

*Павло ПОПОВИЧ*

**ОСОБЛИВОСТІ КОРОЗІЙНОЇ ТА КОРОЗІЙНО-ВТОМНОЇ ПОВЕДІНКИ  
СТАЛІ 20 У ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩАХ МІНЕРАЛЬНИХ  
ТА ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ**

*Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя  
вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46000. E-mail: PPopovich@ukr.net*

*Pavlo POPOVYCH*

**SPECIFICS OF BEHAVIOR CORROSION AND CORROSION FATIGUE OF  
20 STEEL IN WATER ENVIRONMENTS OF MINERAL  
AND ORGANIC FERTILIZERS**

*Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University  
56, Rus'ka Str., Ternopil, 46001, Ukraine. E-mail: : PPopovich@ukr.net*

**ABSTRACT**

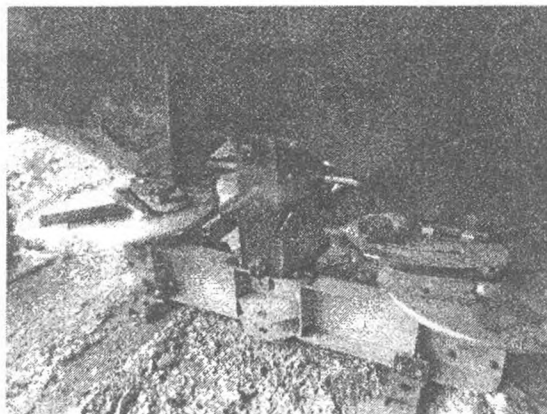
Corrosion behaviour of 20 steel in fertilizer and manure medium was investigated. Corrosion rate in saturated solutions of ammonium sulfate and nitrophoska is 0,29...0,33 mm/year, in mixed and liquid manure - 0,032...0,04033 mm/year, which is in 3-4 lower to compare with the corrosion rate in distilled water. Solution of fertilizer and manure decreased steel resistance to corrosion-fatigue damage on all level of loading.

**KEY WORDS:** *mineral and organic fertilizers, nitrophoska and ammonium sulphate (dry), liquid and mixed manure, corrosion rate, corrosion deep index.*

**ВСТУП**

Статистика відмов сільськогосподарських машин в Україні та інших пострадянських державах вказує на необхідність детального аналізу причин зниження їх довговічності та роботоздатності. Поряд із об'єктивними обставинами вичерпання ресурсу машинних парків, відсутністю достатніх коштів на їх заміну, суттєвою причиною такої ситуації є несумлінне ставлення до збереження існуючого обладнання [1].

Особливістю експлуатації сільськогосподарських машин, які контактують з мінеральними та органічними добривами, зокрема розкидачів добрив (рис. 1), є їх невеликий робочий період, що становить всього 20 % від загального часу. Тому забезпечення роботоздатності обладнання здійснюється на стадії міжопераційного (міжсезонного) зберігання.



**Рис. 1.** Загальний вигляд розкидача мінеральних добрив.

**Fig. 1.** Overall view of the spreader of mineral fertilizers.

Одними із найнебезпечніших чинників, які призводять до відмов сільськогосподарської техніки, є корозія та корозійно-механічне руйнування основних вузлів машин, особливо в т.зв. стоянковий період. Незважаючи на вже існуючі дослідження впливу процесів корозії та корозійно-втомного руйнування, на зниження роботоздатності сільськогосподарських машин [2], у цій області залишається достатньо багато питань, що потребують поглибленого вивчення. Це, зокрема, стосується корозії та корозійної втоми в деяких мінеральних добривах, трактування механізмів яких є достатньо суперечливим, відсутності надійних даних щодо корозійної та корозійно-втомної поведінки мало- та середньовуглецевих сталей в органічних добривах: гної великої рогатої худоби та рідкому гної.

Для пошуку шляхів підвищення довговічності розкидачів мінеральних та органічних добрив необхідно виявити причини та встановити початок і перебіг процесів корозії та корозійно-втомного руйнування матеріалу конструкцій в агресивних середовищах різних добрив.

