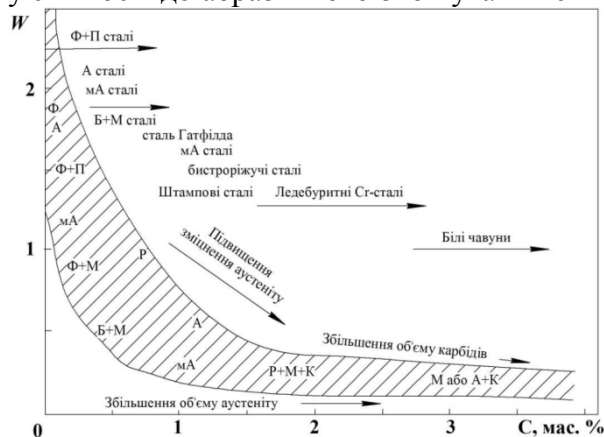


Рис. 5. Залежність зносу залізвуглецевих сплавів від вмісту вуглецю [14]

Також слід відзначити вплив на інтенсивність абразивного зношування відносної швидкості переміщення, кута атаки абразиву до поверхні тертя, кислотності абразивного середовища, твердості ґрунту та параметрів мікроструктури сталі. Вплив всіх цих факторів добре вивчений дослідниками та встановлені відповідні залежності. Найбільш не дослідженими факторами, які впливають на інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин є попередня корозія поверхні під час міжсезонного зберігання та наявність в абразивному середовищі поживних решток.

Атмосферна корозія завдає значних збитків всім галузям економіки України. Ці збитки визначаються не тільки фізичною втратою металу, а в першу чергу виходом з ладу або втратою працездатного стану машин і обладнання та необхідністю їх ремонту. Найбільш суттєвими факторами які впливають на швидкість протікання атмосферної корозії деталей та робочих органів машин є: наявність захисних покриттів, вологість атмосфери, пошкодженість поверхні, тривалість контакту поверхні з атмосферою, хімічний склад матеріалу деталей і робочих органів та температура навколишнього середовища.

В агропромисловому комплексі найбільше піддаються атмосферній корозії прості сільськогосподарські машини (плуги, борони, культиватори тощо), які, в більшості випадків у процесі міжсезонного зберігання розміщуються на відкритих асфальтових, бетонних та ґрунтових майданчиках.

Перші фундаментальні дослідження по впливу попередньої атмосферної корозії на інтенсивність абразивного зношування сталей проведені в середині минулого століття професором Северньовим М. М. Дослідження проводились в лабораторних умовах, під час проведення досліджень використовувалися сталь 65Г, сталь 45 та Ст. 3. Тривалість атмосферної корозії сталевих зразків складала 20 місяців. В результаті досліджень встановлено, що інтенсивність зношування після попередньої корозії зростає в 2,1...6,8 разів в залежності від марки сталі, способу зберігання та місця розміщення зразків [5].

Більш ґрунтовні дослідження були проведені в Україні в умовах трьох ґрунтово-кліматичних зон України (Полісся, Лісостеп та Степ) протягом 2014 – 2018 років [7]. За результатами досліджень встановлено, що наявність попередньої корозії призводить до зростання інтенсивності зношування сталевих зразків (рис. 6).

Всі перераховані дослідження були проведені в лабораторних умовах і не можуть об'єктивно описувати вплив попередньої корозії робочих органів ґрунтообробних машин на інтенсивність їх зношування, саме тому необхідно провести експлуатаційні дослідження у виробничих умовах.

