

Тіхонов О.В.,  
Рибалко І.М.,  
Тіхонов Д.О.,  
Полунін М.В.,  
Діордійчук В.В.  
Державний  
біотехнологічний  
університет,  
м. Харків, Україна  
E-mail: kafedraTSRP@i.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ  
ОЦІНКОЮ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУР  
НА ПОВЕРХНІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ  
ГРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ

<https://doi.org/10.37700/ts.2024.24.69-79>

УДК 631.312.021.3

*Тіхонов О.В., Рибалко І.М., Тіхонов Д.О., Полунін М.В., Діордійчук В.В. Дослідження процесу зношування оцінкою розподілу температур на поверхні робочих органів ґрунтообробних знарядь.*

*Анотація.* На основі аналізу літературних джерел та сучасних тенденцій обробітку ґрунту розроблено способи зміцнення та відновлення лемішей. Зміцнення проводили нанесенням армуючих валиків на ріжучу поверхню. Відновлення виконували методом постановки компенсуючих вставок для отримання зубчастої робочої поверхні.

Запропоновано аналізувати зношування поверхні лемішей по зміні температури ріжучої частини при контакті з абразивними частинками ґрунту. Для аналізу використовували тепловізор, досліджували поверхню через 0,5 га.

При аналізі видно, що зі збільшенням напрацювання підвищується температура на робочій поверхні леміша. В зонах найбільшого впливу абразиву температура підвищена. Інтенсивність тепловиділення залежить від роботи тертя та розмірів майданчика, на якому вона відбувається. Робота, що проводиться зовнішньою силою проти сил тертя, перетворюється на тепло і йде на нагрівання тіл, що труться. При аналізі видно, що зі збільшенням напрацювання підвищується температура на робочій поверхні леміша.

Для подальших досліджень необхідно провести дослідження з напрацюванням від 20 га. Підприємства Харківської області планують проведення оранки в осінній період, для чого було погоджено використання зміцнених та відновлених лемішів.

**Ключові слова:** леміш; відновлення; зміцнення; тертя; тепловізор; напрацювання.

*Tihonov O.V., Rybalko I.M., Tihonov D.O., Polunin M.V., Diordiychuk V.V. Study of wear process of estimated temperature distribution on surface of working bodies of tillage tools.*

**Abstract.** Based on the analysis of literary sources and modern trends in soil cultivation, methods of strengthening and restoring ploughshares have been developed. Strengthening was carried out by applying reinforcing rollers to the cutting surface. Restoration was carried out by the method of placing compensating inserts to obtain a serrated working surface.

*It is proposed to analyse the surface wear of ploughshares by changing the temperature of the cutting part in contact with abrasive soil particles. A thermal imager was used for the analysis; the surface was examined after 0.5 ha.*

*During the analysis, it can be seen that the temperature on the working surface of the ploughshare increases with the increase in working time. In the zones of the greatest impact of the abrasive, the temperature is increased. The intensity of heat generation depends on the work of friction and the dimensions of the site on which it occurs. The work done by an external force against the forces of friction is converted into heat and is used to heat the rubbing bodies. During the analysis, it can be seen that the temperature on the working surface of the ploughshare increases with the increase in working time.*

*For further research, it is necessary to conduct a study with a working area of 20 ha. Enterprises of the Kharkiv region plan to plow in the autumn period, for which it was agreed to use strengthened and restored ploughshares.*

**Key words:** *ploughshare, restoration, strengthening, friction, thermal imager, hard work.*

### Постановка проблеми

Значний вплив на довговічність деталей сільськогосподарських машин робить швидкість зносу при зовнішньому терті. Підвищення зносостійкості матеріалів різними технологічними способами присвячено велику кількість теоретичних та експериментальних досліджень. Експлуатаційні властивості різних сільгоспмашин більшою мірою визначаються абразивною зносостійкістю конкретних деталей. Підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин є актуальною проблемою АПК. Це пов'язано зі специфічними умовами їх експлуатації (абразивне зношування) та порушенням технологічних норм під час виготовлення, які призводять до величезних масштабів виробництва та низького ресурсу (від 5 до 10 га).

