

620.175  
Т 38

# ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА

МАТЕРІАЛІВ І  
КОНСТРУКЦІЙ

ДОВІДНИКОВИЙ ПОСІБНИК

ТОМ  
6

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г. В. КАРПЕНКА

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE  
KARPENKO PHYSICO-MECHANICAL INSTITUTE



# ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ

ДОВІДНИКОВИЙ ПОСІБНИК

у 8-ми томах

За загальної редакції  
академіка НАН України  
З. Т. НАЗАРЧУКА

ЛЬВІВ

ВИДАВНИЦТВО «Простір-М»

2017

В. І. ПОХМУРСЬКИЙ, І. М. ДМИТРАХ, М. С. ХОМА,  
О. Т. ЦИРУЛЬНИК, І. М. ЗІНЬ, М. Д. САХНЕНКО,  
Ю. С. ГЕРАСИМЕНКО

# **ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ МЕТОДИ МОНІТОРИНГУ ДЕГРАДАЦІЇ МАТЕРІАЛУ КОНСТРУКЦІЙ**

За редакції  
член-кореспондента НАН України  
В. І. ПОХМУРСЬКОГО

Том 6

ЛЬВІВ  
ВИДАВНИЦТВО «Простір-М»  
2017

# **TECHNICAL DIAGNOSTICS OF MATERIALS AND STRUCTURES**

REFERENCE MANUAL

in 8 volumes

Editor-in-Chief  
Academician of NAS Ukraine  
Z. T. Nazarchuk

LVIV  
PUBLISHING HOUSE «Prostir-M»  
2017

V. I. POKHMURSKYI, I. M. DMYTRAKH, M. S. KHOMA,  
O. T. TSYRULNYK, I. M. ZIN, M. D. SAKHNENKO,  
Yu.S. HERASYMENKO

**ELECTROCHEMICAL  
METHODS  
FOR MONITORING  
OF CONSTRUCTION  
MATERIALS DEGRADATION**

Editor

Corresponding member of NAS Ukraine

V. I. Pokhmurskyi

Volume 6

LVIV

PUBLISHING HOUSE «Prostir-M»

2017

УДК 620.193:681.518

Tex 38

Подано терміни та визначення основних понять корозії металів і сплавів, описано її види та методи випробувань. Проаналізовано характер зміни електрохімічних характеристик під час корозійно-механічного руйнування металів з акцентом на його початкову стадію. Описано методи пришвидшеного встановлення опірності корозійній втомі та корозійно-ерозійному руйнуванню сталей, а також їх водневому окрихченню. Обґрунтовано основні підходи до електрохімічного моніторингу деградації металів і технічного стану металоконструкцій та обладнання хімічних і нафтопереробних підприємств. Описано фізико-хімічні процеси на поверхні металів з полімерними покриттями і підходи до моделювання їх деградації та прогнозування захисних властивостей і ресурсу. Проаналізовано можливість застосування сканівного електрода для дослідження розвитку корозії в околі дефектів лакофарбових покриттів на металах. Проілюстровано використання фізико-хімічних методів для оцінювання ресурсу трубопроводів з урахуванням опору сталей розвитку тріщиноподібних дефектів у воденьвмісних середовищах, а також методу поляризаційного опору для моніторингу корозивності техногенних середовищ і подано опис промислового обладнання для його практичної реалізації.

Для наукових працівників та інженерів, які працюють у галузі проектування і експлуатації нафто- і газопроводів, металоконструкцій та обладнання, що експлуатуються в агресивних середовищах.

Л. 230. Табл. 35. Бібліогр.: 437 назв.