Тому метою роботи було вивчення особливостей процесу корозії та корозійно-втомного руйнування сталі 20 (основного конструкційного матеріалу розкидачів) у насичених розчинах сульфату амонію, нітрофоски, гною великої рогатої худоби та гною змішаного.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Корозійні випробування виконували на зразках зі сталі 20 у стані постачання, виготовлених у вигляді дисків. Поверхня зразків шліфувана до шорсткості  $R_a = 0,63$  мкм. Підготовку зразків та випробування проводили у відповідності до відомих методик [3].

Корозивним середовищем слугували: дистильована вода (модель водного конденсату або дощівки), органічні добрива (рідкий гній великої рогатої худоби та гній змішаний) і насичені розчини двох мінеральних добрив: сульфату амонію  $(NH_4)_2SO_4$  та нітрофоски. Перед початком випробувань рідкий гній та гній змішаний фільтрували через паперовий фільтр для усунення диспергованих залишків соломи, насіння тощо.

Швидкість корозії  $K_m$  (г/(см<sup>2</sup>·год)) визначали масометричним методом після експозиції протягом 1, 7, 12 та 24 діб у корозивних середовищах або в сипучих міндобривах та розраховували за формулою

$$K_m = \Delta m / S \cdot \tau, \quad (1)$$

де  $\Delta m$  – зміна ваги зразка після експозиції в корозивному середовищі та усунення продуктів корозії, г;  $S$  – площа зразка, см<sup>2</sup>;  $\tau$  – час його експозиції, год.

Отримані величини перераховували на глибинний показник  $\Pi$  (мм/рік)

$$\Pi = \frac{K_m \cdot k}{\gamma} \cdot 10^{-1}, \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт перерахунку год/рік;  $\gamma$  – густина металу (для заліза – 7,86 г/см<sup>3</sup>).

Випробування на багатоциклову корозійну втому проводили на машинах ІМА – 5 на циліндричних зразках ( $\varnothing$  5 мм) чистим згином з обертанням [4]. Зміна напружень у зразку відбувається за гармонійним синусоїдальним законом і симетричним циклом. Напруження в зразку  $\sigma$  розраховували за формулою

$$\sigma = M/W = 611,465 / d^3 (12P_1 + P_0) \quad (3)$$

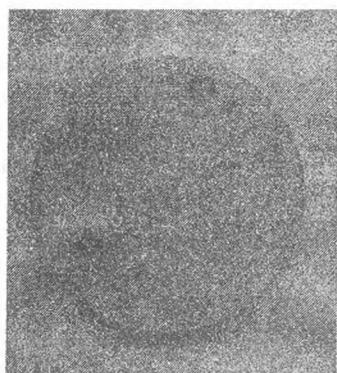
де  $M$  – згинаючий момент;  $W$  – момент опору робочої частини зразка;  $d$  – діаметр зразка;  $P_0$  – вага важільної системи і барабанів, які навантажують зразок;  $P_1$  – навантаження.

Корозивне середовище до зразка подавали з резервуара краплями (10-15 крапель/хв). Криві втоми представляли в напівлогарифмічних координатах, з яких і визначали умовну границю корозійної втоми.

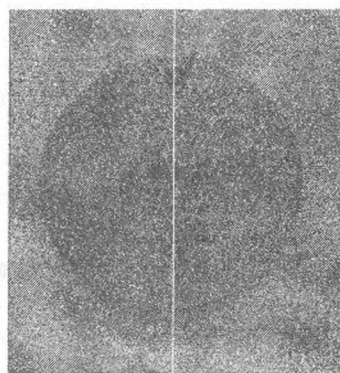
## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Перші корозійні пошкоди – поодинокі пітинги на сталевих зразках, поміщених у сипучий кристалічний  $(NH_4)_2SO_4$ , з'явилися через 24 год, які за наступні 4 доби злились у виразки. В кристалічній нітрофосці поодинокі пітинги з'явилися на 7 добу (рис. 2).

