

А. В. ЗАХАРОВ

аспірант кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів  
в машинобудуванні імені О. І. Сідашенка  
Державний біотехнологічний університет  
ORCID: 0000-0001-9894-7355

## ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ ПІД ЧАС ЇХ ВІДНОВЛЕННЯ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ

Запропоновано методику аналітичного розрахунку та прогнозування зносостійкості робочих органів ґрунтообробної техніки, що дозволяє на етапі їх відновлення за допомогою електрошлакового наплавлення оцінити ефективність використання різних матеріалів і технологій для подовження ресурсу. На основі даної методики проведено розрахунки ресурсу для лемішів, виготовлених зі сталі 30MnB5, з порівнянням показників зносостійкості та довговічності з іншими марками сталей, такими як 40XC, 65Г, і 40X. Зокрема, було визначено, що сталь 30MnB5 забезпечує підвищення зносостійкості на 1,4–1,5 рази в порівнянні з традиційними сталями 65Г і 40X, що використовуються для виготовлення робочих органів ґрунтообробної техніки. Методика дозволяє проводити прогнозування на основі лабораторних та польових випробувань та врахування механічних характеристик матеріалів і абразивних властивостей ґрунтів, що забезпечує об'єктивну оцінку зносостійкості в польових умовах. Використання представленої методики сприяє оптимальному вибору матеріалів для виготовлення та відновлення робочих органів, що дозволяє суттєво знизити витрати на їх обслуговування та подовжити термін експлуатації техніки. Крім того, розроблена методика дозволяє враховувати широкий спектр експлуатаційних умов, що забезпечує можливість оптимального використання ресурсів і підвищення ефективності роботи сільськогосподарської техніки. Зокрема, використання сталі 30MnB5 дозволяє суттєво зменшити витрати на ремонт і технічне обслуговування завдяки збільшенню ресурсу робочих органів, що, своєю чергою, підвищує загальну продуктивність господарства. Врахування особливостей зношування різних матеріалів та можливість моделювання процесу в різних умовах сприяє гнучкому підходу до вибору матеріалів та технологій відновлення, що є важливим аспектом в умовах економічної нестабільності та зростання вартості матеріалів. Це забезпечує довгострокову ефективність та надійність роботи техніки, що є критично важливим для забезпечення стабільного виробництва сільськогосподарської продукції.

**Ключові слова:** обробіток ґрунту, робочі органи, леміш плуга, виготовлення, наплавлення, зносостійкість, ресурс, прогнозування.

A. V. ZAKHAROV

Postgraduate Student at the Department of Service Engineering and Materials Technology in Mechanical Engineering  
named after O. I. Sidashenko  
State Biotechnological University  
ORCID: 0000-0001-9894-7355

## PREDICTION OF WEAR RESISTANCE OF WORKING BODIES OF TILLAGE EQUIPMENT DURING THEIR RESTORATION BY ELECTROSLAG SURFACING

The paper proposes a methodology for analytical calculation and prediction of wear resistance of tillage equipment working bodies, which allows to evaluate the effectiveness of using various materials and technologies to extend the service life at the stage of their restoration by means of electroslag surfacing. Based on this methodology, we calculated the service life of ploughshares made of 30MnB5 steel and compared their wear resistance and durability with other steel grades, such as 40KhS, 65G, and 40X. In particular, it was determined that 30MnB5 steel provides a 1.4-1.5 times higher wear resistance compared to traditional 65G and 40X steels used to manufacture tillage tools. The methodology allows forecasting based on laboratory and field tests and taking into account the mechanical characteristics of materials and abrasive properties of soils, which provides an objective assessment of wear resistance in the field. The use of the presented methodology contributes to the optimal selection of materials for the manufacture and restoration of working bodies, which can significantly reduce the cost of their maintenance and extend the service life of the equipment. In addition, the developed methodology allows taking into account a wide range of operating conditions, which ensures the optimal use of resources and increases the efficiency of agricultural machinery. In particular, the use of 30MnB5 steel can significantly reduce repair and maintenance costs by increasing the service life of working bodies, which in turn increases the overall productivity of the farm. Taking into account the wear characteristics of different materials and the ability to model the process in different conditions allows for a flexible approach to the selection of materials and restoration technologies, which is an important aspect in the face of economic instability and rising material costs. This ensures the long-term efficiency and reliability of the equipment, which is critical to ensuring sustainable agricultural production.

**Key words:** soil cultivation, working tools, ploughshare, manufacturing, surfacing, wear resistance, service life, forecasting.

### Вступ

Ефективність сільськогосподарського виробництва багато в чому залежить від його технічної оснащеності якісною сільськогосподарською технікою. Витрати на ремонт і технічне обслуговування в структурі собівартості сільськогосподарської продукції сягають 15 і більше відсотків [1]. Особливо інтенсивно зношуються робочі органи ґрунтообробних агрегатів. Наприклад, ресурс лемішів, залежно від ґрунтово-кліматичних умов, не перевищує 10...25 га, а культиваторних стрілочастих лап не більше 70 га [5-7].

### Постановка проблеми

Проблема, що розглядається у цій статті, пов'язана з підвищенням зношуванням робочих органів ґрунтообробної техніки, що значно впливає на ефективність сільськогосподарського виробництва. В умовах підвищених витрат на ремонт і технічне обслуговування виникає необхідність розробки ефективних технологій відновлення робочих органів, які дозволять подовжити їх ресурс і знизити витрати на експлуатацію. Особливу увагу приділено можливості використання електрошлакового наплавлення для відновлення робочих органів, а також аналізу ефективності різних матеріалів і технологій, які використовуються для цього процесу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** свідчить про активний розвиток методів підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробної техніки. Зокрема, значна увага приділяється технологіям наплавлення, які дозволяють відновлювати та зміцнювати деталі, що зазнають інтенсивного зношування під час експлуатації.