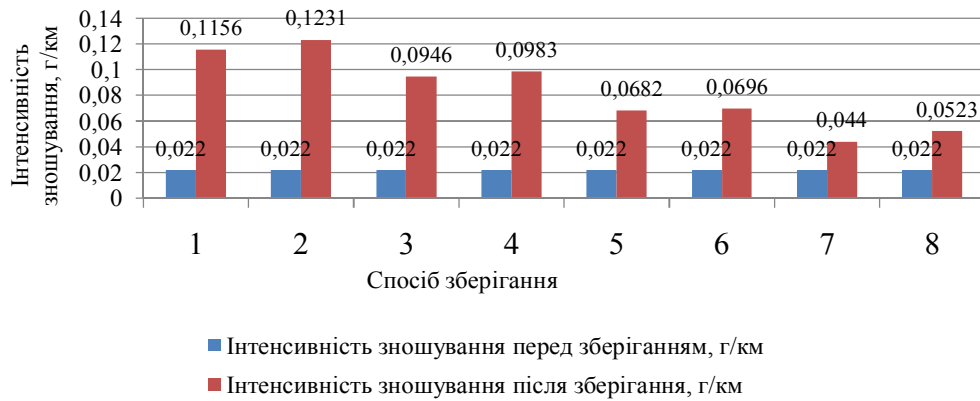


Рис. 6. Інтенсивність зношування зразків сталі, шлях тертя – 7488 м (умови зберігання: зона Лісостеп, висота розміщення зразків 500 мм над поверхнею зберігання, зразок – сталь 65Г з об'ємним гартуванням за температури 810...830 °С і середньому відпуску за температури 460...480 °С): 1 – на відкритому майданчику з ґрунтовим покриттям; 2 – на відкритому майданчику з трав'яним покриттям; 3 – на відкритому майданчику з бетонним покриттям; 4 – на відкритому майданчику з асфальтованим покриттям; 5 – під навісом з бетонним покриттям; 6 – під навісом з асфальтованим покриттям; 7 – у закритому опалювальному приміщенні з бетонним покриттям; 8 – у закритому неопалювальному приміщенні з бетонним покриттям [7]

В результаті аналізу стану проблеми впливу попередньої корозії на інтенсивність абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин встановлено фактори, які впливають на інтенсивність абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин та встановлено, що на сьогодні дослідження впливу попередньої корозії на інтенсивність абразивного зношування проводилися тільки в лабораторних умовах, саме тому необхідно провести експлуатаційні дослідження у виробничих умовах.

#### Методика проведення досліджень

В ході проведення досліджень використано загальнонаукові та спеціальні методи досліджень: спостереження, експеримент, порівняння, аналіз, синтез, прогнозування, абстрагування, графічні та кореляційні методи.

Програмою досліджень передбачалося виконання наступних етапів:

- визначити інтенсивність корозійних процесів на поверхнях робочих органів ґрунтообробних машин та зон зародження та найбільшого ураження корозією;
- визначити зміну мікротвердості поверхні робочих органів ґрунтообробних машин в результаті ураження їх корозією;
- провести експлуатаційні випробування впливу попередньої корозії, під час міжсезонного зберігання, на інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин;
- провести експлуатаційні випробування запропонованих способів і методів підвищення стійкості до корозійних процесів на поверхнях тертя робочих органів ґрунтообробних машин.

Визначення інтенсивності корозії на поверхнях робочих органів ґрунтообробних машин та зон зародження та найбільшого ураження корозії проводили методом огляду машин, які поставленні на міжсезонне зберігання в умовах ТОВ «Аграрні Системні Технології». Огляду підлягали дискові робочі органи, стрілочасті лапи та леміші плугів. Матеріал робочих органів ґрунтообробних машин: сталь 65Г, сталь 28MnB5 та сталь Hardox 500.



Рис. 7. Фотознімок поверхні тертя робочого органу ґрунтообробної машини в період міжсезонного зберігання

Визначення мікротвердості поверхні тертя робочих органів ґрунтообробних машин виконували за допомогою портативного твердоміра Т-УД2 (рис. 8). Заміри проводили до постановки на міжсезонне зберігання та при знятті зі зберігання. Дослідження мікротвердості проводили відповідно до ASTM A1038 [16], глибина проникнення індектора 30...50 мкм.



Рис. 8 Мікротвердомір Т-УД2, який використовується для визначення мікротвердості поверхні тертя робочих органів ґрунтообробних машин

Для дослідження впливу способів та методів міжсезонного зберігання проводили консервацію поверхонь тертя робочих органів ґрунтообробних машин матеріалами: БЕСТ КМ-1, ПВК та Shell Ensis Oil N. Зберігання ґрунтообробних машин проводили на відкритих майданчиках з бетонним, асфальтовим та ґрунтовим покриттям та під навісом з бетонним та асфальтовим покриттям.

Інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин визначали ваговим методом за допомогою терезів СР 34001 S.

### Результати дослідження

Підвищити довговічність деталей машин можна трьома групами методів: експлуатаційними, конструкційними та технологічними. На сьогодні переважна більшість дослідників основну увагу приділяє конструкційним та технологічним методам, залишаючи поза увагою експлуатаційну групу. На думку автора роботи [7] експлуатаційними методами можливо підвищити зносостійкість та довговічність деталей сільськогосподарських машин до трьох разів. Саме тому важливо цим методам приділяти значну увагу.

В осінньо-зимовий період 2020 – 2021 року, для визначення переважального способу зберігання ґрунтообробної техніки в аграрних підприємствах, був проведений огляд способів

зберігання в 17-ти сільськогосподарських підприємствах. Результати досліджень представлені на рис. 9 – 11.