Через 24 доби швидкість корозії сталі 20 в сульфаті амонію стабілізувалась на рівні 0,006 мм/рік, а в нітрофосці – на рівні 0,0012 мм/рік.



а

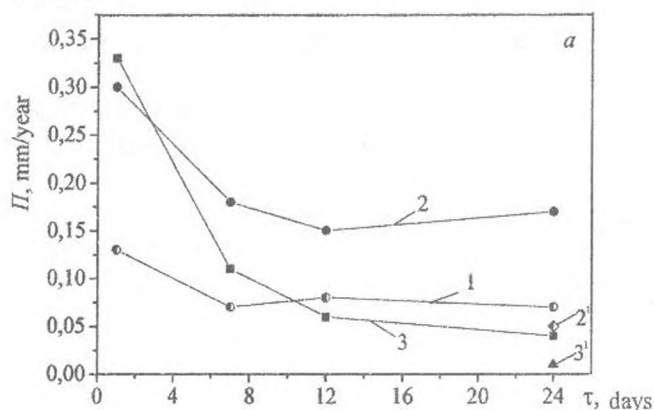


б

**Рис. 2.** Загальний вигляд зразків сталі 20 після експозиції (24 доби) у кристалічних нітрофосці (а) та сульфаті амонію (б).

**Fig. 2.** Overall view of 20 steel specimens after a 24 hours of exposition in the nitrophoska (dry) (а) and ammonium sulphate (dry) (б).

У першу добу найвищі швидкості корозії сталі 20 спостерігали в насиченому розчині нітрофоски, але, починаючи з 12-ї доби, вони стають нижчими, ніж у насиченому розчині сульфату амонію (рис. 3). Ці швидкості в 29–36 разів вищі, ніж відповідні швидкості в кристалічних мінеральних добривах сульфату амонію та нітрофоски, що є результатом каталітичного впливу води [5].

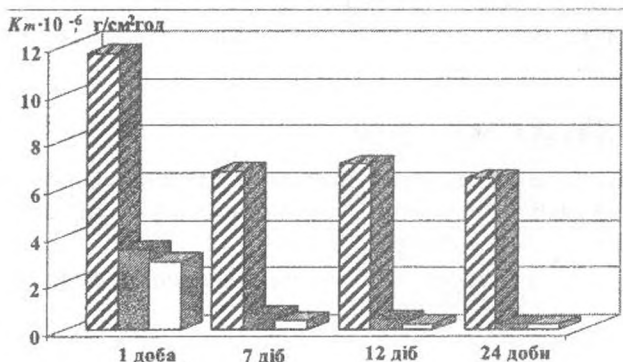


**Рис. 3.** Залежність глибинного показника  $P_i$  корозії сталі 20 від часу експозиції в розчинах: 1 – вода дистильована; 2 – насичений розчин сульфату амонію; 2' – сульфат амонію (кристалічний); 3 – насичений розчин нітрофоски; 3' – нітрофоска (кристалічна).

**Fig. 3.** Dependence of 20 steel corrosion deep index on exposure time  $\tau$  in solutions: 1 – distilled water; 2 – saturated ammonium sulphate solution; 2' – ammonium sulphate (dry); 3 – saturated nitrophoska solution; 3' – nitrophoska (dry).

Нижчі значення швидкостей корозії в розчині нітрофоски порівняно зі сульфатом амонію та водою за довшої експозиції (від 12 діб) пов'язані, ймовірно, з пасивувальною дією аніонів  $\text{NO}_3^-$  та утворенням фосфатного шару на поверхні сталі іонами  $\text{HPO}_4^{2-}$ .

Корозійні випробування сталі 20 за різного часу експозиції у фільтрованому рідкому та змішаному гноях показали наступне (рис. 4). Швидкість корозії впродовж першої доби в 3–4 рази нижча, ніж у дистильованій воді та у 8–10 нижча, ніж у середовищі мінеральних добрив амонію сульфату та нітрофоски.



