

## ОЦІНЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РІЗАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН ЗА ДОПОМОГОЮ ІОННО-ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ

Щукін О.В., Орел О.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** Запропоновано методику розрахунків і результати оцінювання економічної ефективності застосування іонно-плазмового покриття  $TiN-Cr_2N$ , нанесеного методом конденсації з іонним бомбардуванням, для подовження довговічності різальних елементів автогрейдерів.

**Ключові слова:** землерийно-транспортна машина, робочий орган, ресурс, іонне бомбардування, іонно-плазмове покриття, абразив, протизносні властивості.

### Вступ

Як відомо, експлуатаційні якості землерийно-транспортних машин (ЗТМ) значною мірою визначаються ресурсом різальних елементів їх робочих органів (РО). У цьому разі ресурс різальних елементів ЗТМ залежить, по-перше, від здатності різальних елементів РО чинити опір впливу ударних навантажень і водночас не руйнуватися, що забезпечується необхідним рівнем фізико-механічних властивостей матеріалу, з якого їх виготовлено; по-друге, від зносостійкості різальних елементів, швидке затуплення яких призводить до збільшення зусилля різання та передчасного зношення базових деталей, що зрештою сприяє зниженню продуктивності машин.

Недостатня довговічність різальних елементів ЗТМ, зокрема ножів автогрейдера, зумовлює передчасну заміну РО, що спричиняє великі матеріальні витрати та непланові ремонти. Як наслідок, спостерігається простій машин, пов'язаний із доставкою та монтажем нових різальних елементів.

### Аналіз публікацій

Нині в галузі машинобудування існує значна кількість різноманітних методів і способів поверхневого оброблення деталей машин, що сприяють значному підвищенню зносостійкості останніх.

Однак через явно виражені недоліки, які здебільшого знижують ударну в'язкість матеріалу, аніж підвищують його зносостійкість, ці методи не задовольняють вимоги, що висуваються до різальних елементів ЗТМ, зокрема ножів автогрейдерів. Водночас більшість способів недосконалі, громіздкі, дороговартісні та потребують значної кількості часу на реалізацію у виробництві [1, 2].

Аналіз досвіду роботи різних галузей машинобудування продемонстрував суттєве підвищення експлуатаційних характеристик матеріалів деталей машин унаслідок нанесення на їх поверхню плазмових зносостійких матеріалів [3, 4].

Основними методами нанесення таких покриттів є хімічне осадження з газового середовища й конденсація твердої речовини в умовах іонного бомбардування (КІБ) [4]. У цьому разі найбільш раціональним методом є саме КІБ, основною перевагою якого є можливість регулювання температури процесу (~300–800 °C).

### Мета й постановка завдання

Встановити економічний ефект від підвищення довговічності РО ЗТМ способом нанесення іонно-плазмового покриття  $TiN-Cr_2N$  методом КІБ на поверхню різальних елементів, зокрема ножів автогрейдера.

### Дослідження РО ЗТМ з іонно-плазмовим покриттям

Як відомо, одними з основних показників надійності РО ЗТМ є ймовірність безвідмовної роботи та ресурс.

Унаслідок проведених нами теоретичних досліджень було отримано математичну модель, яка встановлює залежність безвідмовної роботи різальних елементів від їх зносу [5]. У цьому разі сумарна ймовірність безвідмовної роботи ножа автогрейдера має вигляд (1).