Рис. 9. Відсотковий розподіл способів зберігання ґрунтообробної техніки за місцем їх розміщення

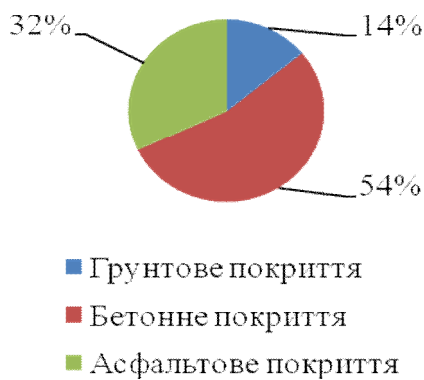


Рис. 10. Відсотковий розподіл покриття майданчиків, які використовуються для міжсезонного зберігання ґрунтообробної техніки

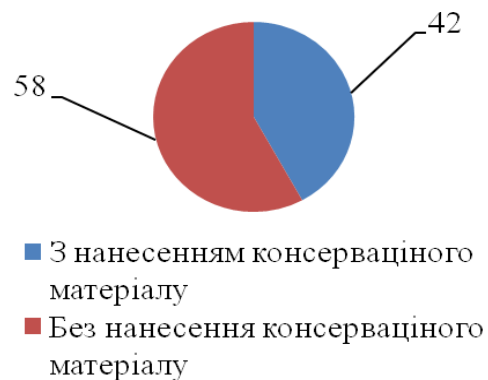


Рис. 11. Відсотковий розподіл наявності та відсутності консерваційного покриття на робочих органах ґрунтообробної техніки в період їх міжсезонного зберігання

Як видно з результатів досліджень більшість ґрунтообробної техніки зберігається в несприятливих умовах, що в свою чергу призводить до інтенсивного протікання атмосферної корозії. Відсутність консерваційного покриття призводить до швидкого покриття продуктами корозії поверхонь тертя робочих органів ґрунтообробних машин. Найбільш інтенсивно процес корозії протікає в зоні фрикційного контакту де активно протікає процес абразивного зношування (рис. 12). Це явище можна пояснити особливістю абразивного зношування, оскільки в результаті такого виду зношування на поверхні тертя утворюються вторинні структури, мікродфекти та дефекти кристалічної ґратки.



Рис. 12. Результати атмосферної корозії на поверхнях тертя робочих органів ґрунтообробних машин під час міжсезонного зберігання після експлуатації



В результаті огляду 174-ти ґрунтообробних агрегатів при їх міжсезонному зберіганні в сільськогосподарських підприємствах Житомирської області можна провести ранжування способів та методів зберігання по їх впливу на інтенсивність атмосферної корозії робочих органів ґрунтообробних машин (від кращого до гіршого): 1. Під навісом з бетонним покриттям майданчика із нанесенням консерваційного покриття; 2. Під навісом з асфальтовим покриттям майданчика із нанесенням консерваційного покриття; 3. Під навісом з бетонним покриттям майданчика; 4. Під навісом з асфальтовим покриттям майданчика; 5. На відкритому майданчику з бетонним покриттям майданчика із нанесенням консерваційного покриття; 6. На відкритому майданчику з асфальтовим покриттям майданчика із нанесенням консерваційного покриття; 6. На відкритому майданчику з ґрунтовим покриттям майданчика із нанесенням консерваційного покриття; 7. На відкритому майданчику з бетонним покриттям майданчика; 8. На відкритому майданчику з асфальтовим покриттям; 9. На відкритому майданчику з ґрунтовим покриттям майданчика із нанесенням консерваційного покриття. В багатьох роботах зазначається, що найменше піддаються корозійним впливам деталі машин, які зберігаються в закритих опалювальних приміщеннях з нанесенням захисних покриттів. Нажаль практика показує відсутність таких умов зберігання в сільськогосподарських підприємствах України.

Слід також відмітити важливість розміщення сільськогосподарських машин на підставках, оскільки розміщення їх безпосередньо на поверхні майданчику інтенсифікує процес атмосферної корозії. Особливо яскраво це можна спостерігати на майданчиках з ґрунтовим покриттям. Так в роботі [7] визначено оптимальну висоту підставки для міжсезонного зберігання сільськогосподарських машин, яка повинна складати не менше 500 мм.

