

**Б.Я. Генега<sup>1</sup>, В.М. Федірко<sup>2</sup>,  
М.П. Волошин<sup>1</sup>, А.Т. Пічугін<sup>2</sup>, О.Г. Лук'яненко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Державне підприємство «Інженерний центр "Львівантикор"» НАН України, Львів

<sup>2</sup> Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів

## **РОЗРОБКА ТА ВИГОТОВЛЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО ПЕРЕСУВНОГО КОМПЛЕКСУ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ВІД КОРОЗІЇ**



*Спроектовано, виготовлено і укомплектовано універсальний пересувний комплекс для захисту металоконструкцій від корозії. Оптимізовано технологічний процес формування комбінованого захисного покриття.*

*Ключові слова: поверхня, термоабразивне очищення, металізація, захист від корозії, комбіноване покриття.*

Науково-технічні та проектні роботи по виготовленню комплексу виконані співробітниками Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка (ФМІ) НАН України та Державного підприємства «Інженерний центр (ДПІЦ) "Львівантикор"» НАН України в рамках виконання науково-технічного проекту № 26, що входив до переліку науково-технічних проектів, вибраних для реалізації в 2010 р. Роботи виконувалися згідно з розпорядженням Президії НАН України від 26.03.2010 р. № 276.

Загальновідомо, що надійність та довговічність захисного покриття є основним його критерієм. Для забезпечення довговічності провідні фірми-виробники лакофарбових захисних матеріалів пропонують широкий асортимент лакофарбових систем підвищеної надійності, однак кардинального рішення проблеми цим не досягається, оскільки оптимальна довговічність лакофарбових захисних систем залишається в межах 5–10 років. Невисока довговіч-

ність захисних покриттів з традиційних лакофарбових матеріалів обумовлює необхідність їх ремонту, який окрім великої витратності ще й на певний період обмежує в часі експлуатацію резервуарів, трубопроводів та рух транспорту на мостах, що приводить до прихованих матеріальних втрат.

У ФМІ НАН України та ДПІЦ «Львівантикор» виконані систематичні дослідження впливу режимів абразивоструминної обробки поверхні металу на адгезію і формування захисних покриттів, зокрема металізаційних. Була розроблена конструкція установки термоабразивного очищення та регламент нанесення захисного металізаційно-лакофарбового покриття [1–5]. На основі цих досліджень можна стверджувати, що проблема підвищення довговічності захисних покриттів відповідальних металоконструкцій вирішується завдяки застосуванню комбінованої метало-лакофарбової системи, в якій термін експлуатації покриву в основному визначається товщиною протекторного металевого шару та активністю металу, який застосовується.

Для вирішення цієї проблеми необхідний комплексний підхід, зокрема ефективна технологія, матеріали та, що найважливіше, сучасне устаткування (мобільний комплекс). Такий підхід здатний забезпечити якісне формування заданого метало-лакофарбового покриття на поверхні металу.

В рамках науково-технічного проекту № 26 співробітники ФМІ НАН України та ДПІЦ «Львівантикор» для забезпечення мобільності комплексу все устаткування необхідне для комбінованого захисту розмістили та зафіксували елементами кріплення на причепі до вантажного автомобіля. Комплекс оснащений модернізованою установкою термоабразивного очищення поверхні, електродуговим металізатором, установкою безповітряного нанесення лакофарбових матеріалів, блоком приладів контролю якості робіт та відповідними пристроями для підготовки та зберігання матеріалів. На основі електрохімічних досліджень оптимізована структура комбінованого захисного покриття.

#### **КОМБІНОВАНІ МЕТАЛО-ЛАКОФАРБОВІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ВІД КОРОЗІЇ**

Проблема підвищення довговічності захисних покриттів для великогабаритних метало-конструкцій типу мостів, нафтогазопроводів, резервуарів терміналів вирішується шляхом застосування комбінованої метало-лакофарбової системи, в якій термін експлуатації покриття в основному визначається товщиною напиленого протекторного шару металу та його активністю. При виготовленні комбінованих покриттів використовуються переваги металізаційного і лакофарбових шарів, при цьому їх захисні властивості взаємно підсилюються.