Істотне підвищення довговічності плужних лемішів можливе при використанні ефективних зміцнювальних технологій, що збільшують зносостійкість деталі та попереджуючих інтенсивне зношуванні та одночасного формування конфігурації робочих поверхонь, що труться.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Тому прогнозування зносостійкості матеріалів під час абразивного тертя є актуальною науково-виробничою проблемою, згідно досліджень професора Коршунова В.Я.

Енергія, необхідна для відносного переміщення тіл, що труться, витрачається на руйнування адгезійних зв'язків і деформацію матеріалу контактуючих нерівностей і прилеглих поверхонь.

Енергетична теорія тертя ґрунтується на положенні про те, що енергія, що витрачається при терті, витрачається на теплові, механічні та електричні явища, а також на хімічні процеси, що мають місце в зоні контакту тертьових тіл. Б.І. Костецьким встановлено, що робота з подолання сил тертя.

$$W=Q+W_{cm}+W_{вн}+W_{п}+W_d \quad (1)$$

де  $Q$  – кількість теплоти, що виділилася при терті;  $W_{cm}$  – енергія, витрачена на деформацію та ковзання у граничному шарі;  $W_{вн}$  – приріст внутрішньої енергії трибосистеми;  $W_{п}$  – збільшення поверхневої енергії;  $W_d$  – енергія дисипації (зовнішнього розсіювання), згідно досліджень Загайка С.А.

Калориметричні дослідження і розрахунки показали, що близько 90% роботи

сил тертя трансформується в теплоту і поглинається тілами, що труться, трансформується в теплову, решта – на спотворення кристалічних ґрат, звукові ефекти, утворення нових поверхонь. Тепловиділення при терті відбуваються на незначній площі, а час існування поодиноких плям контакту вимірюється мілісекундами. Інтенсивність тепловиділення залежить від роботи тертя та розмірів майданчика, на якому вона відбувається. Робота, що проводиться зовнішньою силою проти сил тертя, перетворюється на тепло і йде на нагрівання тіл, що труться.

Силова взаємодія реалізується на плямах фактичного контакту, тут відбувається виділення тепла. Таким чином, поверхня тіла, що труться, покрита тепловими джерелами (плямами контакту), які переміщуються по обох поверхнях, якщо вони шорсткі, або по гладкій поверхні, якщо по ній ковзає шорстке тіло.

Тепло, що генерується на плямах контакту, поширюється від них углиб обох контактуючих тіл. Кількість теплоти, яка переноситься в одиницю часу, називають тепловим потоком. Теплові потоки розподіляються залежно від теплофізичних властивостей контактуючих тіл, їх розмірів та умов тепловідведення.

Сукупність точок в обсязі кожного з тіл, що труться, мають у певний момент однакову температуру, називають ізотермічною поверхнею. Кожна ізотермічна поверхня відокремлює нагріту поверхню від менш нагрітої (рис. 1).

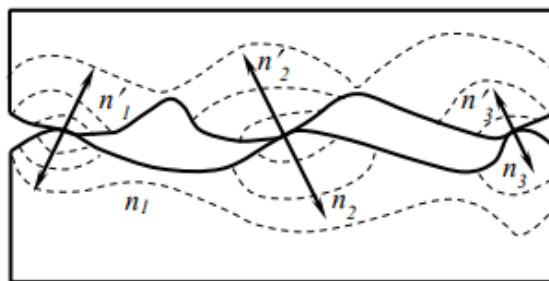


Рис. 1. Розподіл теплових потоків у тілах, що труться, штрихові лінії – ізотерми

Ізотермічні поверхні не перетинаються. Тепловий потік вздовж такої поверхні неможливий. Передача тепла здійснюється за нормаллю до ізотермічної поверхні від нагрітих областей до менш нагрітих. При віддаленні від джерела тепла температура тіл, що труться, зменшується.

Сукупність миттєвих значень температури у всіх точках тіла, що розглядається, називають температурним полем. Якщо температура перестав бути функцією часу, тобто. температура у вибраній точці не змінюється з часом, таке поле називається стаціонарним. Інакше температурне поле нестационарне.

