

*Т. Г. Бережанський*

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

*М. І. Пашечко*

*Люблінський технічний університет*

## РОЗРОБКА ПОКРИТТІВ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦІЇ ВУЗЛІВ ПОЖЕЖНОЇ ТЕХНІКИ ТА ПРОТИПОЖЕЖНОГО ОБЛАДНАННЯ

Сьогодення диктує нові правила та потребує від суспільства постійної готовності до нових викликів – природних та техногенних загроз. Техногенне суспільство, технології в цілому швидко розвиваються. Природні явища: глобальне потепління, забрудненість екосистем та ін. зумовлюють природні катаклізми, які трапляються все частіше. Це потребує постійної готовності до захисту населення в разі виникнення надзвичайних ситуацій.

Реалізацію функцій держави, спрямованої на захист населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та ліквідацію їх наслідків покладено, в першу чергу, на пожежно-рятувальні підрозділи служби цивільного захисту України.

Зрозуміло, що існує ряд чинників, які впливають на ефективність виконання пожежно-рятувальними підрозділами своїх функцій, таких як: організація роботи підрозділів та служби цивільного захисту в цілому, індивідуальна та колективна теоретична і практична підготовка, а також багато інших, серед яких і технічне забезпечення. Якісне та надійне технічне забезпечення підрозділів цивільного захисту України є запорукою ефективної роботи служби пожежно-рятувальних підрозділів і як наслідок безпеки населення України.

Тому удосконалення, підвищення надійності, ресурсу роботи та універсальності пожежного та аварійно-рятувального обладнання є актуальним завданням сьогодення.

Зносостійкі евтектичні покриття системи Fe-Mn-C-B-Si леговані Cr виконані у вигляді порошкових дрітків відзначаються від 1,8 до 10 разів зносостійкістю від матеріалів серійного виробництва. Ці матеріали окрім високої зносостійкості також характеризуються хорошими зварювальними властивостями, що дає змогу наносити їх на деталі пожежної техніки та аварійно-рятувального обладнання за допомогою методів електродугового, плазмового наплавлення та методом напилення, а також іншими перспективними методами. Методи регенерації деталей пожежної техніки та аварійно-рятувального обладнання евтектичними покриттями дають змогу продовжити ресурс роботи вузлів та підвищити їх зносостійкість.

Розроблено склад зносостійкого покриття на основі евтектичного сплаву системи Fe-Mn-C-B-Si легованого Cr, який відзначається найкращою зносостійкістю серед досліджуваних зрізків. Покриття характеризується хорошими зварювальними властивостями, тому його можна рекомендувати для регенерації та продовження терміну експлуатації вузлів і деталей пожежної техніки та обладнання.

**Ключові слова:** пожежна техніка, регенерація пожежної техніки, зносостійкі покриття, ресурс роботи, евтектичні покриття.

*T.G. Berezhanskyi*

*Lviv State University of Life Safety*

*M.I. Pashechko*

*Lublin University of Technology*

## DEVELOPMENT OF COATINGS FOR REGENERATION OF FIRE TOOLS AND EQUIPMENT

Today dictates new rules and requires society to be constantly ready for new challenges – natural and man-made threats. Man-made society, technologies, in general, are developing rapidly. Natural phenomena: global warming, pollution of ecosystems, etc. cause natural disasters, which occur more often. This requires society to be constantly ready to protect the population in case of emergencies.

Implementation of the function of the state aimed at protecting the population, territories, environment and property from emergencies of natural and man-made nature and elimination of their consequences is entrusted, first of all, to fire and rescue units of the Civil Protection Service of Ukraine.

Some factors affect the effectiveness of fire and rescue units in their functions, such as the organization of units and civil protection services in general, individual and collective theoretical and practical training, and many others, including technical support. High-quality and reliable technical support of civil defence units of Ukraine is the key to the effective work of the fire and rescue service and as a consequence of the safety of the population of Ukraine.

Therefore, improving, increasing the reliability, service life and versatility of fire and rescue equipment is an urgent task today.