Використання електрошлакового наплавлення (ЕШН) є одним із перспективних напрямів у цій галузі. Дослідження Патона Б.Є. та Медовара Л.Б. (2003) розглядають нові електрошлакові технології та матеріали, що сприяють підвищенню ефективності процесу наплавлення.

Герасимов В.Н. та ін. (1979) досліджували залежність електричних параметрів від режиму при багатоелектродному електрошлаковому напавленні, що дозволяє оптимізувати процес для досягнення кращих результатів.

Каленський В.К. (1985) аналізував ефективність антикорозійного наплавлення електродними стрічками, що є важливим аспектом для підвищення довговічності робочих органів.

Кальянов В.Н. та Петренко А.Н. (2004) досліджували зносостійкість напавленого металу з підвищеною частотою карбідів титану, що дозволяє значно покращити експлуатаційні характеристики деталей.

Цикуленко А.К. (2007) розглядав аспекти формування напавленого шару при порційному електрошлаковому напавленні із застосуванням рідкого присадного металу, що впливає на якість та властивості отриманого покриття.

Лівшиць Л.С. (1991) досліджував напавні матеріали та технології наплавлення для підвищення зносостійкості та відновлення деталей машин, що є актуальним для підтримання працездатності техніки.

Сорокін Г.М. (2005) пропонував методи вибору зносостійких напавних сплавів, що дозволяє оптимально підбирати матеріали для конкретних умов експлуатації.

Кусков Ю.М. та Рябцев І.А. (2006) розглядали електрошлакове наплавлення в струмопідвідному кристалізаторі як ефективний спосіб виготовлення та відновлення деталей.

Соколов Г.Н. та ін. (2004) досліджували особливості процесу ЕШН композиційним стрижнем у малогабаритному секційному кристалізаторі, що дозволяє покращити якість напавленого шару.

Походня І.К. (1998) аналізував стан і проблеми металургії зварювання, що є основою для розвитку нових технологій наплавлення.

Мазель Ю.А. та ін. (1999) пропонували класифікацію сплавів на основі заліза для відновлювальної та зміцнюючої наплавки, що сприяє правильному вибору матеріалів для конкретних завдань. Попов С.Н. та Антонюк А.Д. (2009) оптимізували зносостійкий напавний сплав системи Fe-C-Ti-B для умов зношування закріпленим абразивом, що дозволяє підвищити ефективність роботи деталей.

Таким чином, сучасні дослідження спрямовані на вдосконалення технологій наплавлення та вибір оптимальних матеріалів для підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробної техніки, що є ключовим фактором для забезпечення їх довговічності та ефективності.

**Мета і завдання дослідження** – розробка алгоритму прогнозування ресурсу робочих органів ґрунтообробних агрегатів та оцінки ефективності пропонуваніх рішень на стадії їх відновлення.

### Матеріал і методи

Під час аналізу основних проблем у розробленні сільськогосподарських машин В.П. Горячкін зазначав, що їхній розрахунок «має бути побудований своєрідно, а саме на зношуванні їх» [2-3]. Дуже важливо ще на стадії проектування робочих органів мати можливість оцінки ефективності прийнятих рішень (конструкційних, технологічних, матеріалознавчих та ін.) за основним показником – ресурсом.

Нині довговічність деталей, що зношуються, оцінюють двома шляхами:

1) статистичним – визначення ресурсу деталей за результатами опрацювання статистичних даних про їхнє зношування в реальних умовах експлуатації;

2) аналітичним – визначення швидкостей зношування деталей за відомих: навантажень, зносостійкості матеріалу, зношувальної здатності ґрунтів.

Перший метод дає змогу досить точно визначати ресурс виробу в конкретних умовах експлуатації. Однак для отримання інформації необхідні тривалі випробування дослідних зразків.

Перевага другого методу полягає в тому, що можна заздалегідь прогнозувати ресурс робочого органу, виходячи з відомих зовнішніх факторів і механічних характеристик матеріалів деталей, визначених у лабораторних умовах. Недолік цього методу полягає в тому, що його точність нижча за перший, оскільки в лабораторних умовах практично нереально врахувати всі фактори, що впливають на знос в умовах експлуатації. Водночас загалом він дає доволі об'єктивну оцінку і його можна активно використовувати під час вибору варіанта прийнятого рішення [4-6].

Свої рекомендації щодо аналітичної оцінки процесу зношування висловлювали багато вітчизняних та закордонних вчених. На жаль, усі вони мають ті чи інші недоліки і їхнє практичне використання ускладнене [8-12].

Інтенсивність руйнування поверхневого шару матеріалу деталей залежить від безлічі факторів, комплексно пов'язаних між собою. Це, насамперед, відносна зносостійкість матеріалу деталей, тиск, кількість і абразивність твердих частинок, що беруть участь у процесі зношування. Усі ці чинники мають імовірнісний характер і є функціями інших показників. Так, тиск залежить від твердості ґрунту, конструктивних параметрів робочих органів, швидкості їхнього руху під час обробітку ґрунту. Відносна зносостійкість матеріалів і зношувальна здатність абразиву, своєю чергою, залежать від тиску. Про це свідчать дані, наведені в таблиці 1 [4-5,13].