В основному, для металізації використовують алюміній, цинк, мідь і ніхром у вигляді порошку або дроту. Адгезійна міцність алюмінієвих покриттів, отриманих електродуговим напилюванням вища, ніж отриманих газополум'яним. Вибір металу або сплаву для металізаційного покриття визначається умовами експлуатації

метало-конструкції, в першу чергу – агресивністю середовища. Цинк не рекомендується застосовувати за умов тривалої дії на покриття гарячої води (від 55 до 100 °С), а також у контакті з сірковмісними сполуками [4].

Більшість резервуарів для зберігання нафти та нафтопродуктів виготовлено з низьковуглецевих сталей. На внутрішні поверхні днища і нижнього поясу (1,0–1,5 м) резервуарів діє корозивноактивна підтоварна вода з розчиненими в ній солями, сірководнем, вуглекислим газом тощо. Найнебезпечнішими на днищах резервуарів є застійні зони. Для протикорозійного захисту днищ великогабаритних резервуарів для нафти та нафтопродуктів, окрім захисного покриття, застосовують магнієво-алюмінієві протектори. Однак таким чином захищені днища резервуарів за умови змінного складу середовища «нафта–вода» часто в окремих місцях корозійно руйнуються, тоді як протектори лишаються без змін [5].

З метою оптимізації комбіноване захисне покриття формували на зразках зі сталі Ст. 3, з якої виготовляють резервуари. При використанні обладнання універсального комплексу на зразки нанесене алюмінієве покриття зі сплаву АМг-6 (5 % Mg, 0,8 % Mn). Поверхню зразків перед металізацією очищали термоабразивним способом, завдяки якому досягається найвищий ступінь чистоти Sa 3 за міжнародним стандартом ISO 8501-1, що забезпечує максимальну адгезію металізаційного шару до Ст. 3.

Якість комбінованих покриттів оцінювали за змінами їх питомого опору, водостійкістю в процесі дослідно-промислової перевірки в реальних умовах. Корозійні процеси на металізаційних шарах досліджували у потенціодинамічному режимі з використанням вольт-амперометричної системи СВА-МБ-М. Електрод порівняння – хлорид срібла типу ЭВЛІ-1М1. Швидкість зміни потенціалу складала 2 мВ/с.

Шар із алюмінієвого сплаву повинен мати необхідну захисну густину струму, щоб забезпечувати стабільні значення захисного потенціалу металу. Важливим є також стабільний в

часі та мало змінний при ширших режимах анодної поляризації високий від'ємний потенціал, який створює разом з захисним матеріалом катодний зсув потенціалу останнього на задане значення від стаціонарного, забезпечуючи тим самим ефективний захист. Тому за електродним потенціалом  $E$  (рис. 1) та потенціодинамічними поляризаційними дослідженнями (при зануренні протягом 168, 336 та 504 год) досліджено зміну електрохімічних властивостей алюмінієвого шару за 500-годинної витримки зразків у дистильованій воді та у модельному середовищі, яке імітує «під товарну» воду нафтових резервуарів (розчин 3 мас. % NaCl у воді під сировою нафтою (таблиця).

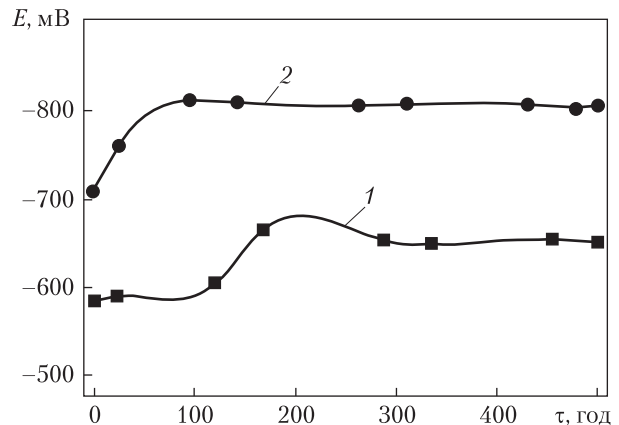
Електрометалізаційний шар після 100 год витримання у дистильованій воді активується, електродний потенціал зміщується в негативну область значень і стабілізується на значеннях  $-600 \pm 5$  мВ. У модельному середовищі після значного (100 мВ) початкового зсуву електродного потенціалу у від'ємну область потенціал стабілізується на високих від'ємних значеннях ( $-800 \pm 5$  мВ).