Wear-resistant eutectic coatings of the Fe-Mn-C-B-Si system alloyed with Cr made in the form of flux-cored wires are noted from 1.8 to 10 times wear resistance from materials of serial production. In addition to high wear resistance, these materials are also characterized by good welding properties, which allows them to be applied to parts of fire equipment and rescue equipment using electric arc, plasma surfacing and spraying methods, as well as other promising methods. Methods of regeneration of parts of fire equipment and rescue equipment with eutectic coatings allows to extend the service life of the units and increase their wear resistance.

The composition of the wear-resistant coating based on the eutectic alloy of the Fe-Mn-C-B-Si system doped with Cr, which is characterized by the best wear resistance among the studied samples, has been developed. The coating is characterized by good welding properties, which allows us to recommend it for regeneration and extension of service life of components and parts of firefighting equipment.

**Keywords:** fire equipment, regeneration of fire equipment, wear-resistant coatings, service life, eutectic coatings.

**Постановка проблеми.** Станом на сьогодні пожежні підрозділи під час реалізації функції держави із захисту населення, територій і навколишнього середовища від надзвичайних ситуацій використовують різноманітні технічні засоби, пожежне обладнання та аварійно-рятувальний інструмент. Частина техніки, технічних засобів, обладнання та окремих вузлів, що використовуються пожежними підрозділами України, перевищила свій ресурс роботи або є частково чи повністю зношеними [1]. Також станом на сьогодні в пожежно-рятувальних підрозділах України часто використовують пожежну техніку та обладнання закордонного виробництва, які були придбані чи отримані в рамках співпраці з країнами Європи та світу. Спеціалізованих технічних підрозділів із обслуговування пожежної техніки та обладнання закордонного виробництва на території України майже немає, а відправка техніки, обладнання чи окремих вузлів у країну-виробника потребує багато часу та коштів. Існують методи відновлення, регенерації та підвищення зносостійкості елементів і вузлів пожежної техніки та обладнання за допомогою евтектичних покриттів [2-4]. Використання таких методів дає змогу відновити зношені, частково чи повністю, елементи пожежної техніки та обладнання пожежно-рятувальних підрозділів; збільшити їхній ресурс роботи; відновити елементи пожежної техніки та обладнання іноземного виробництва без значних затрат коштів та часу. Тому актуальним на сьогодні завданням є розробка та дослідження ефективності евтектичних покриттів, призначених для регенерації вузлів пожежної техніки та

обладнання.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Зносостійкі евтектичні покриття системи Fe-Mn-C-B-Si, леговані Cr, виготовлені у вигляді порошкових дротів мають в 1,8-10 разів вищу зносостійкість порівняно з матеріалами серійного виробництва [5-8]. Дані матеріали окрім високої зносостійкості також характеризуються хорошими зварювальними властивостями, завдяки чому їх можна наносити на деталі пожежної техніки та аварійно-рятувального обладнання за допомогою методів електродугового, плазмового наплавлення та методом напилення, а також іншими перспективними методами [6-10]. Регенерація деталей пожежної техніки та аварійно-рятувального обладнання евтектичними покриттями продовжує ресурс роботи вузлів та підвищує їх зносостійкість.

**Метою роботи** є розробка складу та дослідження зносостійкості евтектичних покриттів системи Fe-Mn-C-B-Si легованим Cr для регенерації вузлів пожежної техніки та обладнання.

**Виклад основного матеріалу.**

Об'єктом дослідження були покриття, отримані методом дугового наплавлення в захисній атмосфері аргону (MAG) з використанням порошкових дротів, виготовлених із евтектичного матеріалу різного складу. Хімічний аналіз покриттів для наплавки з використанням евтектичного порошкового дроту представлений в таблиці 1. Хімічні склади покриттів були обрані на основі попередніх досліджень [2,4].

Таблиця 1

## Хімічний аналіз евтектичних покриттів

Вміст елементів мас. %	Умове позначення зразків			
	Зр-1	Зр-2	Зр-3	Зр-4
Mn	9,82	4,4	11,3	11,37
C	1,7	2,01	1,6	0,9
B	1,9	2,2	1,8	2,7
Si	3,36	2,6	3,19	2,48
S	0,04	0,03	0,08	0,09
P	0,022	0,02	0,03	0,028
Cr	10,0	9,8	10,3	18,2
Fe	решта	решта	решта	решта

На рис. 1 представлено загальний вигляд отриманих швів.

