

ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНІСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО НАПЛАВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ КОМПОЗИЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Лузан А.С.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка*

В роботі на основі аналізу науково-технічної літератури обгрунтована економічна доцільність відновлення деталей машин. Наведено розрахунок економічної ефективності застосування створеного композиційного матеріалу і технології його електродугової наплавки на прикладі відновлення осі балансиру задньої підвіски автомобіля КамАЗ. Оцінка економічного ефекту виконана за собівартістю відновлення і від зміни ресурсу деталі.

Ключові слова: ресурс, композиційний матеріал, наплавлення, оксиди, знос, економічна ефективність.

Актуальність проблеми

Причина низького ресурсу деталей машин пов'язана переважно з зносом і корозійним пошкодженням їх поверхневих шарів. Абразивний знос превалює над усіма іншими: близько 40% деталей засобів транспорту і сільськогосподарських машин мають чисто абразивний знос і більш 50% – абразивний знос в комбінації з іншими видами зносу і руйнувань поверхневого шару. Тому проблема створення ефективних відновлювальних покриттів на поверхні деталей при ремонті машин є актуальною.

Одним з перспективних напрямків є використання для відновлення і зміцнення композиційних матеріалів, які володіють цілим комплексом властивостей в залежності від складу компонентів [1, 2]. Розробка і впровадження нових технологій формування композиційних покриттів із заданими властивостями на робочих поверхнях деталей машин вимагає виконання економічної оцінки доцільності застосування конкретного композиційного матеріалу і технології його нанесення.

Аналіз публікацій за темою дослідження

Відновлення деталей – це комплекс операцій по усуненню основних дефектів, що забезпечують відновлення працездатності та параметрів, встановлених в нормативно-технічній документації.

Використання відновлених деталей для усунення несправності машини набагато ефективніше, ніж заміна зношених деталей на нову. Багаторічний досвід відновлення деталей довів ефективність відновлення [3]. Собівартість відновлення деталей становить 30-50% вартості нових. Технічна сторона роботи по відновленню полягає в забезпеченні високої якості деталей, необхідного для поліпшення показників надійності відремонтованих агрегатів і машин. Дослідження показали, що в вибракуваних машинах придатних деталей для експлуатації без ремонту до 45%, що підлягають відновленню до 50%, і тільки 5-9% не підлягають відновленню [3]. Величини зносу деталей машин знаходяться в діапазоні від 0,01 до 10 мм. Причому найбільше число деталей (близько 83%) має знос до 0,6 мм [4]. З них знос до 0,1 мм – 52%, до 0,2 – 12%, до 0,3 мм – 10%, до 0,4 мм – 1%, до 0,5 мм – 5% і до 0,6 мм – 3%, що відповідає технологічним можливостям дугового наплавлення і газотермічним способам нанесення покриттів, в тому числі і інтегрованими, наприклад, з методом електроіскрового легування [5].

Перевага відновлення полягає в економії металу, тому що на відновлення витрачається в 20-30 разів менше металу, ніж для виготовлення нових деталей. Крім того, витрати на організацію виробництва по відновленню вимагають в 2-2,5 рази менше капітальних вкладень у порівнянні з підприємствами з виготовлення запасних частин.

В даний час в провідних країнах Заходу і Японії технічний сервіс в більшій мірі орієнтується на ресурсозберігаючі технології відновлення деталей, які також більш екологічно безпечні.

При виборі способу відновлення деталей одним з критеріїв є його економічна ефективність. В даний час існує три основні методи вибору процесу відновлення деталей, що відрізняються різним ступенем обліку технічних і економічних показників. Перший метод заснований на визначенні повної собівартості відновлення деталі різними способами і співставленні їх результатів. Відповідно до другого методу порівнюються між собою комплексні величини у вигляді відносин технологічних витрат до ресурсу деталі нової і відновленої. В якості базового показника приймають таке ставлення для нової деталі. Третій метод враховує значення комплексного показника як функції трьох критеріїв: застосовності, довговічності і техніко-економічного показника.