Уздовж різних координат температура змінюється неоднаково. Найбільша її зміна спостерігається вздовж нормалі до ізотермічних поверхонь та характеризується градієнтом температури:

$$\text{grad}T = \frac{\partial T}{\partial x}i + \frac{\partial T}{\partial y}j + \frac{\partial T}{\partial z}k. \quad (2)$$

Співвідношення  $\text{grad}T \neq 0$  є необхідною умовою поширення тепла усередині тіла.

При оцінці теплових процесів у зоні контакту тіл, що труться, слід розрізняти: середню об'ємну температуру тіл, середню поверхневу температуру, температуру спалаху на одиничній плямі контакту і максимальну температуру на поверхні тертя, згідно досліджень Корлікова Є.І.

Середня об'ємна температура ( $T_{об}$ ) – це середнє значення температури в обсязі

одного з елементів пари тертя.

Середня поверхнева температура ( $T_{\text{п}}$ ) – середнє значення температури у найтоншому поверхневому шарі.

Температурний спалах ( $T_{\text{сп}}$ ) виникає на одиничних плямах фактичного контакту, може досягати температури плавлення одного з тіл, що труться.

Час існування спалаху становить  $10^{-3}$ - $10^{-8}$  с. і визначається розмірами плям контакту і швидкістю відносного переміщення тіл, що труться.

Максимальна температура на поверхні тертя розглядається як сума об'ємної, поверхневої температури та спалаху:

$$T_{\text{max}} = T_{\text{об}} + T_{\text{п}} + T_{\text{сп}} \quad (3)$$

Аналітичне визначення середньої поверхневої температури ґрунтується на застосуванні закону Фур'є. Для стаціонарного режиму тертя, за умови, що кількість теплоти, що поглинається одиницею об'єму поверхні, що контактує, дорівнює кількості теплоти, ним випромінюваної, розрахункова формула має вигляд:

$$T_{\text{п}} = \frac{f \cdot F_n \cdot v}{A_a \cdot (\lambda_1 \cdot k_1 + \lambda_2 \cdot k_2)}, \quad (4)$$

де  $k_{1,2} = \frac{\sigma'_{1,2}}{\lambda_{1,2} \cdot A_a}$ ;  $\sigma'_{1,2}$  – коефіцієнти тепловіддачі першого та другого тіла відповідно,  $v$  –

параметр тепловіддачі поверхні,  $\lambda_{1,2}$  – коефіцієнти теплопровідності першого та другого тіла відповідно,  $A_a$  – номінальна площа поверхні тертя.

Експериментально встановлено, що протягом перших 2-6 з тертя теплоти  $Q$  виділяється більше, ніж витрачається роботи  $A$ . Різниця  $\Delta U = Q - A$ , що відповідає зниженню внутрішньої енергії системи, становить у дослідах з КМ значення порядку  $1,6 \text{ Дж/см}^2$ . Наявність теплового ефекту, не пов'язаного з дисипацією роботи, вказує на перехід системи в термодинамічно більш стійкий стан, згідно кандидатської дисертації Барабанщикова Ю.Г.

### Формулювання мети досліджень

У сучасній механіці під тертям розуміють широке коло явищ, що викликаються взаємодією дотичних поверхонь твердих тіл при відносному переміщенні, а також внутрішнім рухом у твердих, рідких і газоподібних середовищах при їх деформації.

Температурно-швидкісний фактор. Вплив швидкості ковзання на фрикційні властивості вивчено недостатньо. Швидкість ковзання визначає час існування одиничного фрикційного зв'язку і, отже, швидкість деформування матеріалів. Тому на тертя та знос матеріалів впливає в'язкість фрикційного контакту. Від швидкості ковзання залежить потужність тепловиділень та температура на контакті. Нагрів поверхневих шарів тіл, що труться, призводить до зміни в них механічних і фрикційних властивостей і механо-хімічних структурних змін. Тому слід розглядати температурну залежність зносу як наслідок температурних залежностей властивостей матеріалу,  $t_y$ ,  $\sigma_0$ ,  $f$ ,  $E$ . Модуль пружності матеріалів  $E$  порівняно мало зменшується зі зростанням температури. Суттєвіше зменшення параметра міцності  $\sigma_0$ . Коефіцієнт тертя  $f$  в залежності від температури міцності може зменшуватися, зростати або залишатися незмінним. Це різним характером зміни співвідношення між молекулярною і механічною складовими коефіцієнта тертя. Параметр  $t_y$  кривої фрикційної втоми (залежить від матеріалу контактуючих деталей та виду мастила) визначається експериментально. Питання про зміну параметра  $t_y$  в залежності від температури ще не вивчений, тому його експериментальне визначення слід вести при температурному

режимі, близькому до того, що матиме місце в реальному вузлі тертя.