Стабільність електрохімічних властивостей електрометалізаційного шару у зазначених середовищах оцінено за значеннями густини струму  $I_{кор.}$  та потенціалу корозії  $E_{кор.}$  протягом часу випробувань на підставі потенціодинамічних поляризаційних досліджень поверхонь (таблиця).

Стабілізація значень потенціалу та густин

**Потенціали та густини струмів корозії ( $E_{кор.}$  та  $i_{кор.}$  відповідно) електрометалізаційного шару зі сплаву АМг-6 після різного часу витримання в корозивних середовищах**

Час витримки $\tau$ , год	Н <sub>2</sub> О, дистильована		Модельний розчин (3 мас. % NaCl у воді під сировою нафтою)	
	$E_{кор.}$ , мВ	$i_{кор.}$ , мкА/см <sup>2</sup>	$E_{кор.}$ , мВ	$i_{кор.}$ , мкА/см <sup>2</sup>
0	-596	0,2	-763	2,6
168	-714	0,4	-859	24,8
336	-746	3,8	-814	20,9
504	-765	3,9	-798	22,6

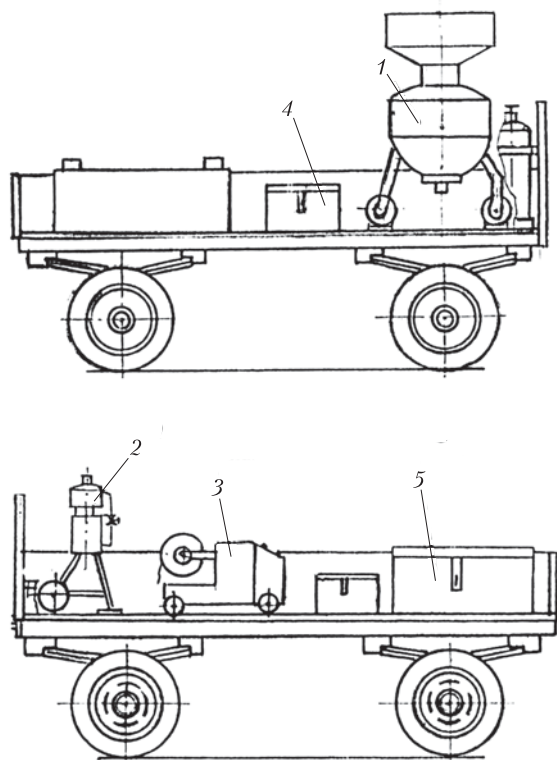


**Рис. 1.** Зміна електродного потенціалу електрометалізаційного шару  $E$  зі сплаву АМг-6 з часом у дистильованій воді (1) та в модельному середовищі (розчин 3 мас. % NaCl у воді під сировою нафтою (2))

струмів корозії електрометалізаційного шару покриття в дистильованій воді відбувається лише після 336 год витримання, тоді як у модельному середовищі – вже після 168 год. При цьому потенціал корозії, порівняно зі значеннями в дистильованій воді, відрізняється на 40–70 мВ, а густини струмів корозії більші в 5–6 раз. Пасивна плівка, яка виникає на початковій стадії за умов анодної поляризації, не перешкоджає нормальній роботі протекторного шару з алюмінієвого сплаву при довготривалій експозиції в середовищах.

Оцінено захисні властивості комбінованого покриття. Найбільш прогнозовано та стабільно реагує на дію корозивного модельного середовища комбіноване покриття з електрометалізаційного шару товщиною приблизно 55–60 мкм зі сплаву АМг-6 та поверхневої антистатичної епоксидної композиції зі струмопровідним наповнювачем № 3 товщиною 55–100 мкм.

Співставлення експериментальних даних зміни маси комбінованих покриттів зі зміною значень їх питомого опору за умов впливу модельного середовища та корозійно-електрохімічних порівняльних випробувань засвідчило, що найефективнішим антикорозійним захистом низьковуглецевих сталей буде такий комбінований захист: електрометалізаційний протектор-



**Рис. 2.** Універсальний пересувний комплекс устаткування для захисту від корозії металоконструкцій комбінованим метало-лакофарбовим покриттям: 1 – установка термоабразивного очищення поверхні «Беркут»; 2 – установка безповітряного нанесення лакофарбових матеріалів WIWA professional 24071; 3 – установка електродугового напилення металу Mettalisation Energizer–300; 4 – блок приладів для контролю якості виконання захисних робіт; 5 – ящик з розхідними матеріалами

ний шар зі сплаву алюмінію АМг-6 товщиною близько 100 мкм з нанесеним зверху антистатичним епоксидним шаром із струмопровідним наповнювачем товщиною близько 60 мкм.