Таблиця 1

**Інтенсивність абразивного зношування різних матеріалів залежно від тиску абразиву**

Марка матеріалу	Абразив	Тиск, МПа	Інтенсивність зношування, W, г/год	Відносна зносостійкість
Сталь45 HRB 90 Еталон	Просіяний кварцовий пісок	0,08	0,0070	1,00
		0,16	0,0190	1,00
		0,33	0,0460	1,00
		0,40	0,0750	1,00
Сталь Х12HRC60	Просіяний кварцовий пісок	0,08	0,0030	2,30
		0,16	0,0060	3,10
		0,33	0,0131	3,50
		0,49	0,0187	4,02
Сталь 65ГHRC52	Просіяний кварцовий пісок	0,08	0,0050	1,40
		0,16	0,0120	1,58
		0,33	0,0240	1,92
		0,49	0,0360	2,08
Сталь 40ХHRC55	Просіяний кварцовий пісок	0,08	0,0040	1,75
		0,16	0,0070	2,52
		0,33	0,0170	2,70
		0,49	0,0250	3,00

Для визначення динаміки зношування матеріалу введемо поняття зношування еталонного зразка матеріалу еталонним абразивом в еталонних умовах. Візьмемо як еталонний абразив просіяний кварцовий пісок з відносною вологістю 1%, відносну зношувальну здатність якого приймемо  $m_{ет} = 1$ . Як еталонний матеріал візьмемо зразок зі 30MnB5 у стані постачання твердістю HRB 87, відносну зносостійкість якого візьмемо  $\epsilon_{ет} = 1$ .

За еталонну умову зношування приймемо: тиск абразиву на поверхню, що зношується,  $p_{ет} = 0,1$  МПа; швидкість абразиву частинок відносно зразка  $v_{відн.ет} = 1$  км/год; поверхня тертя зразка  $S_{ет} = 1$  см<sup>2</sup>; час зношування  $t_{ет} = 1$  год.

Оскільки знос пропорційний до зношувальної здатності абразиву (ґрунту), тиску, шляху тертя, площі тертя і обернено пропорційний відносно зносостійкості зразка (матеріалу), то знос цього зразка у ваговому вимірі становитиме [6]

$$W_{ет} = K \frac{m_{ет}}{\epsilon_{ет}} p_{ет} \cdot v_{відн.ет} \cdot S_{ет} \cdot t_{ет} \tag{1}$$

Знаючи фактичний знос еталонного матеріалу еталонних умовах, можна визначити еталонний коефіцієнт пропорційності

$$K_{ет} = \frac{W_{ет} \cdot \mu_{ет}}{m_{ет} \cdot p_{ет} \cdot v_{ет} \cdot S_{ет} \cdot t_{ет}} \tag{2}$$

Знос будь-якого іншого матеріалу в інших умовах може бути визначений за наступним виразом [7]

$$W_p = K_{em} \frac{m_{em} \cdot \eta_1}{\mu_{em} \cdot \eta_2} \cdot p, \text{ г / год.} \tag{3}$$

За відомого граничного зносу робочого органу можна визначити його довговічність за такою залежністю [8]

$$T = \frac{\Delta h_{et} \cdot \mu_{et} \cdot \eta_1 \cdot A \cdot a}{K_{et} \cdot m_{et} \cdot \eta_2 \cdot p \cdot v_0}, \text{ га} \tag{4}$$

де  $\Delta h_{et}$  – граничний знос робочого органу на ділянці, що зношується найбільше, мм;  $\epsilon_{et}$  – відносна зносостійкість матеріалу, з якого виготовлений робочий орган, за тиску  $p_{et} = 0,1$  МПа;  $m_{et}$  – відносна зношувальна здатність ґрунту за механічним складом приеталонному 0,1 МПа тиску абразиву;  $p$  – тиск ґрунту (абразиву) на найбільш зношуваний ділянці робочого органу, МПа;  $\eta_1$  – поправочний коефіцієнт до зношувальної здатності ґрунту залежно від тиску;  $\eta_2$  – поправочний коефіцієнтна зміну відносної зносостійкості матеріалу залежно від тиску;  $v_0$  – відносна швидкість руху частинок по поверхні робочого органу;  $A$  – продуктивність робочого органу, га/год;  $K_{et}$  – еталонний коефіцієнт пропорційності;  $a$  – коефіцієнт, що враховує зміну товщини носової та лезової частин леміша та стрілкової лапи під час їх зміцнення. У разі товщини носової лезової частин, що дорівнює 9 мм,  $a = 1$ . За товщини носової частини, збільшеної на 3 мм,  $a = 1,3$  на 4 мм –  $a = 1,4$  і т.д. Відповідно за середньої товщині лезової частини, зменшеної на 1 мм,  $a = 0,9$ , на 2 мм,  $a = 0,8$  тощо.

Відносна зносостійкість матеріалів за еталонного тиску абразиву  $p_{et} = 0,1$  МПа визначається за емпіричними рівняннями [9-14]:

для сталі

$$\epsilon_{et} = 0,8(0,25x_1 + 0,09x_2 + 0,64x_3 + 0,12x_4 - 3,62); \tag{5}$$

для наплавов

$$\epsilon_{et} = 0,8(0,021x_1 + 0,0031x_2 + 0,4x_3 + 0,24x_4 + 0,21x_5 + 0,082x_6 + 0,7x_7 - 7,54), \tag{6}$$

де  $x_1$  – вміст вуглецю, %;  $x_2$  – вміст хрому, %;  $x_3$  – вміст вольфраму, %;  $x_5$  – вміст бору, %;  $x_6$  – вміст молібдену, %;  $x_7$  – вміст титану, %;  $x_4$  – твердість в одиницях HRC.