Лезо леміша при зустрічі з твердими частинками ґрунту зазнає дуже великого тиску. Під дією цього тиску, залежно від напрямку руху абразивних зерен, відбувається зминання кромки та її затуплення (косе різання ґрунту) або самозагострення леза (лобове різання ґрунту). Лобове різання ґрунту сприяє самозагостренню леза зубів переривчастого лемішу, виготовленого з однорідного металу. Тим самим позитивно впливає технічний стан плужних лемішів і якість пахоти. У природних умовах ґрунт одного й того ж гранулометричного складу може змінювати свої властивості залежно від вологості (погодних умов). У цьому випадку, крім ущільненого ядра і збільшення енергії кришення пласта, на тяговий опір значно впливає поступова зміна характеру руйнування пласта з переходом від стружки відриву до стружки зсуву.

Результати проведених досліджень показали, що при зміні виду руйнування ґрунту від стружки відриву до стружки зсуву відбувається збільшення енергії руйнування ґрунту внаслідок заміни виду руйнування від впливу нормальних напружень розтягування на руйнування під дією напруги зсуву зрушення [1].

Принаймні зношування леза залежно від шляху  $S$  різко збільшується вертикальна складова сил різання  $P_v$ , величина  $P_r$  зростає незначно. Це свідчить про те, що найбільший вплив знос леза надає заглиблювальну здатність ґрунторізного клина, при цьому його тяговий опір змінюється несуттєво.

Найбільший вплив на тяговий опір ґрунторізного клина мають фізико-механічні властивості абразивного середовища (твердість, зв'язність абразивних частинок, наявність додаткових пилоподібних включень), умови різання (швидкість, глибина, кут різання) та гострота леза клина (ступінь затуплення), згідно досліджень Лискіна І.В.

За рахунок внесення конструктивних змін у вигляді нанесення валиків перпендикулярно до польового обрізу леміша на локальних ділянках забезпечується збільшення напрацювання до граничного стану 1,3-1,8 рази.

### Методичний підхід в проведенні досліджень

Для визначення місць максимальної інтенсивності зношування запропоновано – тепловізор, який здатний контролювати, як розподіляється температура поверхні різних об'єктів з точністю до  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Такий прилад обладнаний дисплеєм для відображення поверхонь, вибраних для дослідження. Цей пристрій відображає різнокольорові зони на екрані. У певного рівня температури буде своє колірне рішення. У роботі використовували тепловізор TOOLTOP ET692C (рис. 2).



Рис. 2. Зовнішній вид тепловізора TOOLTOP ET692C

Тепловізором пропонується аналізувати леміші перед встановленням на плуг. Через певний час напрацювання, леміш після виглублення знімають на тепловізор знову й отримують певну картину розподілу температур по поверхні.

Після напрацювання 0,5 га було проведено дослідження поверхні леміша. Візуально спостерігалось очищення леміша від окисної плівки та надання поверхні блискучого відтінку. Перевірку здійснювали через 0,5 га напрацювання.

### Результати досліджень

Наведені нижче способи збільшення ресурсу суцільнометалевих плужних лемішів засновані на попередженні та гальмуванні таких найбільш поширених дефектів, як променеподібне зношування та затуплення заглиблюючої частини носка.

З літературних джерел [2, 3] відомі схеми зміцнення поверхні лемеша шляхом наплавлення одиночних валиків (рис. 3).