Недоліком першого методу є відсутність обліку технічного стану і післяремонтного напрацювання відновленої деталі і несумісність результатів розрахунків. Другий і третій методи дозволяють застосовувати способи, які при малій собівартості відновлення забезпечують і малу довговічність у порівнянні з нормативним напрацюванням машини.

Так В.В. Єфремов запропонував як критерій вибору раціонального способу відновлення деталей співвідношення витрат і напрацювання машини. В.І. Казарцев визначив умову раціональності вибору відновлення тих чи іншим способом в наступному вигляді:

$$\frac{C_e i_e}{I_e} \leq \frac{C_n i_n}{I_n}, \quad (1)$$

де C_e та C_n – вартість відновлення зношеної і виготовлення нової деталі відповідно;

i_e та i_n – інтенсивність зношування відновленої і нової деталі;

I_e та I_n – величина граничного зносу відновленої і нової деталі.

В.А. Шадрічевим запропоновані для оцінки обраного способу відновлення деталей приватні критерії: застосовності, довговічності і економічності. Остаточний вибір способу проводиться за допомогою техніко-економічного критерію, який зв'язує довговічність деталі з економікою її відновлення, за формулою:

$$C_e \leq k_d C_n, \quad (2)$$

де k_d – коефіцієнт довговічності відновленої деталі, рівний відношенню довговічності відновленої і нової деталі.

Критерії (1) і (2), по суті, схожі. Е.Л. Воловик ввів умову, відповідно до якої сума приведених витрат при відновленні конструктивно-технологічних параметрів зношених деталей до рівня нових повинна бути мінімальною.

М.А. Масино, аналізуючи дані про фактичні ресурси відновлених деталей, прийшов до висновку, що в переважній більшості випадків коефіцієнт довговічності визначається зносостійкістю робочих поверхонь деталей, їх втомної витривалістю і міцністю зчеплення напущеного шару з основним металом [6].

Таким чином, на підставі проведених міркувань можна зробити висновок, що при виборі найбільш оптимальної технології відновлення деталей доцільно здійснювати оцінку її економічної ефективності за собівартістю відновлення і зміни ресурсу відновленої деталі.

Мета дослідження

Обґрунтування доцільності та розрахунок економічної ефективності відновлювального наплавлення композиційними матеріалами деталей машин.

Результати дослідження

Економічну ефективність застосування створеного КМ (патенти № 133419, 143297 Україна [7, 8]) і технології його електродугової наплавки розглянемо на прикладі відновлення осі балансиру задньої підвіски автомобіля КамАЗ. Як устаткування для дугового наплавлення використовували інверторне джерело живлення Патон ВДІ-200Р DC TIG.

1. Розрахунок економічного ефекту за собівартістю відновлення деталі.

У запропонованій технології відновлення деталей машин електродуговим наплавленням застосовується композиційний матеріал на основі сплаву ПГ-10Н-01, модифікованого композиційним матеріалом, що містить бориди титану і хрому, отриманим з застосуванням СВС-процесу.

Запропонована технологія відновлення деталей дозволяє збільшити зносостійкість відновлених поверхонь і в результаті їх ресурс.

Розрахунок виконаний для відновлення осі балансиру задньої підвіски автомобіля КамАЗ.

Витрати на відновлення деталі визначаємо за формулою:

$$Z = C + E_n \cdot \kappa, \quad (3)$$

де C – технологічна собівартість;

κ – капітальні вкладення за технологією відновлення.

У капітальних вкладеннях за технологією відновлення (κ) враховуються витрати на НДР – $\kappa_{ндр}$, тобто

$$\kappa = C_{об} + \kappa_{ндр}, \quad (4)$$

де $C_{об}$ – ціна обладнання для електродугової наплавки.

Вихідні дані для розрахунку наведені в табл. 1.