Відносна зносостійкість матеріалу при тиску абразиву  $p_i$  визначається за виразом:

$$\epsilon_p = \epsilon_{et} \cdot \eta_2 \tag{7}$$

Відносну зношувальну здатність ґрунтів за еталонного тиску представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

**Відносна зношувальна здатність ґрунтів за фракційним складом [11]  
(еталон – просіяний кварцовий пісок, тиск 0,1 МПа)**

Тип ґрунту	Середній вміст, %		Відносна зношувальна здатність, m
	пісок	глина	
Піщаний	95	5	0,87
Супіщаний	85	15	0,62
Суглинистий(легкий)	75	25	0,42
Суглинистий(середній)	65	35	0,32
Суглинистий(важкий)	50	50	0,22
Глинистий(легкий)	35	65	0,15
Глинистий(середній)	25	75	0,10
Глинистий(важкий)	10	90	0,06
Кварцові частинки	-	-	1,0

Поправочний коефіцієнт  $\eta_2$  пропонується визначати за формулою [12]:

$$\eta_2 = 1,75p_i + 0,825 \tag{8}$$

За тиску абразиву  $p_i$  відносна зношувальна здатність ґрунтів визначається за формулою:

$$m_p = m_{et} \cdot \eta_1 \tag{9}$$

Поправочний коефіцієнт  $\eta_1$  пропонується визначати за формулою:

$$\eta_1 = 9,5p_i + 0,04 \tag{10}$$

Практично всі робочі органи ґрунтообробних агрегатів мають форму клина. Відносна швидкість переміщення частинок  $v_{відн.}$  для робочого органу, що має таку форму, дорівнює

$$v_{відн.} = \frac{v_n}{\cos \gamma \cdot \cos \alpha} = \frac{v_n}{\chi} \quad (11)$$

де  $v_n$  – поступальна швидкість руху робочого ґрунтообробного органу, км/год;  $\gamma$  – кут установки робочої поверхні робочого органу за напрямком руху, град.;  $\alpha$  – кут нахилу робочої поверхні клина до горизонту в площині, перпендикулярній ріжучій кромці, град.;  $\chi = \cos \gamma \cdot \cos \alpha$  – відношення поступальної швидкості робочого органу до швидкості переміщення пласта ґрунту по робочій поверхні.

Продуктивність робочого органу визначається за наступним виразом [13]:

$$A = \frac{b \cdot v_n}{10}, \text{га / год.} \quad (12)$$

де  $b$  – ширина захвату робочого органу, м.

### Отримані результати дослідження

Розглянуто ефективність відновлення дослідного зразка леміша плуга (рис. 1) з листової сталі марки: 30МпВ5 [4]. Розрахунки проведено для оранки чорнозему звичайного, для якого  $m_{ст} = 0,57$  (табл. 2).

Твердість ґрунту прийнята  $B_f = 4,0$  МПа. Швидкість оранки становить – 7-9 км/год. Товщина носової частини леміша  $a = 10$  мм. Середня товщина лезової частини – 8 мм. Вибракувальні параметри леміша:  $\Delta H = H - H_{np}$  – граничний знос за висотою носка, мм.  $\Delta h = h - h_{np}$  – граничний знос за шириною лезової частини.

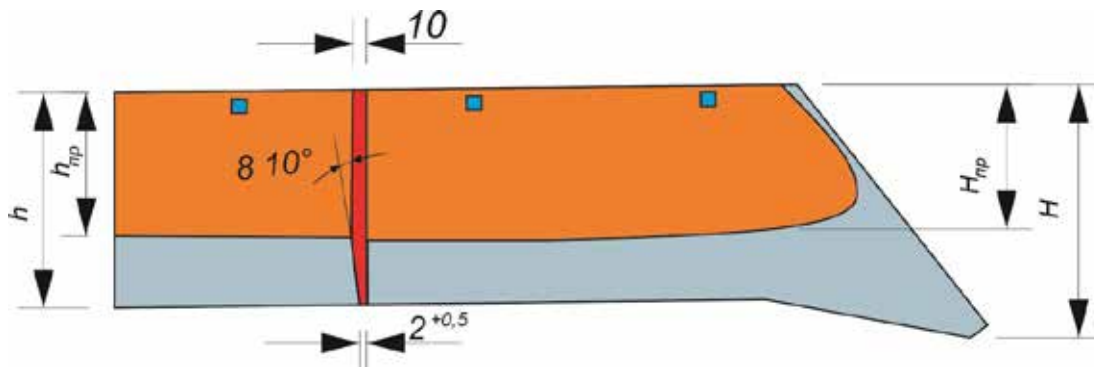


Рис. 1. Конструктивні та выбракувальні параметри леміша

Для дослідного леміша прийнято такі розміри:  $H = 155$  мм;  $H_{np} = 90$  мм;  $h = 130$  мм;  $h_{np} = 90$  мм.

Однією з найважливіших вимог під час вибору марки сталі та модифікуючої домішки для відновлення лемішів та стрілочастих культиваторних лап є значення ударної в'язкості, якою повинен володіти метал, що наплавляється на робочу поверхню такої деталі. Його значення має бути не менше ніж 35 Дж/см<sup>2</sup>.

Цього можна домогтися певними режимами термообробки.

На рисунку 2 представлено зміни основних характеристик сталі: тимчасового опору на розрив  $\sigma_b$ , твердості HRC та ударної в'язкості KCU залежно від температури відпуску.

За такого значення твердості відповідно з рівнянням 5 відносна зносостійкість кожної марки сталі за умов сталонного тиску становитиме: 30МпВ5 –  $\epsilon_{ст} = 1,51$ .