Розроблена математична модель сумарної ймовірності безвідмовної роботи (1) дає змогу отримати теоретичний опис зміни ймовірності безвідмовної роботи різальних елементів ЗТМ, зокрема ножів автогрейдера, у процесі виконання робочих операцій та описати

зміну ресурсу різального елемента залежно від його зношення.

$$P_{\Sigma} = P(P_{\text{дин}}) \times \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left[ \Phi \left[ \frac{P_{-1}^{\max} - m(P_{-1})}{\sqrt{2D(P_{-1})}} \right] - \Phi \left[ \frac{P_{-1}^{\min} - m(P_{-1})}{\sqrt{2D(P_{-1})}} \right] \right] \right\} \times \left\{ \Phi \left[ \frac{I_{\text{пр}}}{T^{\beta}} - m(a_u) \right] \right\}, \quad (1)$$

де  $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$  – функція Лапласа;

$P_{-1} = P_{0-1} - R_x$ ;  $P(P_{\text{дин}})$  – імовірність безвідмовної роботи ножа, що залежить від максимального навантаження, яке діє на кромку ножа;  $P_{0-1}$  – несуча здатність за умови втомного навантаження;  $R_x$  – чинне навантаження на кромку ножа;  $m(P_{-1})$  – математичне очікування (середнє значення) межі різниці несучої здатності ножа автогрейдера й максимального навантаження;  $D(P_{-1})$  – середньоквадратичне відхилення межі різниці несучої здатності та максимального навантаження.  $I_{\text{пр}}$  – граничний знос ножа;  $T$  – ресурс різального елемента.

Водночас, як ми встановили під час проведення лабораторних і експлуатаційних досліджень, застосування іонно-плазмового покриття системи TiN-Cr<sub>2</sub>N на поверхні різальних елементів, виготовлених зі сталі 65 Г та підданих загартуванню струмами високої частоти (СВЧ) РО ЗТМ, зокрема ножів автогрейдерів, чинить позитивний ефект на їх зносостійкість. У цьому разі найменший знос досягається за таких оптимальних параметрів такого покриття: значення твердості основного металу становить 50 HRC, шорсткість підкладки – 0,32 мкм, товщина покриття – 4 мкм [6]. Такі значення параметрів іонно-плазмового покриття TiN-Cr<sub>2</sub>N дають змогу підвищити зносостійкість у середньому в 1,78 раза. Водночас збільшення зносостійкості різальних елементів унаслідок нанесення покриття TiN-Cr<sub>2</sub>N на їх поверхню дає змогу збільшити ресурс РО. Це підтверджено результатами експлуатаційних досліджень: ножам, які мають лише загартування СВЧ, властивий ресурс приблизно 320 маш. год, а такі

самі ножі з іонно-плазмовим покриттям TiN-Cr<sub>2</sub>N – 550 маш. год (рис. 1).

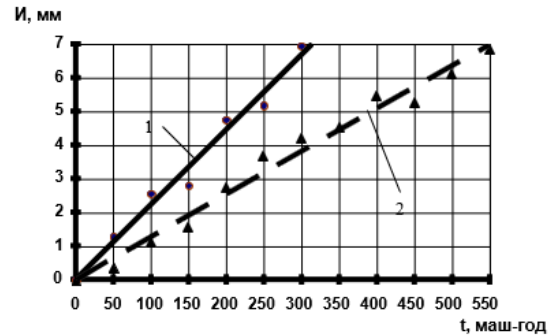


Рис. 1. Залежність зносу  $I$  різального елемента із загартуванням СВЧ (1) і з іонно-плазмовим покриттям TiN-Cr<sub>2</sub>N (2) від часу  $t$  експлуатації машини

Отже, застосування іонно-плазмового покриття TiN-Cr<sub>2</sub>N на поверхні різальних елементів ЗТМ дає змогу підвищити ресурс РО завдяки зменшенню їх зносу, і як наслідок, скоротити простої на придбання та заміну різальних елементів, а отже, знизити собівартість розроблення ґрунту.