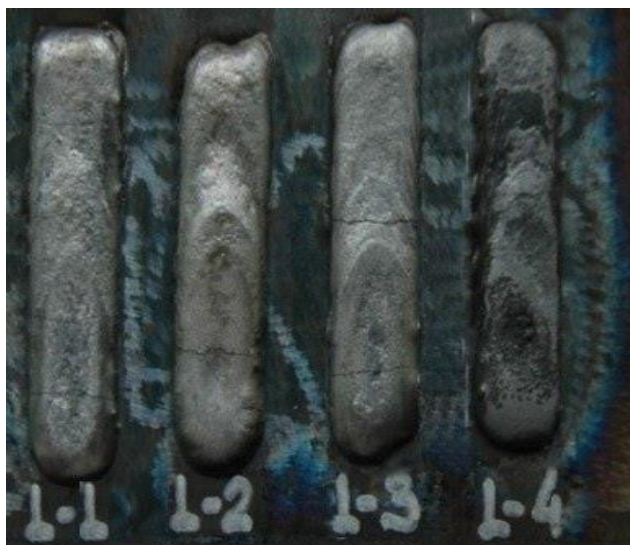


Рисунок 1 – Загальний вигляд отриманих швів з досліджуваних евтектичних покриттів

Дослідження зносостійкості проводились в лабораторних умовах. Основною перевагою такого підходу є нижча вартість порівняно з дослідженнями в умовах експлуатації виробів. Для вивчення зношування евтектичних сплавів

використано модернізований комп'ютеризований триботестер Амслера. Основними параметрами, що характеризують дослідження зносостійкості, є: тип контакту – плоский (пристрій, призначений для вивчення процесу тертя ковзання в системі «стержень – диск»); пара тертя «стержень – диск» реалізується шляхом обертання диска і притискання до нього зразка. Форма зразка – квадрат зі стороною 10 мм або стержень діаметром 10 мм, діаметр диска – 90 мм; тип руху – тертя ковзання (швидкість – 0,4 м/с); час дослідження – 8 год; навантаження – 4, 8, 15 МПа; шлях тертя – 8640 м; змащування – відсутнє (сухе тертя); температура навколишнього середовища  $22 \pm 4$  °С.

Оскільки пожежно-рятувальні підрозділи застосовують пожежну техніку та обладнання за різних умов і чіткі або переважаючі умови експлуатації обладнання відсутні, то дослідження проводили за різних навантажень – 4, 8 та 15 МПа.

Метою досліджень зносостійкості було визначення покриття з евтектичного сплаву, яке характеризується найменшим масовим зношуванням. Результати масового зношування (втрати маси в міліграмах) після випробувань масового зношування для покриттів і відповідних контртіл (сталь 45) представлені в таблиці 2 та на рисунку 2.