Перевага комбінованого покриття полягає в тому, що воно перекриває відкриту пористість металевого протекторного шару з алюмінієвого сплаву, гальмує доступ корозивного середовища до основи, попереджає його анодне розчинення. Адгезійна міцність поверхневого шару комбінованого покриття зростає через розвинену поруватість і шорсткість металевому шару покриття, а його довговічність зростає через малу дифузю середовища до металу осно-

ви. Розрахункова довговічність комбінованого покриття складає понад 30 років.

### ПРОЕКТУВАННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО ПЕРЕСУВНОГО КОМПЛЕКСУ УСТАТКУВАННЯ

Згідно з планом робіт науково-технічного проекту № 26 нами було розроблено технічне завдання на проектування комплексу, а також спроектовано і виготовлено комплект креслень важливих вузлів установки термоабразивного очищення, а також елементів кріплення всього устаткування на причепі до вантажного автомобіля. Згідно з проектною документацією укомплектовано універсальний пересувний комплекс устаткування для захисту від корозії металоконструкцій комбінованим метало-лакофарбовим покриттям. Згідно з проектною документацією комплекс сформовано з устаткування, що забезпечує параметри технічного завдання:

- ✦ установка термоабразивного очищення поверхні;
- ✦ установка електродугового напилювання металу Mettalisation Energizer–300;
- ✦ установка безповітряного нанесення лакофарбових матеріалів WIWA professional 24071;
- ✦ блок приладів для контролю якості виконання захисних робіт.

Усе устаткування технологічно зручно розміщене та зафіксоване на причепі до вантажного автомобіля. На рис. 2 наведено спроектований універсальний комплекс устаткування, призначений для виконання таких робіт:

- ✦ термоабразивне очищення поверхні металу;
- ✦ електродугове напилювання протекторного металізаційного шару металу;
- ✦ нанесення лакофарбового покриття.

Установка термоабразивного очищення поверхні складається з резервуару абразиву, колекторів регулювання подачі повітря, абразиву і палива до реактивного генератора. В камері генератора після згоряння палива утворюється потік гарячих газів, що надає надзвукової швидкості повітряно-абразивній суміші, яка спрямовується на поверхню металу для очищення. Установка забезпечує виконання очи-

щення поверхні металоконструкцій до найвищого ступеня чистоти Sa 3 (ISO 8501-1) від будь-яких забруднень (старе покриття, бітум, іржа, окалина та ін.) з одночасним знежиренням при високій продуктивності та досягненні необхідної шорсткості (рельєфу) поверхні. Результати металографічних та електрохімічних досліджень засвідчили, що поверхня термоабразивно оброблених зразків частково зміцнюється, їх корозійна стійкість підвищується. Це дає можливість значно збільшити проміжок часу між очищенням і нанесенням металізаційного чи іншого покриття, тим самим підвищуючи технологічність очищення.

Для одержання комбінованого захисного покриття спроектований комплекс оснащений установкою електродугового напилення металу Metallisation Energizer—300 та установкою безповітряного нанесення лакофарбових покриттів WIWA professional 24071.

Згідно з вимогами технічного завдання нами підготовлено комплект нормативно-технічної документації на застосування універсального пересувного комплексу устаткування:

- ✦ паспорт комплексу;
- ✦ технологічна інструкція з експлуатації комплексу.

### ВИСНОВКИ

1. На основі корозійно-електрохімічних досліджень опрацьовано технологічний процес захисту від корозії металоконструкцій комбінованим метало-лакофарбовим покриттям.

2. Розроблено комплект креслень та проведена модернізація установки термоабразивного очищення поверхні, здійснено комплектування установки напилення металу та нанесення лакофарбових покриттів приладами контролю якості протикорозійних робіт.