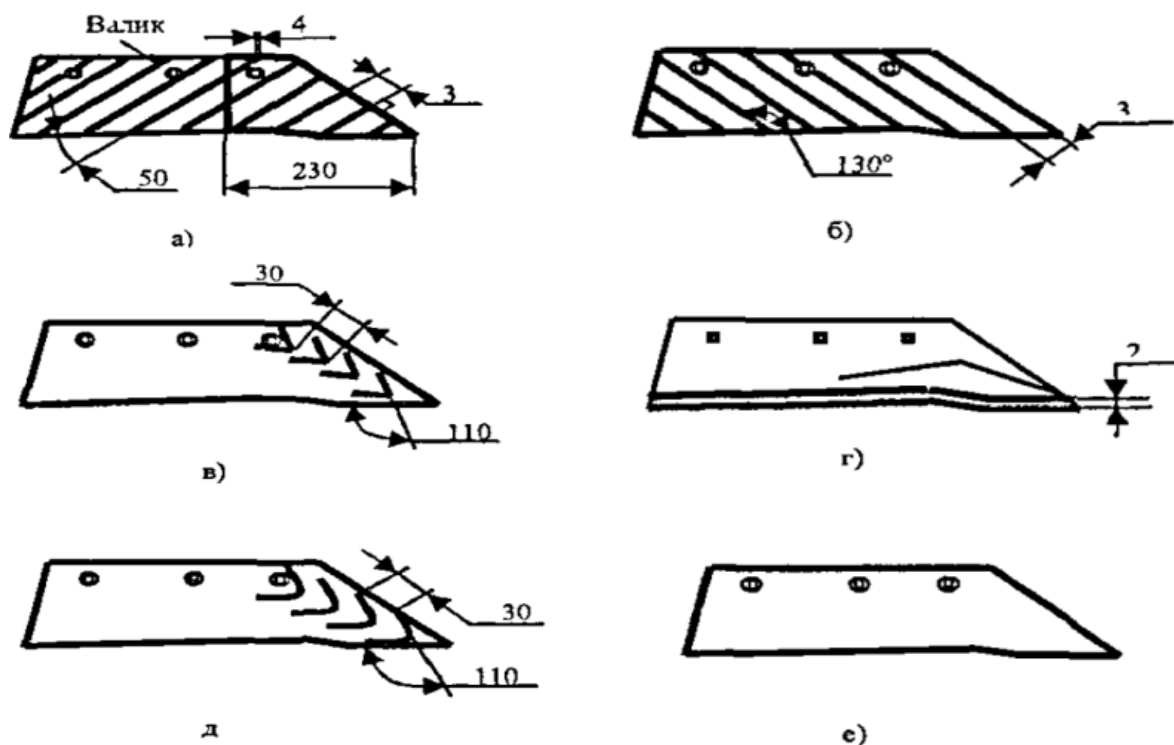


Рис. 3. Схеми наплавлення валиків на поверхню леміша

З результатів польових випробувань авторами встановлено, що за схемою а середнє зношування на гектар становить – 68,5г/га, схемою б – 76,23г/га, схемою в – 85,44г/га, схемою г – 117г/га, схемою д – 78,36г/га, нового серійного леміша е – 108,67г/га. Наплавлення валика проводили електродом марки Э50А-УОНИ-13/55-УО-А  $d_e=4$  мм.

Застосування матеріалознавчих методів, що виражаються в термозміцненні долотоподібної області суцільнометалевих лемішів, а також використання для наплавлення твердих сплавів на ділянки деталі, які зношуються, дає змогу збільшити ресурс в 1,3 – 2,0 рази.

На основі аналізу запропоновано спосіб зміцнення плужних лемішів методом наплавлення армуючих валиків для отримання більш рівномірної поверхні тертя (рис. 4) [2-4].

Відомі методи відновлення та зміцнення лемішів застосовні обмежено, а в деяких випадках взагалі не можуть бути використані.



Рис. 4. Зміцнений бар'єрними валиками новий леміш

Зубчасті леміші розроблялися в 70-х роках минулого століття, метою поліпшення роботи відвальних плугів в особливих умовах. Зубчасті леміші мають уривчасте лезо, завдяки якому відбувається часткове підрізання, а також відрив пласта знизу. Так як опір ґрунту на відрив менший, ніж на різання, то при використанні таких лемішів тяговий опір корпусу знижується. Здебільшого даний вид ріжучої частини корпусу плуга розроблявся для роботи в жорстких умовах на ущільнених та висушених ґрунтах. Також були розроблені інші види цілісних зубчастих лемішів із функцією підвищеного кришення ґрунту.