**Рис. 4.** Швидкість корозії сталі 20 за різного часу експозиції в середовищі:  $\square$  –  $\text{H}_2\text{O}$ ;  $\blacksquare$  – рідкий гній;  $\square$  – гній змішаний.

**Fig. 4.** Corrosion rate of 20 steel after different exposition time in media:  $\square$  –  $\text{H}_2\text{O}$ ;  $\blacksquare$  – liquid manure;  $\square$  – mixed manure.

Збільшення часу експозиції веде до суттєвого зменшення швидкості корозії сталі 20. Через 24 доби швидкості в обох середовищах зрівнюються. Порівняно із дистильованою водою протя-

гом першої доби рідкий та змішаний гної виявляють інгібувальний ефект на рівні 65–75 %. Через 24 доби ступінь захисту сягає вже 96 %. Різниця між корозійною активністю обох видів гною практично відсутня

Опір сталі 20 корозійно-втомному руйнуванню в середовищах мінеральних добрив порівняно з повітрям та дистильованою водою суттєво знижується у всьому діапазоні досліджених навантажень. Умовна границя корозійної втоми на базі  $N = 50$  млн. циклів (рис. 5) в розчині сульфату амонію знизилася в 2,2 рази і в розчині нітрофоски в 2,5 рази порівняно з  $\sigma$  на повітрі та відповідно в 1,9 і 2,2 рази порівняно з дистильованою водою. Найменш негативний вплив на опір сталі 20 корозійній втомі виявив гній змішаний. Умовна границя втоми в цьому середовищі підвищилася на 8% порівняно із дистильованою водою, виявивши таким чином властивості інгібітора корозійно-втомного руйнування.

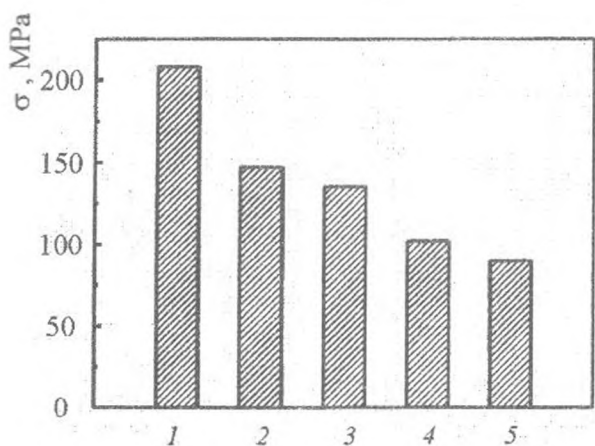


Рис.5. Залежність границі витривалості сталі 20 від складу розчину: 1 – повітря ( $N_0 = 10^7$  циклів);

2 – гній ( $N_0 = 5 \cdot 10^7$  циклів); 3 – дистильована вода ( $N_0 = 5 \cdot 10^7$  циклів); 4 – сульфат амонію ( $N_0 = 5 \cdot 10^7$  циклів); 5 – нітрофоска ( $N_0 = 5 \cdot 10^7$  циклів).

Fig. 5. Fatigue limit dependence of solution composition: 1 – air ( $N_0 = 10^7$  cycles); 2 – manure ( $N_0 = 5 \cdot 10^7$  cycles); 3 – distilled water ( $N_0 = 5 \cdot 10^7$  cycles); 4 – ammonium sulphate ( $N_0 = 5 \cdot 10^7$  cycles); 5 – nitrophoska ( $N_0 = 5 \cdot 10^7$  cycles).

## ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що насичені розчини сульфату амонію та нітрофоски, на відміну від їх кристалічних концентратів, спричиняють інтенсивні корозійні пошкоди сталі 20. Швидкості корозії сягають 0,29...0,33 мм/рік, що є в 2,2...2,5 рази вищим від швидкостей у дистильованій воді.