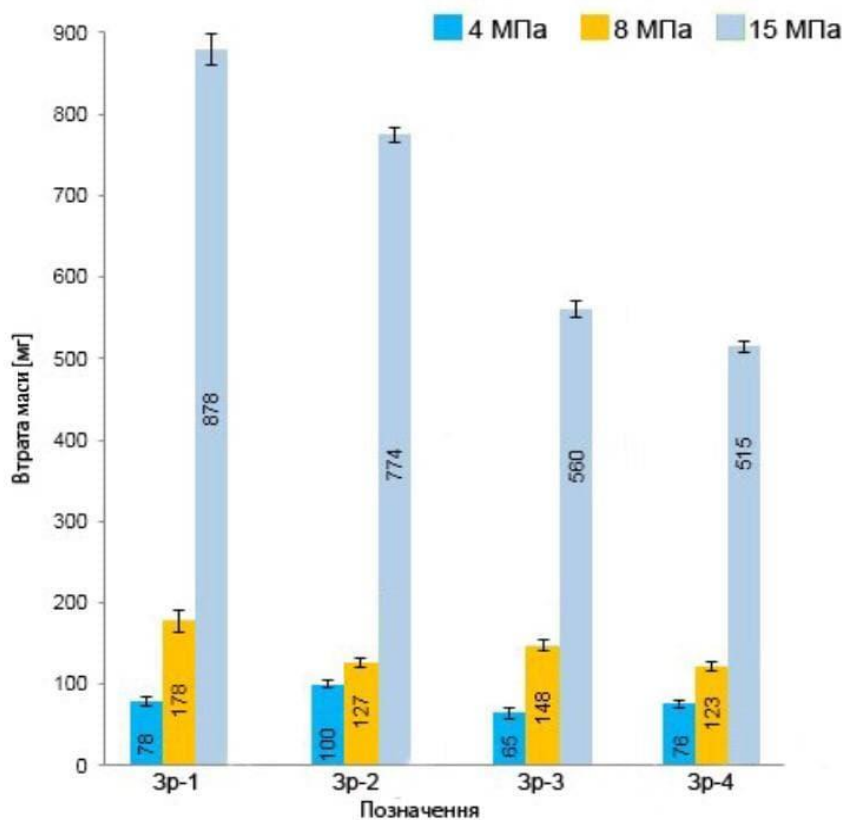
Таблиця 2

## Масове зношування зразків та контртіл

Навантаження	Позначення зразків			
	Зр-1	Зр-2	Зр-3	Зр-4
МПа	Втрати маси [мг]			
4	78	100	65	76
8	178	127	148	123
15	878	774	560	515
Навантаження	Позначення відповідних контрзразків			
	Зр-1'	Зр-2'	Зр-3'	Зр-4'
МПа	Втрати маси [мг]			
4	98	146	127	103
8	104	228	161	127
15	1480	1660	1010	1410

Порівнюючи дані з таблиці 2 і перебіг втрати маси видно, що найменшою втратою характеризується евтектичне покриття позначене як Зр-4. Для покриття Зр-4 найменша втрата маси в

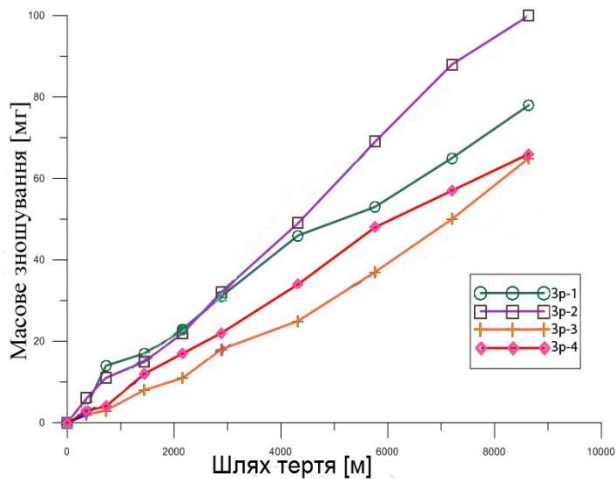
порівнянні з іншими була при навантаженнях 8 і 15 МПа. При питомих навантаженнях 4 МПа найменшою втратою маси характеризується покриття Зр-3 (рис. 2).



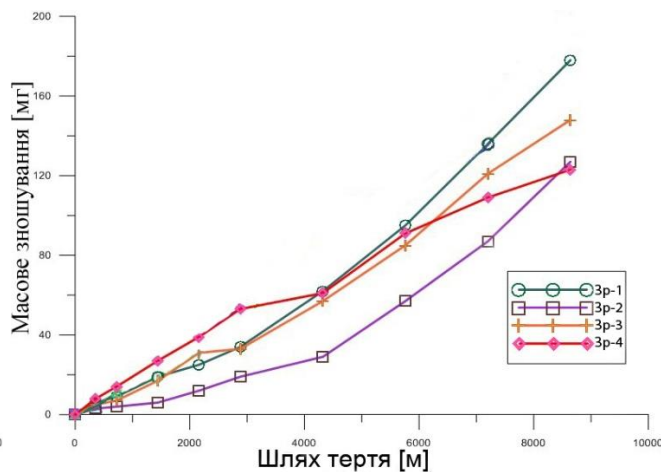
**Рисунок 2** – Втрати маси зразків при питомих навантаженнях 4, 8, 15 МПа для покриттів з евтектичних сплавів Fe-Mn-C-B-Si легованих Cr

Найменшим масовим зношуванням (65 мг) при 4 МПа характеризується покриття зі складом Зр-3, а при питомих навантаженнях 8 МПа – покриття зі складом Зр-4 (123 мг). Аналогічна ситуація спостерігається при питомих навантаженнях 15 МПа (515 мг).