Відомо патент України на корисну модель №18405 [5]. В леміші, частинами якого є долотоподібний носок, лезо, крило, отвори з фасками згідно корисної моделі лезо виконане із долотоподібними зубами. Сукупна робота долотоподібного носка та зубів на лезі леміша забезпечує більшу рівномірність глибини оранки, зменшення опору руху та добре заглиблення леміша особливо на твердих та кам'янистих ґрунтах. Леміш складається із слідуєчих частин: долотоподібний носок 1, лезо 2, долотоподібні зуби 3, крило 4, отвори з фасками 5 (рис. 5). Леміш працює слідуєчим образом. При русі леміша долотоподібний носок та зуби з меншим опором врізаються в ґрунт, підрізуючи та розпушуючи шар ґрунту, а потім остаточно з меншими зусиллями підрізується смуга залишкового шару ґрунту лезом леміша. Це зменшує опір руху леміша, що дозволяє збільшити швидкість руху і, як наслідок, збільшити продуктивність оранки.

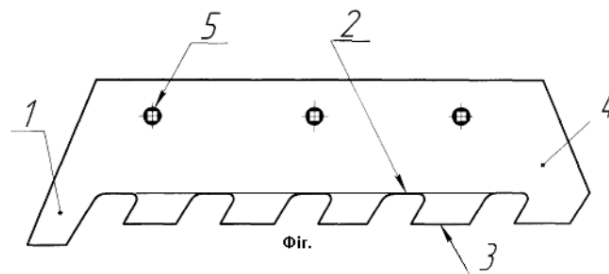


Рис. 5. Зубчастий леміш за патентом України на корисну модель №18405 [11]

Для випробувань на зношування було виготовлено два комплекти 6-зубчастих лемішів з нових штампованих лемішів (рис. 6) [6].

Зубчасті леміші розроблялися з метою поліпшення роботи відвальних плугів в особливих умовах. Зубчасті леміші мають уривчасте лезо, завдяки якому відбувається часткове підрізання, а також відрив пласта знизу. Так як опір ґрунту на відрив менший, ніж на різання, то при використанні таких лемішів тяговий опір корпусу знижується.



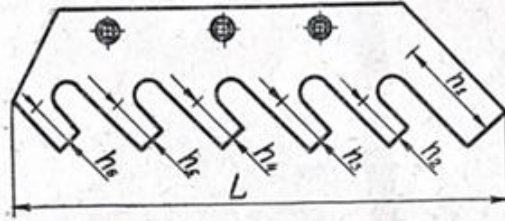


Рис. 6. 6-зубчасті леміші з лобовим різанням ґрунту [6]

Таблиця 1

Розподіл температури поверхні лемішів: нового, відновленого і зміцненого

Напрацювання	Новий леміш	Леміш з компенсуючими виставами	Зміцнений бар'єрними валками новий леміш
Розподіл температури по поверхні леміша перед встановленням на плуг	 MAX:13.8°C MIN:10.5°C	 MAX:12.8°C MIN:9.8°C	 MAX:17.5°C MIN:12.2°C
Розподіл температури по поверхні леміша після напрацювання 0,5 га	 MAX:15.2°C MIN:10.3°C	 MAX:23.8°C MIN:12.3°C	 MAX:20.1°C MIN:11.8°C
Розподіл температури по поверхні леміша після напрацювання 1,0 га	 MAX:19.0°C MIN:10.0°C	 MAX:23.8°C MIN:12.3°C	 MAX:20.6°C MIN:12.3°C
Розподіл температури по поверхні леміша після напрацювання 1,5 га	 MAX:22.1°C MIN:10.4°C	 MAX:23.8°C MIN:12.6°C	 MAX:25.9°C MIN:12.6°C



На основі проведених досліджень запропоновано спосіб відновлення плужного леміша постановкою компенсуючих вставок (рис. 7) [7-12].



Рис. 7. Леміш з компенсуючими вставками

Для реалізації способу необхідно знати розміри нового леміша щоб встановити компенсуючу вставку на висоту леза. Спочатку поверхня леміша очищалася, після чого розмічалися місця вирізів для вставок після чого виготовлялися вставки. Як і говорилось раніше, компенсуюча вставка це відпрацьована ресора автомобіля.