Максимальні тиски, що діють на носку  $p_n$  і лезовій частині рл леміша, визначаються за емпіричними залежностями [15]: Зносостійкий наплавлений метал системи С-Сг-Fe

$$p_n = 0,072 \dots 0,14(1+0,031_n)(1+0,01\beta)(3,7+B1,4), \text{МПа,} \quad (13)$$

$$p_l = 0,03 \dots 0,042(1+0,031_n)(1+0,01\beta)(3,7+B1,4), \text{МПа,} \quad (14)$$

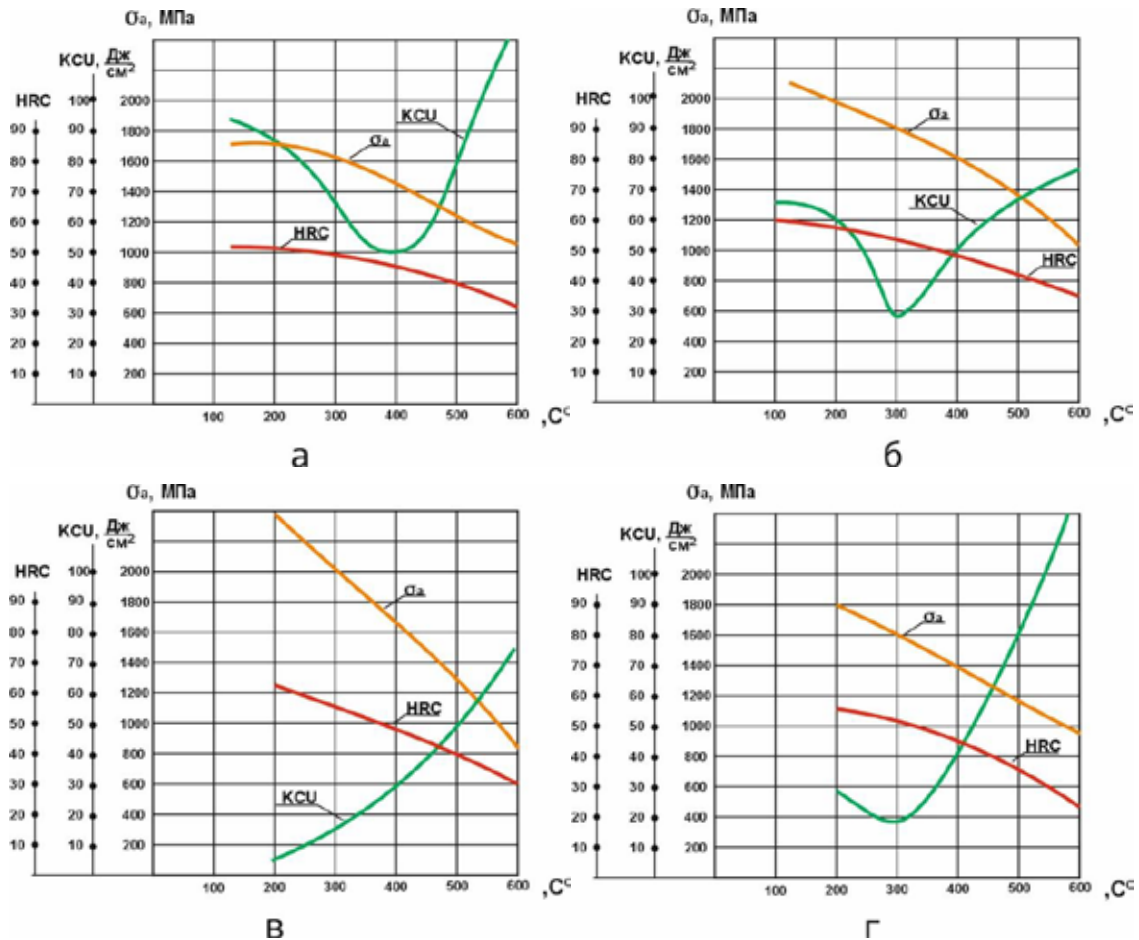
де  $v_n$  – поступальна швидкість робочих органів під час оранки, км/год;  $\beta$  – кут нахилу леміша до дна борозни, град.;  $B$  – твердість ґрунту, МПа;  $p_n$  – тиск на носовій частині леміша, МПа;  $p_l$  – тиск на лезовій частині, МПа.

Розрахунок довговічності леміша (табл. 3) показує, що вона визначається насамперед довговічністю його носової частини.

### Результати та обговорення

Як приклад розглянуто ефективність виготовлення дослідного зразка леміша плуга (рис. 1) з листової сталі марки: 30МпВ5 [4]. Розрахунки проведено для оранки суглинистого легкого ґрунту, для якого  $m_{ст} = 0,42$  (таблиця 2). Твердість ґрунту прийнята  $B_f = 3,0$  МПа. Швидкість оранки – 8 км/год. Товщина носової частини леміша  $a = 10$  мм. Середня товщина лезової частини – 9 мм. Вибракувальні параметри леміша:  $\Delta H = H - H_{np}$  – граничний знос за висотою носка, мм.  $\Delta h = h - h_{np}$  – граничний знос за шириною лезової частини.