Згідно з працями [7–11] економічний ефект заходу науково-технічного прогресу (НТП) за розрахунковий період визначається за формулою

$$E_T = P_T - Z_T \quad (2)$$

де  $P_T$  – вартісна оцінка результатів використання заходу НТП за розрахунковий період, грн;  $Z_T$  – вартісна оцінка витрат на здійснення заходу НТП за розрахунковий період, грн. Для базового варіанта заходу формула (2) набуває вигляду

$$E_T^{\text{б}} = P_T^{\text{б}} - Z_T^{\text{б}}, \quad (3)$$

а для нового варіанта

$$E_T^{\text{н}} = P_T^{\text{н}} - Z_T^{\text{н}}, \quad (4)$$

де  $P_T^{\text{б}}$  і  $P_T^{\text{н}}$  – вартісна оцінка результатів використання, відповідно, базового й нового варіанта заходу НТП за розрахунковий період, грн;  $Z_T^{\text{б}}$  і  $Z_T^{\text{н}}$  – вартісна оцінка витрат за умови використання, відповідно, базового й нового варіанта заходу НТП за розрахунковий період, грн.

У цьому разі базовим варіантом заходу НТП приймаємо експлуатацію автогрейдера

обладнаного штатними ножами, що піддаються загартуванню СВЧ. Як новий варіант приймаємо експлуатацію автогрейдера, обладнаного ножами з нанесеним на їх поверхню іонно-плазмовим покриттям  $\text{TiN-Cr}_2\text{N}$ . Варто зауважити, що можливі два варіанти організації нанесення іонно-плазмового покриття  $\text{TiN-Cr}_2\text{N}$  на поверхню різального органу:

- 1) стороннім підприємством;
- 2) власними силами транспортного підприємства, а саме завдяки придбання у власність призначеної для цього установки «Булат-3Т».

У разі організації нанесення іонно-плазмового покриття  $\text{TiN-Cr}_2\text{N}$  на поверхню РО автогрейдера стороннім підприємством одноразові витрати (капітальні вкладення) не передбачено, за винятком витрат на відповідні науково-дослідні та дослідно-конструкторські розробки (НДДКР).

За умови організації нанесення іонно-плазмового покриття  $\text{TiN-Cr}_2\text{N}$  на поверхню різального елемента автогрейдера власними силами транспортного підприємства одноразові витрати (капітальні вкладення) визначаються витратами на придбання у власність призначеної для цього установки «Булат-3Т» і витратами на відповідні НДДКР. Ціна установки становить 250 тис. грн, а витрати на НДДКР у розрахунку на одиницю автогрейдера – 10 тис. грн. У цьому разі розрахунок доповнюється обчисленням періоду повернення одноразових витрат на придбання транспортним підприємством у власність установки «Булат-3Т».

Період повернення одноразових витрат (капітальних вкладень) – це час, протягом якого сума накопиченого прибутку перевищить суму одноразових витрат (капітальних вкладень). Період повернення одноразових витрат визначається з огляду на умову [8]

$$\sum_{t=t_{\text{в.е.з}}}^{t=t_{\text{в.е.з}}} (\Delta P_t - \Delta K_t) \cdot \alpha_t \geq 0, \quad (5)$$

де  $\Delta P_t$  – додатковий прибуток від реалізації заходу НТП у році  $t$  розрахункового періоду, грн;  $\Delta K_t$  – додаткові одноразові витрати для реалізації заходу НТП у році  $t$  розрахункового періоду, грн;  $\alpha_t$  – коефіцієнт дисконтування в році  $t$  розрахункового періоду;  $t_{\text{в.е.з}}$  – рік повернення одноразових витрат.

Отже, розв'язання поставленого завдання зводиться до визначення:

1) для варіанта організації нанесення іонно-плазмового покриття  $\text{TiN-Cr}_2\text{N}$  на поверхню різального елемента автогрейдера стороннім підприємством:

- економії річних поточних витрат унаслідок збільшення ресурсу різального елемента РО автогрейдера;

- збільшення річного доходу й прибутку від роботи автогрейдера, зумовлене зростанням продуктивності машини завдяки збільшенню фактичного терміну служби його різального елемента;

2) для варіанта організації нанесення іонно-плазмового покриття  $\text{TiN-Cr}_2\text{N}$  на поверхню різального елемента автогрейдера власними силами автоспоживача завдяки придбання у власність призначеної для цього установки «Булат-3Т»:

- додаткових капітальних вкладень на придбання у власність установки «Булат-3Т»;

- економії річних поточних витрат унаслідок збільшення фактичного терміну служби різального елемента РО автогрейдера;

- збільшення річного доходу й прибутку від роботи автогрейдера, зумовлене зростанням продуктивності машини завдяки збільшенню фактичного терміну служби його різального елемента.