2. Показано, що швидкості корозії сталі 20 у розчинах мінеральних добрив максимальні за першої доби та поступово знижуються зі збільшенням часу експозиції, що може бути наслідком формування на поверхні сталі захисних шарів пасиваційної або сольової природи.

3. Швидкості корозії сталі 20 у середовищі органічних добрив за першу добу експозиції становлять лише 0,032...0,040 мм/рік, що є в 3–4 рази нижчим порівняно із модельним розчином дощової води. Наступне (24 доби) зниження швидкості до 0,003 мм/рік може бути пов'язане з інгібувальними властивостями хімічних складових гною.

4. Розчини мінеральних добрив зменшують опір сталі 20 корозійній втомі на всіх рівнях навантажень. Умовна границя втоми при цьому знижується порівняно з повітрям в 2,2 (сульфат амонію) та в 2,5 (нітрофоска) рази. Органічні добрива порівняно із дистильованою водою підвищують умовну границю втоми на 8 %.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Михайлович Я., Рубець А. Проблеми зберігання сільськогосподарської техніки // Пропозиція. – 2008. – № 12. – С. 90-104.
2. Износ деталей сельскохозяйственных машин / М.М.Севернев, Г.П.Каплун, В.А.Короткевич, С.Н.Кот. – Л.: Колос, 1972. – 145 с.
3. Лабораторные работы по коррозии и защите металлов / Н.Д.Томашов, П.Н.Жук, В.А.Титов, М.А.Веденева. – М.: Металлургия, 1971. – 280 с.
4. Упрочнение стали механической обработкой / Г.В. Карпенко, Ю.И. Бабей, И.В. Карпенко, Э.М. Гутман – Киев: Наук. думка, 1966. – 204 с.
5. Попович П.В., Слободян З.В. Корозійна і електрохімічна поведінка сталей 20 та Ст.3 у середовищах сульфату амонію і нітрофоски. // Фіз.-хім. механіка матеріалів – 2013. – № 6. – С. 100-106.

Попович П. Особливості корозійної та корозійно-втомної поведінки сталі 20 у водних середовищах мінеральних та органічних добрив <i>Popovych P. Specifics of behavior corrosion and corrosion fatigue of 20 steel in water environments of mineral and organic fertilizers</i> .....	80
Штефан В., Байрачний Б., Тульская А., Смирнова О. Корозійна поведінка феросплавних та оксидних матеріалів на основі титану <i>Shtefan V., Bayrachny B., Tul'skaya A., Smirnova O. Corrosion behavior of ferroalloy and oxide materials on basis of titanium</i> .....	84
Татарченко Г. Влияние озона на локальную коррозию нержавеющей стали <i>Tatarchenko G. Effects of ozone to localized corrosion stainless steel</i> .....	89
Сусь Л., Мерцало І. Анодне розчинення золота в органічних апротонних розчинниках за стаціонарного та імпульсного електролізу <i>Sus L., Mertsalo I. Anodic dissolution of gold in an organic aprotic solvent at the stationary and pulsed electrolysis</i> .....	94
Винар В., Бондаренко В., Барановський О., Рудковський Є. Вплив добавок порошку графіту до сплаву ВН20 на його корозійну тривкість <i>Vynar V., Bondarenko V., Baranovskii O., Rudkovskii E. Influence of additives powder of graphite to alloy ВН20 on corrosion resistance</i> .....	99
Івашків В. Електрохімічне перероблення псевдосплаву WC-Ni за реверсного симетричного струму <i>Ivashkiv V. Electrochemical processing pseudoalloys WC-Ni at symmetrical current reverse</i> .....	105
Лукашук Т., Ларін В., Пшенична С. Корозійна поведінка алюмінію в хлоридних розчинах різного складу <i>Lukashchuk T., Larin V., Pshenichnaya S. Corrosion behavior of aluminum in chloride solutions of different composition</i> .....	110
Косаревич Р., Похмурський А., Русин Б. Про стохастичні підходи до моделювання пітингової корозії та взаємодії пітінгів <i>Kosarevych R., Pokhmurskyu A., Rusyn B. About statistical approaches for pitting corrosion modelling and pits interaction</i> .....	115
Торська Р., Русин Б. Моделювання пітингоподібних дефектів на металевих поверхнях із застосуванням методу кліткових автоматів <i>Tors'ka R., Rusyn B. Modelling of pit similar defects on metal surfaces using the cellular automata method</i> .....	119
Любимова-Зінченко О. Деградація оцяднолегованих сталей в умовах промислових корозивних середовищ <i>Lyubumova-Zinchenko O. Degradation the low-alloy steel in the terms industrial corrosive environment</i> .....	123
Краснокутская Т., Татарченко Г., Шукайло Б., Шаповалова І. Влияние температуры на коррозию углеродистой стали в оборотной воде <i>Krasnokutskaya T., Tatarchenko G., Shukaylo B., Shapovalova I. Influence of temperature on corrosion carbon steel in circulating water</i> .....	128
Бліхарський З., Хміль Р., Струк Р. Експериментально-теоретичні дослідження міцності залізобетонних балок, пошкоджених дією агресивного середовища <i>Blikcharskyu Z., Khmil R., Struk R. Experimental and theoretical research of strength of concrete beams that were damaged after influence of corrosion</i> .....	133