Для дослідного леміша прийнято такі розміри:  $H = 155 \text{ мм}$ ;  $H_{np} = 90 \text{ мм}$ ;  $h = 130 \text{ мм}$ ;  $h_{np} = 90 \text{ мм}$ . Однією з найважливіших вимог під час вибору марки сталі для виготовлення леміша є значення ударної в'язкості, яку повинна мати сталь. Її значення має бути не менше  $30 \text{ Дж/см}^2$ . Цього можна домогтися певними режимами термообробки. На рисунку 2 представлено зміни основних характеристик сталі: тимчасового опору на розрив  $\sigma_b$ , твердості HRC і ударної в'язкості KCU залежно від температури відпуску. Як видно з графіків, за зазначених режимів термообробки та ударної в'язкості не менше  $30 \text{ Дж/см}^2$  максимальне значення твердості становитиме: у сталі 30MnB5 – HRC50.



**Рис. 2. Зміна основних характеристик сталей залежно від температури відпуску після загартування:**  
**а – сталь 30XГСА (гарт  $880^\circ\text{C}$ , відпустка  $200^\circ\text{C}$ ); б – сталь 40XC (гарт  $900^\circ\text{C}$ , відпустка  $150^\circ\text{C}$ );**  
**в – сталь 65Г (гарт  $830^\circ\text{C}$ , відпустка  $400^\circ\text{C}$ ); г – сталь 40X (гарт  $850^\circ\text{C}$ , відпустка  $370^\circ\text{C}$ )**

Розрахунок довговічності леміша з різних марок сталей (табл. 3) показує, що вона визначається насамперед довговічністю його носової частини. Ресурс носової частини леміша товщиною 10 мм зі сталей 40X і 65Г на чорноземі звичайному за твердості 3,0 МПа становитиме 10,6 га, за твердості 1,0 МПа – 23,2 га. Ресурс леміша зі сталі 40XC на такому ж ґрунті становитиме відповідно 16,9 і 55,0 га. Таким чином, заміна сталей 30MnB5 для виготовлення леміша на сталь 40XC дасть змогу підвищити його ресурс приблизно в 1,5 рази. Однак сталі, що мають високі механічні властивості, мають і більш високі ціни [16].

У зв'язку з тим, що ціни на матеріали нестабільні й залежать від багатьох факторів, у розрахунках ефективності доцільно оперувати не конкретними, а відносними величинами цін. Як еталон, так само як при характеристиці зносостійкості, прийнято листовий прокат сталі 45 товщиною 8...12 мм. Відносна ціна цього прокату прийнята за одиницю. Як критерій вибору оптимальної марки сталі використовували вираз [15-17]:

$$C_u = \frac{OC}{\varepsilon} \rightarrow \min, \tag{15}$$

де  $C_u$  – вартісна оцінка зносостійкості;  $OC = \frac{C}{C_{em}}$  – відносна ціна сталі;  $C$  – ціна тієї чи іншої марки сталі, руб.;  $C_{em}$  – ціна еталонної сталі, грн.;  $\varepsilon$  – відносна зносостійкість сталі.

Таблиця 3

Розрахункова довговічність леміша на чорноземі звичайному,  $m=0,42$ 

Марка сталі і ділянка леміша	Довговічність, га за твердості ґрунту	
	3МПа	1МПа
<b>30MnB5</b>		
Носова частина	12,7	29,1
Лезвійна частина	25,67	77,9
<b>40X</b>		
Носова частина	10,6	23,2
Лезвійна частина	24,52	69,6
<b>30XГСА</b>		
Носова частина	11,8	25,7
Лезвійна частина	27,0	109,8
<b>65Г</b>		
Носова частина	10,6	23,2
Лезвійна частина	24,5	99,4
<b>40XC</b>		
Носова частина	16,9	36,7
Лезвійна частина	38,6	156,3

Розрахунки показують (табл. 4), що найприйнятнішими для виготовлення леміша марками сталей є (у порядку убутання ефективності вартісної оцінки зносостійкості) є: 30MnB5. Із розрахунків також видно, що коефіцієнти рівності частин лемішів КР, що дорівнюють відношенню довговічності ділянки, яка найбільш зношується, – носової частини Т1 до довговічності ділянки, яка найменш зношується, – лезової частини Т2, перебувають у межах від 0,20 до 0,30 залежно від твердості ґрунтів,  $K_p = \frac{T_1}{T_2}$ . Це означає, що в разі зносу носової частини леміш вибра-

ковується з досить високим залишковим ресурсом лезової частини. Для виключення цієї обставини необхідно або підвищувати ресурс носової частини до ресурсу лезової частини, забезпечуючи значення коефіцієнта рівності частин, близьке до одиниці, або виготовляти леміш із двох частин, долота та власне леміша, щоб у разі зношування долота замінювати тільки його, а леміш продовжувати використовувати до повного зношування. Саме така конструкція леміша застосовується в зарубіжних плугах.

Таблиця 4

## Відносні характеристики сталей

Марка сталі	Мінімальна температура відпуску, °С	Ударна в'язкість, КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	Твердість, HRC	Відносна зносостійкість при еталонному тиску	Відносна ціна, ОЦ	Вартісна оцінка зносостійкості, ОЦ/г
30MnB5	370	30	48	1,33	1,35	1,01
65Г	400	30	48	1,33	1,40	1,05
40X	370	30	48	1,33	1,35	1,01
30XГСА	200	90	50	1,47	1,90	1,29
40XC	150	62	58	2,10	2,10	1,00