3. Спроектовано, виготовлено та укомплектовано універсальний мобільний комплекс (усі складові комплексу змонтовані на причепі до вантажного автомобіля; передбачена можливість їх застосування в автономному режимі) устаткування для захисту від корозії металоконструкцій комбінованими метало-лакофар-

бовими покриттями, який забезпечує виконання послідовного циклу технологічних операцій: термоабразивне очищення поверхні металоконструкцій до найвищого ступеню чистоти Sa 3 за міжнародним стандартом ISO8501-1 установкою «Беркут»; електродугова металізація поверхні металоконструкцій, в залежності від вимог – цинком чи алюмінієм установкою Metallisation Energizer—300; безповітряне нанесення завершального лакофарбового покриття установкою WIWA. Всі технологічні процеси контролюються приладами блоку контролю. Проведені пусконаладжувальні випробування мобільного комплексу та його дослідно-промислове впровадження при нанесенні цинкового металізаційного шару та епоксидного лакофарбового покриття на днище резервуару зберігання нафтопродуктів ТзОВ «Карпатнафтохім».

4. Оформлено комплект нормативно-технічної документації на комплекс: паспорт і технологічна інструкція.

5. Укомплектована бригада кваліфікованих спеціалістів для виконання протикорозійного захисту металоконструкцій комбінованими метало-лакофарбовими покриттями при застосуванні устаткування створеного комплексу.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Lavryshyn B.M.* Technological process of ultrasonic thermoabrasive preparation of metal structures surfaces and application of combined anticorrosive coatings / B.M. Lavryshyn, V.I. Pokhmurskyi, R.B. Lavryshyn // Zbornik – Proceedings of INTERANTIKOR'96. – Košice, 1996. – S. 61–66.
2. *Лавришин Б.* Технологія захисту від корозії металоконструкцій! нанесенням комбінованих металізаційно-лакофарбових покриттів / Б. Лавришин, М. Волошин, Ю. Шура // Тез. доп. II Міжнар. наук.-практ. конф. «Управління енерговикористанням». – Львів, 1997. – С. 159–160.
3. *Лавришин Б.М.* Технологія і обладнання для надзвуквої термоабразивної підготовки поверхні металоконструкцій та нанесення комбінованих протикорозійних покриттів / Б.М. Лавришин, М.П. Волошин, М.М. Студент // Матеріали III Міжнар. конф.-виставки «Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів. Корозія-96». – Львів, 1996. – С. 124–125.

4. *Електродугові відновні та захисні покриття* / В.І. Похмурський, М.М. Студент, В.М. Довгунік та ін. – Львів: ФМІНАН України, 2005. – 167 с.
5. *Вплив методів та режимів поверхневої абразивної обробки на корозійно-електрохімічну поведінку сталі Ст. 3.* / О.С. Калахан, В.Ф. Чекурін., Г.Г. Охота та ін. // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів: В 2-х т. / Спецвипуск журналу «Фізико-хімічна механіка матеріалів». – 2006. – Т. 2, № 5. – С. 164–171.
6. *Комбіноване покриття з протекторними властивостями для захисту від корозії днищ резервуарів для зберігання нафти* / О.С. Калахан, М.М. Студент, Б.М. Лавришин та ін. // Збірник наукових статей «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин». – К.: ІЕЗ ім. Є.О. Патона, 2009. – С. 164–166.

*Б.Я. Генєга, В.Н. Федирко,  
М.П. Волошин, А.Т. Пичугин, А.Г. Лукьяненко*

РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ  
УНИВЕРСАЛЬНОГО ПЕРЕДВИЖНОГО  
КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ  
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ОТ КОРРОЗИИ

Спроектирован, изготовлен и укомплектован универсальный передвижной комплекс для защиты металло-

конструкций от коррозии. Оптимизирован технологический процесс формирования комбинированного защитного покрытия.

*Ключевые слова:* поверхность, термоабразивная очистка, металлизация, защита от коррозии, комбинированное покрытие.

*B.Ja. Genega, V.M. Fedirko,  
M.P. Voloshyn, A.T. Pichuhin, O.G. Lukyanenko*

DESIGN AND PRODUCTION  
OF UNIVERSAL MOBILE EQUIPMENT  
SET FOR CORROSION  
PROTECTION OF METALS

The universal mobile complex for corrosion protection of metals is designed, manufactured and equipped. The technological process of a combined protective coating was optimized.

*Key words:* surface, thermal abrasive cleaning, plating, corrosion protection, the combined coating.

Стаття надійшла до редакції 31.05.11