Технологічну собівартість розраховуємо за операціями розробленої технології: 1) підготовка поверхні під наплавку; 2) процес наплавлення покриттів; 3) механічна обробка: заробітна плата основна (Z_o) та додаткова (Z_d); витрати на електроенергію (Z_e); сума амортизаційних відрахувань (Z_a); відрахування в соціальні фонди (Z_c); сума загальноцехових витрат (Z_y), тобто:

$$C = Z_o + Z_d + Z_e + Z_a + Z_c + Z_y. \quad (5)$$

Заробітна плата основна

$$Z_o = t_o \cdot C_y \quad (6)$$

де t_o – час виконання технологічних операцій.

Заробітна плата додаткова

$$Z_d = \kappa_d \cdot Z_o \quad (7)$$

де κ_d – коефіцієнт додаткової зарплати.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку собівартості відновлення деталі

№ п/п	Показники	Умовне позначення	Од. виміру	Величина
1	2	3	4	5
1	Об'єм виробництва (відновлення) деталей	A_n	шт.	1000
2	Ціна установки для наплавлення	$C_{об}$	грн.	7500
3	Коефіцієнт використання обладнання	κ_3	–	0,8
4	Годинна тарифна ставка зварника	$C_ч$	грн.	70
5	Коефіцієнт додаткової зарплати	$\kappa_д$	–	0,3
6	Норма відрахування на соцстрах	$H_{сс}$	%	39,55
7	Потужність обладнання	N	кВт	6
8	Ціна 1 кг порошку	C_n	грн	500
9	Витрата порошку	Q_n	кг	0,200
10	Ціна 1 кВт електроенергії	$C_э$	грн	0,74
11	Середній коефіцієнт завантаження обладнання	κ_3	–	0,6
12	Норма амортизаційних відрахувань	$H_{ам}$	%	24
13	Норма цехових витрат	$H_ц$	%	120
14	Коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі	κ_n	–	0,6
15	Коефіцієнт корисної дії обладнання	η	–	0,92
16	Витрати на НДР	$\kappa_{ндр}$	грн	10000

Норми часу за даними хронометражу на виконання технологічних операцій по наплавленню наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Норми часу на виконання технологічних операцій

Найменування операції	Спосіб виконання	Перелік переходів	Норма часу, t, год
Підготовка поверхні	Токарна	1. Установка деталі	0,02
		2. Обробка	0,04
		3. Зняття	0,01
Наплавка	Електродугова наплавка	1. Установка деталі	0,02
		2. Наплавка	0,05
		3. Зняття	0,01
Механічна обробка	Шліфування	1. Установка деталі	0,02
		2. Шліфування	0,04
		3. Зняття	0,01
Всього			0,22

Витрати на електроенергію визначаємо за формулою:

$$Z_e = \frac{N \cdot t \cdot \kappa_3 \cdot \kappa_n \cdot C_e}{\eta}, \quad (8)$$

де N – потужність обладнання, кВт;
 t – час роботи обладнання, год;
 κ_3 – коефіцієнт завантаження обладнання;
 κ_n – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі;
 η – коефіцієнт корисної дії обладнання;
 C_e – ціна 1 кВт електроенергії, грн.

Сума амортизаційних відрахувань:

$$Z_a = \frac{H_{am}}{100} \cdot \frac{\kappa}{A_d}, \quad (9)$$

де H_{am} – норма амортизаційних відрахувань;
 κ – капітальні вклади;
 A_d – обсяг виробництва деталей.

Відрахування в соціальні фонди (пенсійний, соцстрах, страхування безробіття) визначаються за формулою:

$$Z_c = \frac{H_{cc}}{100} \cdot (Z_o + Z_d), \quad (10)$$

де H_{cc} – норма відрахувань на соціальне страхування.

Сума загальноцехових витрат визначається за формулою:

$$Z_u = \frac{H_u}{100} \cdot (Z_o + Z_d), \quad (11)$$

де H_u – норма цехових витрат.