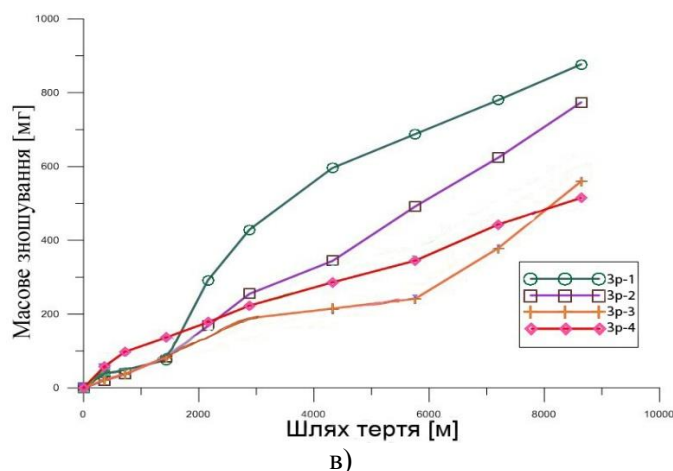
Привертає увагу значне збільшення масового зношування покриттів при навантаженнях 15 МПа. Перебіг втрати маси покриттів з евтектичних сплавів при питомих навантаженнях 4, 8, 15 МПа представлений на рисунку 3.



а)



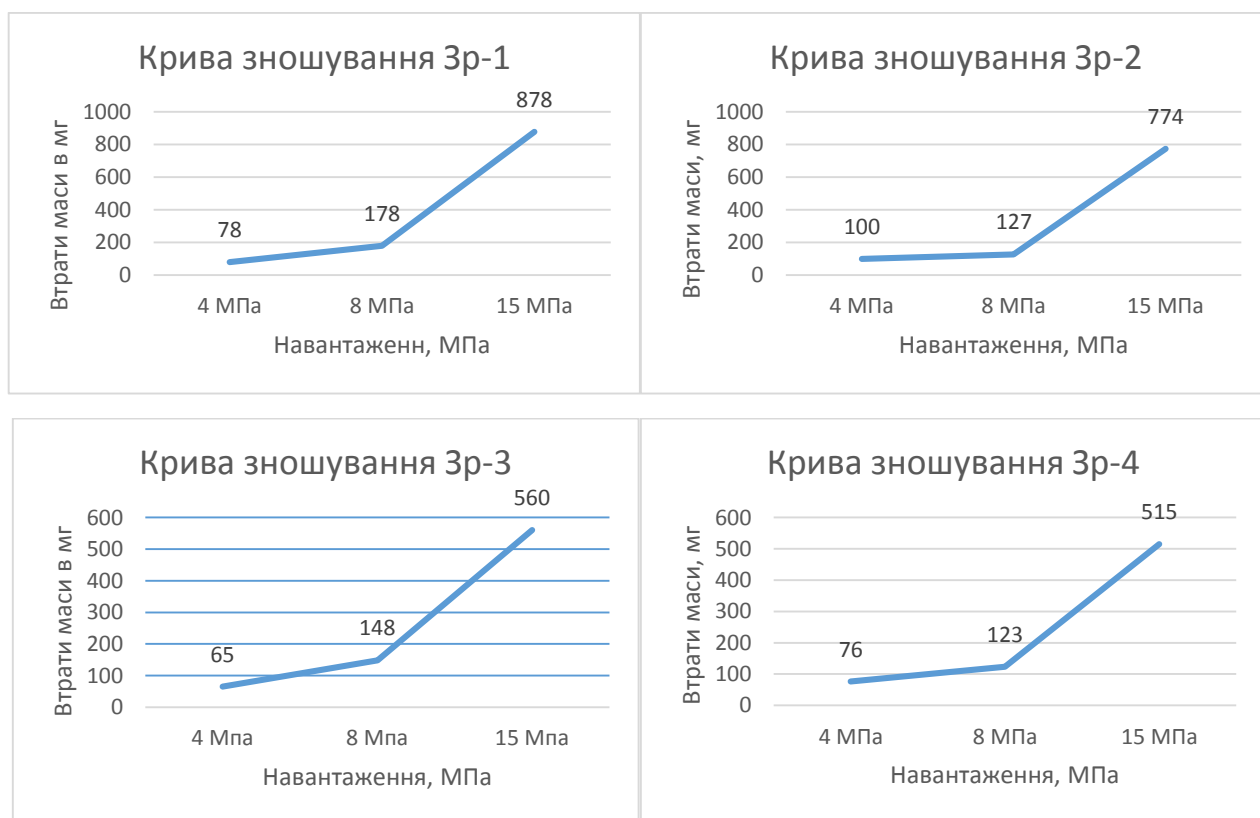
б)