У першому випадку використання різального елемента з іонно-плазмовим покриттям  $\text{TiN-Cr}_2\text{N}$  супроводжується додатковими поточними витратами на його нанесення стороннім підприємством. Ці витрати зумовлені ціною за одиницю цього виду роботи та періодичністю заміни різального елемента. Ціна за одиницю роботи з нанесення іонно-плазмового покриття  $\text{TiN-Cr}_2\text{N}$  на різальний елемент автогрейдера (ніж) становить 235,00 грн, а періодичність заміни ножа – 550 год.

У другому випадку витрати, пов'язані з нанесенням іонно-плазмового покриття  $\text{TiN-Cr}_2\text{N}$  на різальний елемент автогрейдера, визначаються собівартістю одиниці цього виду роботи з використанням власної установки, що становить 161,70 грн, і періодичністю заміни різального елемента – 550 год.

Собівартість машино-години роботи автогрейдера в році  $t$  розрахункового періоду визначається за формулою [9]

$$S_{\text{мч}} = \frac{Z_{\text{г}}}{T_{\text{г}}} + Z_{\text{ч}} + Z_{\text{оп}} + Z_{\text{а}}, \quad (6)$$

де  $Z_{\text{г}}$  – річні умовно-постійні витрати (амортизаційні відрахування), грн;  $T_{\text{г}}$  – річний корисний (ефективний) фонд часу роботи автогрейдера, год;  $Z_{\text{ч}}$  – годинні витрати, грн;

$Z_{\text{оп}}$  – загальновиробничі витрати на 1 маш. год роботи автогрейдера, грн;  $Z_a$  – адміністративні витрати на 1 маш. год роботи автогрейдера, грн.

Ціна машино-години роботи автогрейдера встановлюється за базовим варіантом експлуатації та визначається за формулою [9]

$$\Pi_{\text{мч}} = S_{\text{мч}}^{\text{б}} \cdot \left(1 + \frac{R}{100}\right), \quad (7)$$

де  $S_{\text{мч}}^{\text{б}}$  – собівартість машино-години роботи базового варіанта автогрейдера, грн;  $R$  – плановий рівень рентабельності, %.

Річні поточні витрати для роботи автогрейдера за базового та нового варіанта різального елемента РО визначаються за відповідними формулами [9]:

$$Z_t^{\text{б}} = S_{\text{мч}}^{\text{б}} \cdot T_{\text{г}}^{\text{б}}; \quad (8)$$

$$Z_t^{\text{н}} = S_{\text{мч}}^{\text{н}} \cdot T_{\text{г}}^{\text{н}}, \quad (9)$$

де  $T_{\text{г}}^{\text{б}}, T_{\text{г}}^{\text{н}}$  – річний корисний (ефективний) фонд часу роботи автогрейдера за базового й нового варіанта різального елемента РО, год.

Річний дохід, отриманий від роботи автогрейдера за базового й нового варіанта різального елемента РО, визначається за відповідними формулами [9]:

$$P_t^{\text{б}} = \Pi_{\text{мч}}^{\text{б}} \cdot T_{\text{г}}^{\text{б}}; \quad (10)$$

$$P_t^{\text{н}} = \Pi_{\text{мч}}^{\text{н}} \cdot T_{\text{г}}^{\text{н}}. \quad (11)$$