Розрахунок собівартості наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Собівартість відновлення деталі

Статті витрат	Витрати, грн
1. Вартість порошку	$0,2 \cdot 500 = 100$
2. Заробітна плата, всього	20,02
– основна	$70 \cdot 0,22 = 15,4$
– додаткова	$0,3 \cdot 15,4 = 4,62$
3. Витрати на електроенергію	$\frac{6 \cdot 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,74}{0,92} = 0,12$
4. Сума амортизаційних відрахувань	$\frac{24,0}{100} \cdot \frac{17500}{1000} = 4,2$
5. Відрахування в соціальні фонди	$\frac{39,55}{100} \cdot 20,02 = 7,92$
6. Сума цехових витрат	$\frac{120}{100} \cdot 20,02 = 24,02$
Всього	156,28

Витрати по відновленню деталі складають:

$$Z_{\text{в}} = C + E_n \cdot \kappa = 156,28 + 0,15 \cdot \frac{17500}{1000} = 158,9 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект при відновленні 1000 деталей становить:

$$E = A_n \cdot (Z_n - Z_{\text{в}}) = 1000 \cdot (7300 - 158,9) = 7141100 \text{ грн.}$$

де Z_n – витрати на придбання нових деталей.

2. Розрахунок економічного ефекту від зміни ресурсу відновленої деталі.

Розрахунок економічного ефекту від зміни ресурсу виконаний з використанням основних положень щодо визначення економічного ефекту ДСТУ 4397: 2005, а також методики розрахунку і довідково-нормативних матеріалів робіт [9, 10].

Річний економічний ефект від зміни ресурсу роботи деталі визначаємо за формулою:

$$E_p = \Pi_{\text{р.б.}} - \Pi_{\text{р.в.}}, \quad (12)$$

де $\Pi_{\text{р.б.}}$ та $\Pi_{\text{р.в.}}$ – середні за термін служби річні приведені витрати по базовій і відновленій деталям.

Величину Π_p визначаємо за формулою:

$$\Pi_p = \frac{C_{\text{д}}}{P} \left[\frac{P \cdot P_p - P_{\text{д}}}{K_{\text{д}} \cdot P_p} + 0,5(1 + V_{\text{д}}^2) \right] + C_{\text{д}} \left(E_n + \frac{1}{P} \right), \quad (13)$$

де $C_{\text{д}}$ – витрати на усунення однієї відмови деталі, грн.;

P – пробіг автомобіля КамАЗ до капітального ремонту, км.;

P_p – річний пробіг автомобіля, км.;

$P_{\text{д}}$ – середній ресурс деталі, км.;

$K_{\text{д}}$ – коефіцієнт, що характеризує відношення середнього ресурсу запасної частини до середнього ресурсу спочатку встановленої деталі того ж найменування (для зношених деталей, що працюють в рухомих і нерухомих сполученнях, приймається рівним 0,6);

$V_{\text{д}}$ – коефіцієнт варіації ресурсу деталі, якщо він не визначений, то приймається рівним 0,6;

$C_{\text{д}}$ – собівартість відновлення або ціна нової деталі, грн.;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень.

Величину витрат ($C_{\text{д}}$) на усунення наслідків відмови деталі приймаємо відповідно даних ТОВ «Слобожанська промислова компанія», м. Харків.

Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту від підвищення ресурсу при відновленні осі балансиру задньої підвіски автомобіля КамАЗ електродуговим наплавленням КМ, наведені в табл. 4.

На підставі вихідних даних і прийнятих розрахункових значень показників визначаємо річні приведені витрати по базовій і відновленій деталям:

$$\Pi_{\text{р.б.}} = \frac{6000}{500000} \left[\frac{500000 \cdot 50000 - 100000}{0,6 \cdot 50000} + 0,5(1 + 0,6^2) \right] + 7300 \left(0,15 + \frac{1}{500000} \right) = 11094,98 \text{ грн.}$$

$$\Pi_{\text{р.в.}} = \frac{6000}{500000} \left[\frac{500000 \cdot 50000 - 140000}{0,6 \cdot 500000} + 0,5(1 + 0,6^2) \right] + 156,28 \left(0,15 + \frac{1}{500000} \right) = 10023,41 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект від підвищення ресурсу однієї відновленої осі балансиру задньої підвіски автомобіля КамАЗ становить:

$$E_p = 11094,98 - 10023,41 = 1071,57 \text{ грн.}$$

Таблиця 4 – Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту від підвищення ресурсу осі балансиру задньої підвіски автомобіля КамАЗ