Ресурс носової частини леміша можна підвищити різними варіантами: 1) наплавленням на зворотний бік сплаву ФБХ-6-2; 2) наплавленням на зворотний бік металокерамічної пластини ВК-20; 3) приварюванням на зворотний бік пластини зі сталі Х12; 4) приварюванням на лицьовий бік носової частини пластини завтовшки 3...5 мм з того самого матеріалу, що і сам леміш, плюс один з перших варіантів. Також перспективним є варіант приварювання спеціальних металевих біметалевих вставок отриманих за допомогою електрошлакового наплавлення у спеціально підготовлені вікна на самому леміші. Як показують розрахунки, ресурс леміша, виготовленого зі сталі 40XC і зміцненого сплавом ФБХ-6-2, становитиме 31 га, металокерамікою ВК – 40 га (за твердості ґрунту 3 МПа). За таким самим принципом було виготовлено дослідну партію лемішів для плуга фірми «Велес-Агро Одеса» зі сталі 40X (рис. 3) зі зміцненням пластини зі сталі Х12. Випробування на полях Харківської області засвідчили, що їхній ресурс склав більше ніж 50 га та є співставним із ресурсом фірмових. У разі виготовлення цих лемішів зі сталі 40XC їхній ресурс підвищився б додатково не менше ніж на 40%.

## Висновки

1. Представлена методика прогнозування ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин з достатньою для практичних цілей точністю дає змогу обґрунтувати вибір необхідних матеріалів і технологій їх виготовлення та зміцнення. 2. Для виготовлення робочих органів ґрунтообробних машин у нашій країні застосовують сталі 65Г і 40X (леміші, стрілочасті лапи культиваторів, диски дискових борін, луцильників тощо). Заміна цих сталей на сталь 30MnB5 забезпечить підвищення їх зносостійкості в 1,4...1,5 рази.

## Список використаної літератури

1. Патон Б. Є., Медовар Л. Б. Нові електрошлакові технології та матеріали. Автоматичне зварювання. № 10. 2003. С. 188-193.
2. Герасимов В. Н., Меліков В. В., Якимов А. В. Залежність електричних параметрів від режиму при багатоелектродному електрошлаковому наплавленні. Автоматичне зварювання. № 11. 1979. С. 37-38.
3. Каленський В. К. Про ефективність антикорозійного наплавлення електродними стрічками. Наплавлення. Досвід та ефективність застосування: Зб. наук. праць. Київ: ІЕЗ ім. Е. О. Патона НАНУ, 1985. С. 35-40.
4. Кальянов В. Н., Петренко А. Н. Зносостійкість наплавленого металу з підвищеною часткою карбідів титану. Автоматичне зварювання. № 12. 2004. С. 59-60.
5. Цикуленко А. К. Деякі аспекти формування наплавленого шару при порційному електрошлаковому наплавленні із застосуванням рідкого присадного металу. Сучасна електрометалургія. № 2. 2007. С. 7-11.
6. Лівшиць Л. С. Наплавні матеріали та технологія наплавлення для підвищення зносостійкості та відновлення деталей машин. Зварювальне виробництво. № 1. 1991. С. 15-17.
7. Сорокін Г. М. Методи вибору зносостійких наплавних сплавів. Вісник машинобудування. № 4. 2005. С. 25-29.
8. Кусков Ю. М., Рябцев І. А. Електрошлакова наплавка в струмопідвідному кристалізаторі: ефективний спосіб виготовлення та відновлення деталей. Зварювальник. № 3. 2006. С. 18-20.
9. Соколов Г. Н., Зорін І. В., Цуріхін С. Н., Лисак В. І. Особливості процесу ЕШН композиційним стрижнем у малабаритному секційному кристалізаторі. Автоматичне зварювання. № 10. 2004. С. 26-30.
10. Походня І. К. Металургія зварювання, стан і проблеми. Зварювання та споріднені технології у ХХІ столітті: Зб. наук. тр. міжнар. наук. техн. конф. Київ: ІЕЗ ім. Е. О. Патона, 1998. С. 227-245.
11. Мазель Ю. А., Кусков Ю. В., Поліщук Г. М. Класифікація сплавів на основі заліза для відновлювальної та зміцнюючої наплавки. Зварювальне виробництво. № 4. 1999. С. 35-38.
12. Jardy J., Ablitzer D., Wadier J. F. Magneto hydrodynamic і термальний behavior electrosлаг remelting slags. MetalTrans. В. 22(В). 1991. P. 111-120.
13. Popov S. N., Antonuk A. D. Оптимізація зносостійкого наплавного сплаву системи Fe-C-Ti-B для умов зношування закріпленим абразивом. Нові матеріали та технології в металургії та машинобудуванні. № 1. 2009. С. 93-99.
14. Захаров А.В. Вплив показників характеристики ґрунтів на причини виходу зі строю робочих органів ґрунтообробних сільськогосподарських агрегатів. Modern challenges as an impetus for technical innovations (October 3–4, 2024, Riga, the Republic of Latvia): International scientific conference. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2024. С. 26-31.
15. Scott L., Andreini R. Electrosлаг processes cladsshipshafts. Welding Journal. № 11. 2003. P. 41-42.
16. Рибалко І.М., Захаров А.В. Вплив неметалевих включень на якість наплавленого електрошлакового металу. ХХ-й Міжнародний форум молоді «МОЛОДЬ І ІНДУСТРІЯ 4.0 В ХХІ СТОЛІТТІ». Збірка матеріалів форуму. Харків: ДБТУ. 2024. С. 96.
17. Рибалко І.М., Захаров А.В. Здійснення процесу ЕШН на деталі малої товщини з додаванням модифікуючого матеріалу та використанням неплавкого графітового електроду. XIV Всеукраїнська конференція «Молоді вчені 2024 – від теорії до практики» 21 березня 2024 р., Інститут промислових та бізнес-технологій УДУНТ, м. Дніпро (Україна). С. 30-35.