Річний прибуток, отриманий від роботи автогрейдера за базового й нового варіанта різального елемента РО, визначається за відповідними формулами [10]:

$$\text{Пр}_t^{\text{б}} = P_t^{\text{б}} - Z_t^{\text{б}}; \quad (12)$$

$$\text{Пр}_t^{\text{н}} = P_t^{\text{н}} - Z_t^{\text{н}}. \quad (13)$$

Економічний ефект від упровадження нового варіанта різального елемента РО автогрейдера в році  $t$  розрахункового періоду визначається за формулою [10]

$$\mathcal{E}_t = \text{Пр}_t^{\text{н}} - \text{Пр}_t^{\text{б}} - K_t^{\text{н}}, \quad (14)$$

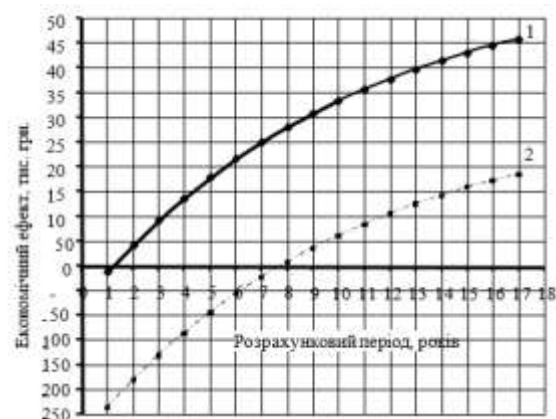
де  $K_t^{\text{н}}$  – одноразові витрати, грн.

У разі організації нанесення іонно-плазмового покриття TiN-Cr<sub>2</sub>N стороннім підприємством одно разові витрати зумовлені витратами на науково-дослідні та дослідно-конструкторські розробки (НДДКР) у розрахунку на одиницю автогрейдера, а в разі організації нанесення іонно-плазмового покриття TiN-Cr<sub>2</sub>N власними силами – доповнюються витратами на придбання установки «Булат-3Т».

Економічний ефект від використання автогрейдера, обладнаного різальним елементом з іонно-плазмовим покриттям TiN-Cr<sub>2</sub>N, за розрахунковий період визначається за формулою [10]

$$E_T = \sum_{t=t_n}^{t=t_k} (E_t \cdot \alpha_t). \quad (15)$$

Результати обчислення економічного ефекту від реалізації запропонованого організаційно-технічного заходу в розрахунку на один автогрейдер наведені на рис. 2.



1 – стороннє підприємство; 2 – власні сили транспортного підприємства

Рис. 2. Економічний ефект за умови організації нанесення іонно-плазмового покриття TiN-Cr<sub>2</sub>N

Коефіцієнт дисконтування в році  $t$  розрахункового періоду визначається за формулою [11]

$$\alpha_t = (1 + E_n)^{t_p - t}, \quad (16)$$

де  $E_n$  – норма дисконту, приймаємо  $E_n = 0,1$ ;  $t_p$  – розрахунковий рік;  $t$  – рік, доходи й витрати якого подано до розрахункового року.

Період повернення одноразових витрат на придбання установки «Булат-ЗТ» залежить від кількості автогрейдерів в автогосподарстві.

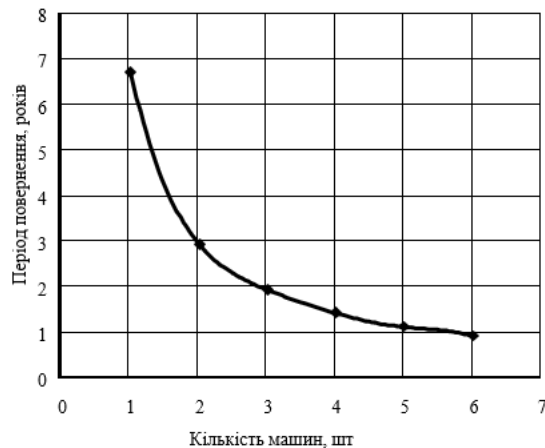


Рис. 3. Залежність періоду повернення одноразових витрат на придбання установки «Булат-ЗТ» від кількості автогрейдерів в автогосподарстві