**Рисунок 3** – Масове зношування покриттів з евтектичних сплавів Fe-Mn-C-B-Si, легованих Cr при навантаженнях: 4 МПа (а), 8 МПа (б), 15 МПа (в)

Стандартне відхилення втрати маси змінювалося в межах від 3 до 19,19 мг. Найменшою втратою маси характеризується

евтектичне покриття, позначене як Зр-4. Залежності зношування досліджуваних зразків представлені на рисунку 4.



**Рисунок 4** – Залежності зношування досліджуваних зразків при навантаженнях 4, 8 та 15 МПа

Для покриття Зр-4 найменша втрата маси в порівнянні з іншими була при навантаженнях 8 МПа (123 мг) і 15 МПа (515 мг). При питомих навантаженнях 4 МПа найменшою втратою маси характеризується покриття Зр-3. При питомому навантаженні 15 МПа механізм зношування сильно змінюється, що призводить до значного збільшення втрати маси (515 мг).

Відомо, що трибологічні властивості евтектичних сплавів залежать від структурно-фазового стану поверхневих шарів, які змінюються в процесі тертя. Це також підтверджується описаною в літературі [2-5] сегрегацією атомів В, Si, С з наступним формуванням стехіометричних оксидів SiO<sub>2</sub> і В<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та нестехіометричних на їх основі. Діаграма фазової рівноваги В<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub>

показує, що температура плавлення компонента  $V_2O_5$  становить  $458\text{ }^\circ\text{C}$ , а компонента  $SiO_2$  –  $1620\text{ }^\circ\text{C}$  [5]. Температура плавлення їх евтектики становить  $450\text{ }^\circ\text{C}$ . Внаслідок цього відбувається зменшення коефіцієнта тертя і як результат, підвищення зносостійкості вузла тертя.

Таким чином можна стверджувати, що евтектичне покриття на основі системи Fe-Mn-C-V-Si легованих Cr складу Zr-4 доцільно використовувати для регенерації вузлів та деталей пожежної техніки та обладнання. Покриття характеризується найменшою втратою маси серед досліджуваних зрізів та хорошими зварювальними властивостями.

**Висновки.** Розроблено склад зносостійкого покриття на основі евтектичного сплаву системи Fe-Mn-C-V-Si, легованого Cr, що відзначається найкращою зносостійкістю серед досліджуваних зрізів. Покриття характеризується хорошими зварювальними властивостями, тому можна наносити їх на деталі пожежної техніки та аварійно-рятувального обладнання за допомогою методів електродугового, плазмового наплавлення та методом напилення, а також іншими перспективними методами.

Зважаючи на найменше масове зношування та можливість нанесення покриття різноманітними доступними методами, можна рекомендувати його для регенерації та продовження терміну експлуатації вузлів та деталей пожежної техніки та обладнання. Використання зносостійких евтектичних покриттів на основі заліза є економічно доцільним, зважаючи на їх відносно невисоку вартість.

#### Список літератури:

1. Ренкас А.Г., Сичевський М.І., Придатко О.В. Гідравлічне аварійно-рятувальне обладнання : підручник / Львів: «Сполум» 2008. 175 с.
2. Бережанський Т.Г., Мошкола Я.І. Підвищення ресурсу роботи аварійно-рятувального обладнання евтектичними покриттями. Вісник ЛДУБЖД: збірник наукових праць 2019. №23. С. 36–40. DOI: 10.32447/20784643.20.2019.06.
3. Pashechko M., Kindrachuk M., Humeniuk I., Berezhanskyi T. Gradient composite coatings for working surfaces of braking devices. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 2018: Vol. 12. Is. 2. P. 1-5. DOI: 10.12913/22998624/70759.
4. Бережанський Т.Г., Башинський О.І., Бойко Т.В. Дослідження якості наплавлення захисних евтектичних покриттів на робочі частини пожежного інструменту. Пожежна безпека: збірник наукових праць. 2016. №29. С. 13–17.