Наявність атмосферної корозії на поверхнях тертя робочих органів ґрунтообробних машин призводить до зміни триботехнічних характеристик цієї поверхні. В результаті корозійних процесів протягом п'яти місяців відбулося зменшення мікротвердості поверхонь тертя на 3,54...9,6 % (рис. 13) в залежності від марки сталі, яка використовувалась для виготовлення цього робочого органу. Твердість на поверхні після атмосферної корозії визначали в зонах найбільшого ураження без видалення продуктів корозії.

Отримані результати зміни мікротвердості на поверхнях тертя робочих органів ґрунтообробних машин дозволяють констатувати, що чим якісніша сталь ти менше значення зміни мікротвердості спостерігається (рис. 13).

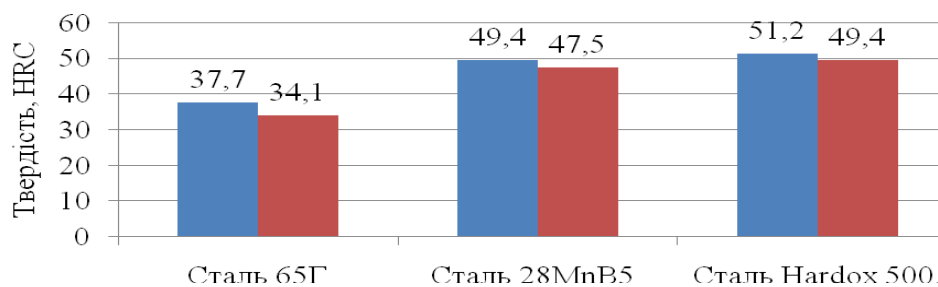


Рис. 13. Зміна мікротвердості на поверхнях тертя робочих органів ґрунтообробних машин (синій колір – до корозійних процесів, червоний – після 5 місяців зберігання на відкритому майданчику з ґрунтовим покриттям без нанесення консерваційного покриття)

Для визначення впливу попередньої корозії на інтенсивність абразивного зношування провели дослідження з використанням двох пар лемешів виготовлених зі сталі 65Г: 1 пара – зберігалися на відкритих майданчиках з ґрунтовим покриттям без нанесення



консерваційного покриття; 2 пара – зберігалися в закритому опалювальному приміщенні з нанесення консерваційного покриття.

Дослідження проводили з використанням машино-тракторного агрегату Т-150К+ПЛН-5-35. Швидкість руху агрегату 7 – 9 км/год. Ґрунти середньосуглинкові. Для достовірності результатів досліджень леміші розмішувалися у шаховому порядку: 2-4 та 3-5. Результати досліджень наведені на рис. 14.

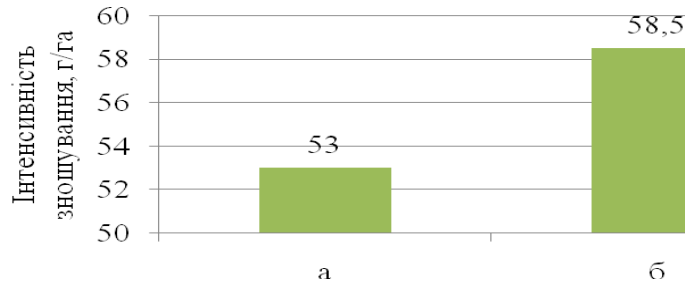


Рис. 14. Інтенсивність зношування лемешів плуга виготовлених зі сталі 65 і знятих з міжсезонного зберігання

Заміри проведенні після виконанням оранки на площі 5 га, тобто напрацювання на один леміш склало один гектар. В подальшому інтенсивність зношування вирівнялася і була однаковою для всіх типів лемешів. Ці результати свідчать про суттєвий вплив попередньої корозії поверхні тертя на інтенсивність абразивного зношування, оскільки інтенсивність зношування у лемешах які були повністю уражені корозією вище на початкових етапах експлуатації на 9,4 %, порівняно з лемішами де були відсутні сліди корозії.

Для визначення ефективності вітчизняних і зарубіжних консерваційних матеріалів для захисту від атмосферної корозії поверхонь тертя були проведені відповідні дослідження. Дискові робочі органи ґрунтообробних машин покривалися консерваційними матеріалами БЕСТ КМ-1, ПВК та Shell Ensis Oil N і ставилися на міжсезонне зберігання в найбільш несприятливі умови (на відкритому майданчику з ґрунтовим покриттям). В результаті досліджень встановлено, що суттєвої різниці в швидкості протікання та інтенсивності корозійних процесів на поверхнях тертя, при використанні вище перелічених консерваційних матеріалів не спостерігалось. Тому для консервації робочих органів ґрунтообробної техніки слід використовувати вітчизняні консерваційні матеріали типу БЕСТ КМ-1 та ПВК, оскільки іноземні аналоги коштують в 2...2,5 рази дорожче.