### Висновки

Підвищення ресурсу РО ЗТМ завдяки нанесенню іонно-плазмового покриття  $\text{TiN-Cr}_2\text{N}$  на поверхню різальних елементів, зокрема ножів автогрейдера, дає змогу досягти економічного ефекту на один автогрейдер за розрахунковий період 17 років за умови організації нанесення іонно-плазмового покриття:

- 1) стороннім підприємством 457 704 грн;
- 2) власними силами 185 952 грн. Період повернення одноразових витрат на придбання установки для іонно-плазмового покриття «Булат-ЗТ» становить сім років;
- 3) період повернення одноразових витрат на придбання установки «Булат-ЗТ» залежить від кількості автогрейдерів у транспортному підприємстві. За кількості 3–4 машин у транспортному підприємстві період повернення одноразових витрат на придбання установки становить менше ніж два роки.

### Література

1. Слюсаренко В.В. Підвищення зносостійкості ріжучих елементів землерийно-транспортних машин. *Будівельні та дорожні машини*. 2019. № 10. С. 20–21.
2. Тененбаум М.М. Опір абразивному зношуванню: монографія. Київ: Верба, 1999. 271 с.
3. Роїк Т.О., Глушкова Д.Б., Рижков Ю.В. Підвищення зносо- та корозійної стійкості деталей об'ємного гідроприводу нанесенням іонно-плазмових покриттів. Харків, 2012. 112 с.

4. Роїк Т.А., Глушкова Д.Б. Підвищення стійкості прес-форм лиття під тиском мідних сплавів. Харків, 2013. 108 с.
5. Щукін О.В. Венцель Є.С., Разаренов Л.В. Вплив зносу ножа на ресурс робочого органа автогрейдера. *Будівельні та дорожні машини*. 2013. № 9. С. 44–47.
6. Венцель Є.С., Глушкова Д.Б., Щукін О.В. Визначення оптимальних параметрів іонно-плазмового покриття на поверхню ріжучих елементів землерийно-транспортних машин. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2013. Вип. 60. С. 53–58.
7. Косов В.В., Лівшиц В.Н., Шахназаров А.Г., Алешинська Н.Г. Методичні рекомендації з оцінки ефективності інвестиційних проектів. Економіка, 2000. 98 с.
8. Віленський П.Л. Оцінка ефективності інвестиційних проектів: теорія і практика. Навчальний посібник. Київ: Верба, 2002. 194 с.
9. Лукашев В.І., Крищенко Л.А. Оцінка реальної ефективності заходів науково-технічних програм та інвестиційних проектів. *Вісник ВНДІЗТ*. 2015. № 5. С. 3–7.
10. Беренс В., Хавранек М. Посібник з оцінки ефективності інвестицій. Київ: Інтерексперт: ІНФРА-К, 1995. 179 с.
11. Блех Ю., Гетце У. Інвестиційні розрахунки. Моделі та методи оцінки інвестиційних проектів. Львів: Бурштинова казка, 1997. 168 с.

### References

1. Sliusarenko V.V. Improving the wear resistance of cutting elements of earth-moving and transport machines. *Construction and Road Machinery*. 2019. No. 10. P. 20–21.
2. Tenenbaum M.M. Resistance to abrasive wear: Monograph. Kyiv: Verba, 1999. 271 p.
3. Roik T.O., Hlushkova D.B., Ryzhkov Yu.V. Improving wear and corrosion resistance of volumetric hydraulic drive parts by applying ion-plasma coatings. Kharkiv, 2012. 112 p.
4. Roik T.A., Hlushkova D.B. Improving the durability of pressure die-casting molds for copper alloys. Kharkiv, 2013. 108 p.
5. Shchukin O.V., Ventsel Ye.S., Razarenov L.V. The impact of knife wear on the service life of the working element of a motor grader. *Construction and Road Machinery*. 2013, No. 9. P. 44–47.
6. Ventsel Ye.S., Hlushkova D.B., Shchukin O.V. Determining the optimal parameters of ion-plasma coatings on the surface of cutting elements of earth-moving and transport machines. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University*. 2013, Issue 60. P. 53–58.
7. Kosov V.V., Livshits V.N., Shakhnazarov A.G., Aleshynska N.H. Methodological recommendations for evaluating the effectiveness of investment projects. Economics, 2000. 98 p.