### *Воднева та газова корозія* *Hydrogen and gas corrosion*

Андрейків О., Яворська Н., Кухар В., Матвійів Ю. Оцінка періоду докритичного росту тріщин високотемпературної повзучості в тонкостінних елементах конструкцій за впливу водню <i>Andreykiv O., Yavorska N., Kukhar V., Matviiv Yu. Estimation of period of subcritical growth of high temperature creep cracks in the construction thin-walled elements under hydrogen influence</i> .....	139
---	-----

ISSN 0430-6252

1



ФІЗИКО  
ХІМІЧНА  
МЕХАНІКА  
МАТЕРІАЛІВ

спеціальний випуск  
№10

# ПРОБЛЕМИ КОРОЗІЇ та ПРОТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ МАТЕРІАЛІВ

PHYSICO  
CHEMICAL  
MECHANICS  
of MATERIALS

special issue  
№10

# PROBLEMS of CORROSION and CORROSION PROTECTION of MATERIALS

Львів  
2014  
Lviv

Національна академія наук України  
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка

ФІЗИКО-  
ХІМІЧНА  
МЕХАНІКА  
МАТЕРІАЛІВ

Спеціальний випуск № 10

**ПРОБЛЕМИ КОРОЗІЇ  
ТА ПРОТИКОРОЗІЙНОГО  
ЗАХИСТУ МАТЕРІАЛІВ**

**PROBLEMS OF CORROSION  
AND CORROSION  
PROTECTION OF MATERIALS**



PHYSICO-  
CHEMICAL  
MECHANICS  
OF MATERIALS

Special Issue № 10

## **РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ ЖУРНАЛУ "ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ"**

*В.В.ПАНАСЮК (головний редактор), В.М.ФЕДІРКО (заст.головного редактора), Р.Р.КОКОТ (відповідальний секретар), О.С.АНДРЕЙКІВ, С.А.БИЧКОВ, І.М.ДМИТРАХ, І.М.ЗІНЬ, Г.С.КІТ, Р.М.КУШНІР, Л.М.ЛОБАНОВ, З.Т.НАЗАРЧУК, Г.М.НИКИФОРЧИН, І.В.ОРИНЯК, О.П.ОСТАШ, В.І.ПОХМУРСЬКИЙ, І.К.ПОХОДНЯ, М.П.САВРУК, З.А.СТОЦЬКО, Г.Т.СУЛИМ, В.В.ФЕДОРОВ, С.О.ФІРСТОВ, П.В.ЯСНІЙ*