### Висновки

Під час міжсезонного зберігання ґрунтообробної техніки вона піддається впливу атмосферної корозії. Найінтенсивніше процеси корозії протікають в зоні фрикційного контакту де наявні сліди абразивного зношування. Це явище можна пояснити особливістю абразивного зношування, оскільки в результаті такого виду зношування на поверхні тертя утворюються вторинні структури, мікрodefekти та defekти кристалічної ґратки.

Атмосферна корозія поверхонь тертя робочих органів ґрунтообробних машин призводить до зміни триботехнічних характеристик, а саме: зменшення мікротвердості на 3,54...9,6 %, та зростання інтенсивності зношування на 9,4%.

Рекомендовані раціональні способи і методи зберігання та консервації робочих органів ґрунтообробних машин для мінімізації дії атмосферної корозії на поверхні тертя робочих органів ґрунтообробних машин.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вплив попередньої корозії на інтенсивність зношування сталі / В. І. Дворук, К. В. Борак, С. С. Добранський [та ін.] // Вісник Причорномор'я. – 2019. – № 4. – С. 106 – 113.

2. Atmospheric Corrosion / [Leygraf C., Wallinder I. O., Tidblad J.]. – New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2016. – 397 p.
3. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах / Б. И. Костецкий. – Киев : Техніка, 1970. – 396 с.
4. Крагельский И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – Москва : Машиностроение, 1977. – 526 с.
5. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / [под. ред. М. М. Севернева]. – Минск : Беларус. навука, 2011. – 333 с.
6. Аулін В. В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки : дис. ... доктора техн. наук : 05.02.04 / Аулін Віктор Васильович. – Хмельниц. нац. ун-т. Хмельницький, 2015. – 447 с.
7. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Борак Костянтин Вікторович. – Поліський національний університет, м. Житомир, 2021. – 380 с.
8. Васильев С. П. Об изнашивающей способности почв / С. П. Васильев, Л. С. Ермолов // Повышение долговечности рабочих деталей почвообрабатывающих машин. – 1960. – С. 130 – 141.
9. Абразивні властивості середовища ґрунту [Електронний ресурс] / К. В. Борак, Д. І. Руднік // Збірник праць X Міжнародної науково-технічної он-лайн конференції «Крамаровські читання» до нагоди 116-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906 – 1987) та 125-ї річниці НУБіП України. – 2023. – Режим доступу : [https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u349/zbirnik\\_tez\\_kch2023.pdf](https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u349/zbirnik_tez_kch2023.pdf).
10. Изнашивающая способность почв и износ дисков [Електронний ресурс] / В. Ф. Быков, М. И. Малютин // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2008. – Режим доступу : [http://science-bsea.narod.ru/2008/leskomp\\_2008/bykov\\_iznos.htm](http://science-bsea.narod.ru/2008/leskomp_2008/bykov_iznos.htm).
11. Coronado J. J. Effect of Abrasive Size on Wear. Abrasion Resistance of Materials. 2012. p. 167–184.
12. Zdravecká E. Effect of microstructure factors on abrasion resistance of high-strength steels / E. Zdravecká, J. Tkáčová, M. Ondáč // Research in Agricultural Engineering. – 2014. – № 60 (3). – P. 115 – 120.
13. Шейнман Е. Л. Абразивный износ. Обзор американской печати. Абразивная стойкость материалов / Е. Л. Шейнман // Трение и износ. – 2006. – Том 27, №1. – С. 110 – 122.
14. Zum Gahr K.-H. Microstructure and Wear of Materials / K.-H. Zum Gahr. – Amsterdam – Oxford – New York – Tokyo : Elsevier Science Publishers, 1987. – 559 p.
15. Бик М. В. Методи захисту обладнання від корозії та захист на стадії проектування : підр. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / М. В. Бик, О. І. Букет, Г. С. Васильєв. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 318 с.
16. ASTM A1038. [Електронний ресурс] / Standard Test Method for Portable Hardness Testing by the Ultrasonic Contact Impedance Method. – Режим доступу : <https://www.astm.org/a1038-19.html>.

Стаття надійшла до редакції 29.03.2023.

Стаття пройшла рецензування 02.05.2023.

**Борак Костянтин Вікторович** – д. т. н., доцент, заступник директора з навчальної роботи.  
Житомирський агротехнічний коледж.

**Куликівський Володимир Леонідович** – к. т. н., доцент, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу.

**Руднік Дмитро Іванович** – магістрант.  
Поліський національний університет.