Проведено польові дослідження технології відновлення лемішів з постановкою компенсуючих вставок та зміцненого бар'єрними валиками (таблиця 1).

### Висновки

1. На основі аналізу літературних джерел та сучасних тенденцій обробітку ґрунту розроблено способи зміцнення та відновлення лемішей. Зміцнення проводили нанесенням армуючих валиків на ріжучу поверхню. Відновлення виконували методом постановки компенсуючих вставок для отримання зубчастої робочої поверхні.

2. Запропоновано аналізувати зношування поверхні лемішей по зміні температури ріжучої частини при контакті з абразивними частинками ґрунту. Для аналізу використовували тепловізор, досліджували поверхню через 0,5 га.

3. При аналізі видно, що зі збільшенням напрацювання підвищується температура на робочій поверхні леміша. В зонах найбільшого впливу абразиву температура підвищена. Інтенсивність тепловиділення залежить від роботи тертя та розмірів майданчика, на якому вона відбувається. Робота, що проводиться зовнішньою силою проти сил тертя, перетворюється на тепло і йде на нагрівання тіл, що труться. При аналізі видно, що зі збільшенням напрацювання підвищується температура на робочій поверхні леміша.

4. Для подальших досліджень необхідно провести дослідження з напрацюванням від 20 га. Підприємства Харківської області планують проведення оранки в осінній період, для чого було погоджено використання зміцнених та відновлених лемішів.

### Список використаних джерел

1. Chisholm T.S., Porterfield J.G., Batchelder D.G. A soil bin study of three-dimensional interference between flat plate tillage tools operating in an artificial soil. Trans. of ASAE. 1972. Vol. 15. N1. P. 43-48.

2. Діордійчук В.В., Рибалко І.М., Тіхонов О.В. Дослідження способів підвищення довговічності нових лемішів наплавленням бар'єрних валиків. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Молодь і технічний прогрес в АПВ» 23-24 листопада 2023 року. Харків. ДБТУ. 2023. С. 460-461.

3. Діордійчук В.В., Рибалко І.М., Тіхонов О.В. Розробка способу зміцнення плужних лемішів наплавленням валиків. Матеріали XI Міжнародної науково-технічної

конференції з нагоди 117-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) «Крамаровські читання». 22-23 лютого 2024 року. Київ. 2024. С. 354-357.

4. Діордійчук В.В., Тіхонов О.В. Технологія зміцнення плужних лемішів бар'єрними валиками. Матеріали XX-го Міжнародного форуму молоді «МОЛОДЬ І ІНДУСТРІЯ 4.0 В XXI СТОЛІТТІ». Харків. ДБТУ. 2024. С. 117.

5. Леміш: пат 18405 Україна: МПК (2006) A01B 15/00. Савич В.Б. u200603968, заявл. 10.04.2006, опубл. 15.11.2006, бюл. № 11/2006.

6. Семенов А.Н., Дакало Б.А. Новая форма лезвия плужного лемеха. Информационный листок. ХЦТИ. Харьков, 1972. 3 с.

7. Полунін М.В., Рибалко І.М., Тіхонов О.В. Дослідження способів відновлення плужних лемішів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Молодь і технічний прогрес в АПВ» 23-24 листопада 2023 року. Харків. ДБТУ. 2023. С. 433-437.

8. Полунін М.В., Рибалко І.М., Тіхонов О.В. Дослідження зносу багатозубчастих лемішів. Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування: матеріали VI Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конференції (Полтава, 21-22 грудня 2023 р.). Полтава. ПДАУ. 2023. С. 161-165.

9. Тіхонов О.В., Горшков М.В. Результати дослідження на зношування відновлених лемішів. Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17-19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2023. С. 283-285.

10. Полунін М.В., Рибалко І.М., Тіхонов О.В. Дослідження зносу багатозубчастих лемішів. Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування: матеріали VI Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конференції (Полтава, 21-22 грудня 2023 р.). Полтава. ПДАУ, 2023. С. 161-165.