5. Костецкий Б. И. Фундаментальные закономерности трения и износа – Київ: Наукова думка, 1981.

6. Сухенко Ю. Г., Дзюб О. Г., Голубець В. М., Гасій О. Б. Дослідження електрохімічних процесів під час корозійно-механічного зношення іонно-плазмових покриттів. Проблеми тертя та зношування : науково-технічний збірник. К.: НАУ, 2007. Вип. 47. С. 67-74.

7. Голубець В.М., Білоус О.В. Розробка нового евтектичного електродного сплаву для нанесення зносостійких покриттів на ріжучий інструмент комплексним електроіскровим легуванням і лазерною обробкою. Проблеми трибології – ХНУ, 2001. Вип. 2. С.56 – 61.

8. Amiri M., Khonsari M. M., On the Thermodynamics of Friction and Wear - A Review, *Entropy* 12, 2010, P. 1021-1049. doi:10.3390/e12051021.

9. Luo Q., Zhou Z., Rainforth W. Bolton M. Effect of tribofilm formation on the dry sliding friction and wear properties of magnetron sputtered TiAlCrYN coatings. *Tribology Letters*, 2009. P. 113-124 DOI:10.1007/s11249-009-9415-9.

10. Lenik K., Pashechko M., Dziedzic K., Barszcz M. The surface self-organization in process friction and corrosion of composite materials. *Archives of Materials Science and Engineering*, Volume 30, Issue 1, 2008, P. 9-12. DOI 10.3390/ma13010075.

#### References:

1. Renkas A.G., Sychevskiy M.I. Prydatko O.V. (2008) *Hidravlichne avariyno-ryatuvalne obladnannya* [Hydraulic rescue equipment], Spolom, Lviv, Ukraine.
2. Berezhanskyi T., Moshkola Ya. Improving work resource of safety equipment for eutectic coating. *Visnyk LDUBGD: Zbirnyk naukovykh prac.* 2019. №23. P. 36–40. DOI: 10.32447/20784643.20.2019.06.
3. Pashechko M., Kindrachuk M., Humeniuk I., Berezhanskyi T. Gradient composite coatings for working surfaces of braking devices. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 2018: Vol. 12. Is. 2 P. 1-5. DOI: 10.12913/22998624/70759.
4. Berezhanskyi T., Bashynskiy O., Boyko T. “Investigation of the surfacing quality of protective eutectic coatings on the working parts of a fire tool” *Zbirnyk naukovykh prac “Pozhezhna bezpeka”* vol. 1, no. 29, pp. 13-17.
5. Kostetskyi B.I. (1981) *Fundamentalni zakonomirnosti tertya ta znoshuvannya* [Fundamental patterns of friction and wear]. Naukova dumka, Kyiv, Ukraine.

6. Sukhenko Yu., Dzyub O., Holubets V., Hasiy A. Investigation of electrochemical processes during corrosion-mechanical wear of ion-plasma coatings. Problemy tertya ta znoshuvannya : naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. 2007. Vol. 47. P. 67-74.
7. Holubets V, Bilous O. Development of a new eutectic electrode alloy for application of wear-resistant coatings on cutting tools by complex electrospark alloying and laser processing. Problemy trybolohii. 2001. vol 2. P.56 – 61.
8. Amiri M., Khonsari M. M., On the Thermodynamics of Friction and Wear - A Review, Entropy 12, 2010, P. 1021-1049. doi:10.3390/e12051021
9. Luo Q., Zhou Z., Rainforth W. Bolton M. Effect of tribofilm formation on the dry sliding friction and wear properties of magnetron sputtered TiAlCrYN coatings. Tribology Letters, 2009. P. 113-124 DOI:10.1007/s11249-009-9415-9
10. Lenik K., Pashechko M., Dzedzic K., Barszcz M. The surface self-organization in process friction and corrosion of composite materials. Archives of Materials Science and Engineering, Volume 30, Issue 1, 2008, P. 9-12. DOI 10.3390/ma13010075

**\* Науково-методична стаття.**

Надійшла до редакції 22.10.2021 р.