## References

1. Paton B.Ye., Medovar L.B. (2003) Novi elektroslakovi tekhnolohii ta materialy [New electrosлаг technologies and materials]. Avtomatychnе zvaryuvannya, (10), 188-193. [in Ukrainian].
2. Herasymov V.N., Melikov V.V., Yakymov A.V. (1979) Zalezhnosti elektrychnykh parametriv vid rezhymu pry bahatoelektroodnomu elektroslakovomu naplavlenni [Dependence of electrical parameters on the mode of multi-electrode electrosлаг surfacing]. Avtomatychnе zvaryuvannya, (11), 37-38. [in Ukrainian].
3. Kalenskyi V.K. (1985) Pro efektyvnist antykorozijnoho naplavlennya elektrodrukhamy [On the effectiveness of anticorrosive surfacing with electrode ribbons]. Naplavlennya. Dosvid ta efektyvnist zastosuvannya: Zb. nauk. prats. Kyiv: IEZ im. E. O. Patona NANU, 35-40. [in Ukrainian].
4. Kal'yanov V.N., Petrenko A.N. (2004) Znosostiikist naplavlenoho metalu z pidvyshchenoyu chastkoyu karbidiv tytanu [Wear resistance of surfaced metal with increased titanium carbide content]. Avtomatychnе zvaryuvannya, (12), 59-60. [in Ukrainian].
5. Tsykulenko A.K. (2007) Deyaki aspekty formuvannya naplavlenoho sharu pry portsijnomu elektroslakovomu naplavlenni iz zastosuvannyam rikdkoho prysadnoho metalu [Some aspects of forming the surfaced layer with portion electrosлаг surfacing using liquid filler metal]. Suchasna elektrometalurhiya, (2), 7-11. [in Ukrainian].



6. Livshyts L.S. (1991) Naplavni materialy ta tekhnolohiya naplavlennya dlya pidvyshchennya znosostiikosti ta vidnovlennya detalei mashyn [Surfacing materials and surfacing technology for improving wear resistance and restoration of machine parts]. Zvaryuvalne vyrobnytstvo, (1), 15-17. [in Ukrainian].
7. Sorokin H.M. (2005) Metody vyboru znosostiikykh naplavnykh splaviv [Methods for choosing wear-resistant surfacing alloys]. Visnyk mashynobuduvannya, (4), 25-29. [in Ukrainian].
8. Kuskov Yu.M., Ryabtsev I.A. (2006) Elektrolakova naplavka v strumopidvidnomu krystalizatori: efektyvnyi sposib vyhotovlennya ta vidnovlennya detalei [Electroslag surfacing in a conductive crystallizer: an effective method for manufacturing and restoring parts]. Zvaryuvalnyk, (3), 18-20. [in Ukrainian].
9. Sokolov H.N., Zorin I.V., Tsurikhin S.N., Lysak V.I. (2004) Osoblyvosti protsesu ESHN kompozytsiynym stryzhnem u maloha barytnomu sektsiinomu krystalizatori [Features of the ESHN process with a composite rod in a small sectional crystallizer]. Avtomatychno zvaryuvannya, (10), 26-30. [in Ukrainian].
10. Pokhodnia I.K. (1998) Metalurhiya zvaryuvannya, stan i problemy [Welding metallurgy, state and problems]. Zvaryuvannya ta sporidneni tekhnolohii u XXI stolitti: Zb. nauk. tr. mizhnar. nauk. tekhn. konf. Kyiv: IEZ im. E. O. Patona, 227-245. [in Ukrainian].
11. Mazel Yu.A., Kuskov Yu.V., Polishchuk H.M. (1999) Klasyfikatsiya splaviv na osnovi zaliza dlya vidnovlyuvalnoi ta zmitsniuyuchoi naplavky [Classification of iron-based alloys for restorative and strengthening surfacing]. Zvaryuvalne vyrobnytstvo, (4), 35-38. [in Ukrainian].
12. Jardy J., Ablitzer D., Wadier J.F. (1991) Magnetogydrodynamic i termalniyi behavior elektrolakremelting slags. MetalTrans. B, 22(B), 111-120.
13. Popov S.N., Antonuk A.D. (2009) Optyimizatsiya znosostiikoho naplavnoho splavu systemy Fe-C-Ti-B dlya umov znoshuvannya zakriplenym abrazivom [Optimization of wear-resistant surfacing alloy of the Fe-C-Ti-B system for conditions of wear by fixed abrasive]. Novi materialy ta tekhnolohii v metalurhii ta mashynobuduvanni, (1), 93-99. [in Ukrainian].
14. Zakharov A.V. (2024) Influence of soil characteristics on the causes of failure of working bodies of tillage agricultural units. Modern challenges as an impetus for technical innovations (October 3-4, 2024. Riga, the Republic of Latvia): International scientific conference. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2024, 26-31.
15. Scott L., Andreini R. (2003) Electroslag processes cladshipshafts. Welding Journal, (11), 41-42.
16. Rybalko I.M., Zakharov A.V. (2024) Influence of non-metallic inclusions on the quality of deposited electroslag metal. XX International Youth Forum 'YOUTH AND INDUSTRY 4.0 IN THE XXI CENTURY'. Collection of forum materials. – Kharkiv: DBTU, 2024, 96.
17. Rybalko I.M., Zakharov A.V. (2024) Implementation of the ESR process on small thickness parts with the addition of a modifying material and the use of a non-consumable graphite electrode. XIV All-Ukrainian Conference 'Young Scientists 2024 – from Theory to Practice' 21 March 2024, Institute of Industrial and Business Technologies, USUCT, Dnipro (Ukraine), 30-35.