11. Полунін М.В., Рибалко І.М., Тіхонов О.В. Плужний леміш з переривистим лезом. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 117-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 22-23 лют. 2024 р., м. Київ. МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. Видавничий центр НУБіП України, 2024. С. 317-320.

12. Полунін М.В., Рибалко І.М. Технологія постановки компенсуючих вставок на зношені плужні леміші. Збірка матеріалів XX-го Міжнародного форуму молоді «МОЛОДЬ І ІНДУСТРІЯ 4.0 В XXI СТОЛІТТІ». Харків: ДБТУ, 2024. С. 141.

## References

1. Chisholm T.S., Porterfield J.G., Batchelder D.G. (1972). A soil bin study of three-dimensional interference between flat plate tillage tools operating in an artificial soil. Trans. of ASAE. Vol. 15. N1. P. 43-48.

2. Diordiychuk V.V., Rybalko I.M., Tikhonov O.V. (2023). Research on ways to increase the durability of new ploughshares by surfacing barrier rollers. Materials of the International Scientific and Practical Conference "Youth and Technical Progress in APV" on November 23-24, 2023. Kharkiv: DBTU. P. 460-461.

3. Diordiychuk V.V., Rybalko I.M., Tikhonov O.V. (2024). Development of a method of strengthening plowshares by surfacing rollers. Proceedings of the 11th International Scientific and Technical Conference on the occasion of the 117th anniversary of the birthday

of Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Vice-President of the National Academy of Sciences of Ukraine Kramarov Volodymyr Savovych (1906-1987) "Kramarov's Readings", February 22-23, 2024. Kyiv, 2024. P. 354-357.

4. Diordiychuk V.V., Tikhonov O.V. (2024). Technology of strengthening plow blades with barrier rollers. Materials of the 20th International Youth Forum "YOUTH AND INDUSTRY 4.0 IN THE XXI CENTURY". Kharkiv: DBTU, 2024. P. 117.

5. Lemish: pat 18405 Ukraine (2006). IPC (2006) A01B 15/00. Savych V.B. u200603968, application 04/10/2006, publ. 15.11.2006, Bull. No. 11/2006.

6. Semenov A.N., Dakalo B.A. (1972). A new shape of the plowshare blade. Information sheet. Want to Kharkiv. 3p.

7. Polunin M.V., Rybalko I.M., Tikhonov O.V. (2023). Study of methods of restoration of plowshares. Materials of the International Scientific and Practical Conference "Youth and Technical Progress in APV" on November 23-24, 2023. Kharkiv: DBTU. P. 433-437.

8. Polunin M.V., Rybalko I.M., Tikhonov O.V. (2023). Research on the wear of multi-tooth plowshares. Problems and prospects of the development of agricultural machinery: materials of the VI All-Ukrainian. science and practice Internet conferences (Poltava, December 21-22, 2023). Poltava. PDAU, 2023. P. 161-165.

9. Tikhonov O.V., Gorshkov M.V. (2023). The results of the study on the wear of restored ploughshares. Collection of abstracts of reports of the XXIV International Scientific Conference "Modern Problems of Agricultural Mechanics" (October 17-19, 2023). MES of Ukraine, National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Kyiv. P. 283-285.

10. Polunin M.V., Rybalko I.M., Tikhonov O.V. (2023). Research on the wear of multi-tooth plowshares. Problems and prospects of the development of agricultural machinery: materials of the VI All-Ukrainian. science and practice Internet conferences (Poltava, December 21-22, 2023). Poltava. PDAU. 2023. P. 161-165.

11. Polunin M.V., Rybalko I.M., Tikhonov O.V. (2024). A ploughshare with an intermittent blade. Collection of abstracts of reports of the 11th International Scientific and Technical Conference "Kramarov Readings" on the occasion of the 117th anniversary of the birthday of Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-President of the National Academy of Sciences Kramarov Volodymyr Savovych (1906-1987) February 22-23. 2024, Kyiv / MES of Ukraine, National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Kyiv. Publishing center of NUBiP of Ukraine. P. 317-320.

12. Polunin M.V., Rybalko I.M. (2024). The technology of placing compensating inserts on worn plowshares. Collection of materials of the 20th International Youth Forum "Youth and Industry 4.0 in the XXI Century". Kharkiv. DBTU. P. 141.