## **МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**

*Р.АКІД (Великобританія), С. ВОДОНІЧАРОВ (Болгарія), І.-Р. ГАРРІС (Великобританія), Г.ГЛІНКА (Канада) В. ДІЦЕЛЬ (Німеччина), Ю.І. КУЗНЕСЦОВ (Росія), О.М. ЛОКОЩЕНКО (Росія), Е.ЛУНАРСЬКА (Польща), С.Й. МАТИСЯК (Польща), М.А. МАХУТОВ (Росія), І. МІЛЬН (Великобританія), М.Ф. МОРОЗОВ (Росія), А. НЕЙМІЦ (Польща), Дж.-Ф. НОТТ (Великобританія), Г. ПЛЮВІНАЖ (Франція), Я. ПОКЛЮДА (Чехія), Р.-О. РІЧІ (США), С. СЕДМАК (Югославія), Д.-М.-Р. ТЕПЛІН (Великобританія), Л. ТОТ (Угорщина), М. ШАПЕР (Німеччина)*

## **EDITORIAL BOARD**

*V.V.PANASYUK (Editor-in-Chief), V.M.FEDIRKO (Associate Editor), R.R.KOKOT (Secretary), O.Ye.ANDREIKIV, S.A.BYCHKOV, I.M.DMYTRAKH, V.V.FEDOROV, S.O.FIRSTOV, H.S.KIT, R.M.KUSHNIR, L.M.LOBANOV, Z.T.NAZARCHUK, H.M.NYKYFORCHYN, L.V.ORYNIAK, O.P.OSTASH, V.I.POKHMURSKYI, I.K.POKHODNIA, M.P.SAVRUK, Z.A.STOCKO, H.T.SULYM, P.V.YASNII, I.M.ZIN'*

## **INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD**

*R. AKID (Great Britain), W.DIETZEL (Germany), I.R.HARRIS (Great Britain), H.HLINKA (Canada), J.P.KNOTT (Great Britain), Yu.I.KUZNETSOV (Russia), A.M.LOKOSHCHENKO (Russia), E.LUNARSKA (Poland), N.A.MAKHUTOV (Russia), S.Ya.MATYSIAK (Poland), I.MILNE (Great Britain), N.F.MOROZOV (Russia), A.NEIMITZ (Poland), G.PLUVINAGE (France), Ya.POKLUDA (Czech Republic), R.O.RITCHIE (USA), M.SCHAPER (Germany), D.-M.-R.TAPLIN (Great Britain), L.TOTH (Hungary), S. VODENICHAROV (Bulgaria)*

Адреса редакції журналу  
"Фізико-хімічна механіка матеріалів":

79060, Львів, Наукова, 5. Фізико-механічний інститут  
ім. Г.В.Карпенка НАН України.  
Тел.: 8 (032) 263-73-74, 8 (032) 22-96-230.  
Факс 8(032) 64-94-27,  
E-mail: [pcmm@ipm.lviv.ua](mailto:pcmm@ipm.lviv.ua)

Наша WWW-адреса:  
Editorial office address of Journal  
"Physico-Chemical Mechanics of  
Materials":

<http://www.ipm.lviv.ua/journal/Journal.htm>  
Karpenko Physico-Mechanical Institute, 5, Naukova St.,  
Lviv 79060, Ukraine,  
Tel.: (380) 322 63 73 74, (380) 32 22 96 230.  
Fax. (380) 322 64 94 27.

Our WWW-address:

E-mail: [pcmm@ipm.lviv.ua](mailto:pcmm@ipm.lviv.ua)  
<http://www.ipm.lviv.ua/journal/Journal.htm>

Відповідальний секретар редакції Р.Р.Кокот  
Редактори Д.С.Бриняк, О.Т.Досин, Л.Є.Єлейко  
Комп'ютерний набір Н.Р.Червінська

Рестраційне свідоцтво серія КВ № 203 від 10.11.93

© Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України  
"ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ", 2014