№ п/п	Найменування показника	Позначення	Ось балансиру		Примітка
			базова	відновлена	
1	2	3	4	5	6
1	Нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень	E_n	0,15	0,15	Норматив
2	Витрати на усунення однієї відмови деталі, грн	C_d	6000	6000	Дані ТОВ «Слобожанська промислова компанія»
3	Ціна нової або собівартість відновлення деталі, грн	C_d	7300	156,28	Розрахункові значення
4	Пробіг автомобіля КамАЗ до капітального ремонту	P	500000	500000	Норматив
5	Річний пробіг машини, км.	P_p	50000	50000	
6	Середній ресурс осі балансиру, км.	P_δ	100000	140000	

З вищевикладеного робимо висновок, що електродугове наплавлення композиційного матеріалу при відновлювальному ремонті осі балансиру задньої підвіски автомобіля КамАЗ забезпечує зниження витрат у споживача.

Технічний результат ефективності впровадження технології електродугової наплавки покриттів з композиційних матеріалів при відновлювальному ремонті полягає в підвищенні ресурсу відновлених деталей засобів транспорту за рахунок меншої інтенсивності зношування композиційних покриттів.

Висновки

За результатами проведеного аналізу публікацій можна зробити висновок про доцільність застосування відновлювального наплавлення для зношених деталей машин. Це підтверджують цифри, отримані в ході розрахунків економічного ефекту як за собівартістю, так і від зміни ресурсу відновленої осі балансиру задньої підвіски автомобіля КамАЗ.

Список використаних джерел

1. Luzan, S.O., Luzan, A.S. Microstructure and Abrasive Wear Resistance of Deposited Materials of the Ni–Cr–B–Si System with Inclusions of Dispersed Phases (2020) *Materials Science*, 56 (3), pp. 381-388. DOI: 10.1007/s11003-020-00441-x
2. Luzan, S.A., Sidashenko, A.I., Luzan, A.S. Composite material for hardening of tillage machines working bodies containing titanium and chromium borides synthesized using shs-process (2020) *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*, 42 (4), pp. 541-552. DOI: <https://doi.org/10.15407/mfint.42.04.0541>
3. Лялякин В.П. Восстановление деталей – важный резерв экономии ресурсов. *Вестник. ОрелГАУ*. 2011. № 2(29). С. 95-97.
4. Воловик Е. Л. Справочник по восстановлению деталей / Воловик Е. Л. – М. Колос, 1981. – 351 с.

5. Туренко А.Н. Интегрирование технологии газотермического напыления покрытий и метода электроискрового легирования / А.Н. Туренко, А.С. Полянский, С.А. Лузан // Автомобильный транспорт : сб. научн. трудов. – 2011. – Вып. 28. – С. 109-113.

6. Масино М. А. Повышение долговечности автомобильных деталей при ремонте / Масино М. А. – М. : Транспорт, 1972. – 148 с.

7. Патент № 133419, Україна, МПК (2019.01) C22C 14/00, B22F 1/00. Шихта для отримання композиційного зносостійкого матеріалу з використанням СВС-процесу / С.О. Лузан, О.І. Сідашенко, А.С. Лузан – Опубл. 10.04.2019; Бюл. № 7.

8. Патент № 143297, Україна, МПК (2020.01) C22C 14/00, B22F 1/00. Спосіб одержання композиційного матеріалу на основі сплаву системи Ni–Cr–B–Si / С.О. Лузан, О.І. Сідашенко, А.С. Лузан – Опубл. 27.07.2020; Бюл. № 14.

9. Надежность техники. Программа обеспечения надежности: ДСТУ 2863-94. – Киев: Госстандарт Украины, 1994. – 37 с.

10. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування : ДСТУ 4397:2005. – [Чинний від 2006-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2005 – 16 с.

Аннотация

Лузан А.С. Обоснование экономической целесообразности и эффективности восстановительной наплавки деталей композиционными материалами

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенка*

В работе на основе анализа научно-технической литературы обоснована экономическая целесообразность восстановления деталей машин. Приведен расчет экономической эффективности применения созданного композиционного материала и технологии его электродуговой наплавки на примере восстановления оси балансира задней подвески автомобиля КамАЗ. Оценка экономического эффекта выполнена по себестоимости восстановления и от изменения ресурса детали.

Ключевые слова: ресурс, композиционный материал, наплавка, оксиды, износ, экономическая эффективность.

Summary

Luzan A.S. Justification of economic performance and efficiency of restorative surface of details compositional materials

Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasilenko

Based on the analysis of scientific and technical literature, the work substantiates the economic feasibility of restoring machine parts. The calculation of the economic efficiency of the use of the created composite material and the technology of its electric arc surfacing on the example of the restoration of the axle of the balance beam of the rear suspension of the KamAZ automobile is presented. The economic effect was assessed at the cost of restoration and from changes in the resource of the part.

Keywords: resource, composite material, surfacing, oxides, wear, economic efficiency.

References

1. Luzan, S.O., Luzan, A.S. Microstructure and Abrasive Wear Resistance of Deposited

Materials of the Ni–Cr–B–Si System with Inclusions of Dispersed Phases (2020) *Materials Science*, 56 (3), pp. 381-388. DOI: 10.1007/s11003-020-00441-x

2. Luzan, S.A., Sidashenko, A.I., Luzan, A.S. Composite material for hardening of tillage machines working bodies containing titanium and chromium borides synthesized using shs-process (2020) *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*, 42 (4), pp. 541-552. DOI: <https://doi.org/10.15407/mfint.42.04.0541>

3. Lyalyakin V.P. Vosstanovlenie detalej – vazhnyj rezerv ekonomii resursov. *Vestnik. OrelGAU*. 2011. № 2(29). S. 95-97.

4. Volovik E. L. *Spravochnik po vosstanovleniyu detalej / Volovik E. L. – M. Kolos, 1981. – 351 s.*

5. Turenko A.N. Integrirovaniye tekhnologii gazotermicheskogo napyleniya pokritij i metoda elektroiskrovogo legirovaniya / A.N. Turenko, A.S. Polyanskij, S.A. Luzan // *Avtomobil'nyj transport : sb. nauchn. trudov. – 2011. – Vyp. 28. – S. 109-113.*

6. Masino M. A. *Povyshenie dolgovechnosti avtomobil'nyh detalej pri remonte / Masino M. A. – M. : Transport, 1972. – 148 s.*

7. Patent № 133419, Ukraïna, MPK (2019.01) C22C 14/00, B22F 1/00. SHihta dlya otrimannya kompozicijnogo znosostijkogo materialu z vikoristannyam SVS-procesu /

S.O. Luzan, O.I. Sidashenko, A.S. Luzan – Opubl. 10.04.2019; Byul. № 7.

8. Patent № 143297, Ukraïna, MPK (2020.01) C22C 14/00, B22F 1/00. Sposib oderzhannya kompozicijnogo materialu na osnovi splavu sistemi Ni–Cr–B–Si / S.O. Luzan, O.I. Sidashenko, A.S. Luzan – Opubl. 27.07.2020; Byul. № 14.

9. *Nadezhnost' tekhniki. Programma obespecheniya nadezhnosti: DSTU 2863-94. – Kiev: Gosstandart Ukrainy, 1994. – 37 s.*

10. *Sil's'kogospodars'ka tekhnika. Metodi ekonomichnogo ocinyuvannya tekhniki na etapi viprobuvannya : DSTU 4397:2005. – [CHinnij vid 2006-01-01]. – K. : Derzhspozhivstandart Ukraïni, 2005 – 16 s.*