8. Vilensky P.L. Evaluation of the effectiveness of investment projects: Theory and practice: Text-book. Kyiv: Verba, 2002. 194 p.
9. Lukashev V.I., Kryshchenko L.A. Evaluation of the real effectiveness of scientific and technical programs and investment projects. *Bulletin of VNDIZT*. 2015, No. 5. P. 3–7.
10. Berens V., Havranek M. Handbook for evaluating the effectiveness of investments. Kyiv: Interexpert: INFRA-K, 1995. 179 p.
11. Blekh Yu., Getze U. Investment calculations. Models and methods for evaluating investment projects. Lviv: Burshtynova Kazka, 1997. 168 p.

**Щукін Олександр Вікторович**, к.т.н., доц. каф. будівельних і дорожніх машин, alexhome88@gmail.com, тел. +38 097-996-76-41,

**Орел Олександр Володимирович**, к.т.н., доц. каф. будівельних і дорожніх машин, oav1980@gmail.com, тел. +38 067-701-98-64.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

#### **Evaluation of the economic efficiency of increasing the durability of earthmoving machine cutting elements through ion-plasma coating**

**Abstract. Problem.** The operational performance of earth-moving and transport machines (ETMs) is largely determined by the service life of the cutting elements of their working tools (WT). The service life of ETM cutting elements depends, firstly, on the ability of the WT cutting elements to withstand impact loads without breaking, which is ensured by the necessary level of physical and mechanical properties of the material from which they are made. Secondly, it depends on the wear resistance of the cutting elements, as rapid dulling leads to increased cutting forces and premature wear of basic components. Ultimately, this contributes to a decline in machine productivity.

**Goal.** The goal is to determine the economic effect of extending the service life of ETMs WT by applying the ion-plasma coating TiN-Cr<sub>2</sub>N using the ion-beam

bombardment (IBB) method to the surface of cutting elements, particularly motor grader blades. **Methodology.** In the process of studying the issue, the method of analysis was employed; during theoretical research, the analytical method was used, which is based on the theory of interaction between the ETMs WT and the developed environment, as well as the principles of reliability theory, probability theory, and mathematical statistics. **Results.** Extending the service life of the WT of ETMs by applying the ion-plasma coating TiN-Cr<sub>2</sub>N to the surface of cutting elements, particularly motor grader blades, allows for achieving an economic effect for a single motor grader over a 17-year calculation period under the following conditions for organizing the application of the ion-plasma coating: by an external enterprise: 457,704 UAH; by in-house resources: 185,952 UAH. **Originality.** The payback period for the one-time expenses of purchasing the Bulat-3T installation depends on the number of motor graders in the fleet. With 3-4 machines in the fleet, the payback period for the one-time investment in the installation is less than 2 years. **Practical value.** The application of the TiN-Cr<sub>2</sub>N ion-plasma coating on the surface of cutting elements of ETMs allows for increasing the service life of the working tools by reducing their wear and, as a result, minimizing downtime for the purchase and replacement of cutting elements, thereby reducing the cost of soil development.

**Key words:** earth-moving and transport machine, working tool, service life, ion bombardment, ion-plasma coating, abrasive, wear-resistant properties.

**Shchukin Oleksandr**, Ph.D., Assoc. Prof.

Department of Construction and Road-Building Machinery, ORCID: 0000-0001-6332-1811, alexhome88@gmail.com,

**Orel Oleksandr**, Ph.D., Assoc. Prof. Department of Construction and Road-Building Machinery, ORCID: 0000-0003-0265-7527, oav1980@gmail.com, Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.