The terms and definitions of basic concepts of corrosion of metals and alloys are given, corrosion testing methods are described. The character of changes of steels electrochemical characteristics during their corrosion-mechanical destruction was analysed. The methods of accelerated determination of steels resistance to corrosion fatigue, corrosion-erosive destruction and their hydrogen embrittlement are discussed. The basic approaches to electrochemical monitoring of metal degradation and technical state of metal constructions and equipment of chemical and oil refining industry are presented. Physical and chemical processes on the surface of metals with polymeric coatings and approaches to modeling their degradation and forecasting of protective properties and service life are described. The possibilities of using a scanning reference electrode for the study of the development of corrosion in defects of paint coatings on metals are considered. The application of physico-chemical methods of pipelines service life estimation, based on resistance of steels to cracks defect development in hydrogen-containing environments, is illustrated. The application of the polarization resistance method for monitoring of technogenic environments corrosivity is analysed and the description of the new generation of industrial equipment for its practical implementation have been given.

For scientists and engineers working in the field of development and exploitation of oil and gas pipelines, metal constructions and equipment, operated in aggressive environments, in particular in the oil refining, chemical and other industries.

Fig. 230. Tabl. 35. Bibliogr.: 437 title.

**Рецензенти:** доктор технічних наук, професор *Г. М. Никифорчин*

доктор технічних наук, професор *О. І. Кунтій*

Друкється за постановою вченої ради Фізико-механічного інституту

ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України

ISBN 978-617-7501-02-1

ISBN 978-617-7501-09-0 (Т.6)

© Фізико-механічний інститут

ім. Г.В. Карпенка НАНУ, 2017

© В. І. Похмурський, І.М. Дмитрах,

М. С. Хома, О. Т. Цирульник, І. М. Зінь,

М. Д. Сахненко, Ю. С. Герасименко, 2017

© Видавництво "Простір-М", 2017

## ЗМІСТ

---

ВІД РЕДАКТОРА ТОМУ.....	7
FROM VOLUME EDITOR.....	9
<b>РОЗДІЛ 1</b>	
КОРОЗІЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ. ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПОНЯТЬ.....	11
1.1. Загальні поняття .....	11
1.2. Основні види корозії .....	18
1.3. Корозійно-механічне руйнування .....	20
1.4. Методи захисту від корозії .....	23
1.5. Види корозійних випробувань.....	25
1.6. Основні електрохімічні характеристики металів .....	26
Література до розділу 1 .....	29
<b>РОЗДІЛ 2</b>	
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ПОЧАТКОВОГО ПЕРІОДУ КОРОЗІЙНО- МЕХАНІЧНОГО РУЙНУВАННЯ МЕТАЛІВ.....	31
2.1. Методичні підходи до вивчення електрохімічних властивостей сталей під час корозійної втоми .....	31
2.2. Вплив циклічних навантажень на електрохімічні властивості вуглецевих сталей .....	33
2.3. Вплив циклічних навантажень на електрохімічні властивості нержавких сталей .....	35
Література до розділу 2.....	44
<b>РОЗДІЛ 3</b>	
МЕТОДИ ПРИШВИДШЕНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ОПІРНОСТІ КОРОЗІЙНІЙ ВТОМИ ТА КОРОЗІЙНО-ЕРОЗІЙНОМУ РУЙНУВАННЮ СТАЛЕЙ.....	46
3.1. Діагностування опору конструкційних сталей корозійно-втомному руйнуванню .....	46
3.2. Діагностування опору конструкційних сталей кавітаційно-ерозійному руйнуванню.....	49
3.3. Методи пришвидшеного визначення опірності низьколегованих сталей корозійно-водневого розтріскування.....	55
3.3.1. Метод пришвидшеного визначення опірності трубних сталей водневого мікророзтріскуванню .....	55



3.3.2. Метод пришвидшеного визначення ефективності інгібіторів водневого окрихчення конструкційних сталей .....	59
3.4. Методи пришвидшеного визначення границі втоми нержавких сталей у нейтральних електролітах .....	61
Література до розділу 3.....	76

## РОЗДІЛ 4

### ЕЛЕКТРОХІМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ДЕГРАДАЦІЇ МЕТАЛІВ І ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ .....

81

4.1. Електрохімічний моніторинг деградації механічних властивостей оццаднолегованих сталей .....	81
4.1.1. Експлуатаційна деградація електрохімічних властивостей оццаднолегованих сталей .....	81
4.1.2. Інформативні параметри експлуатаційної деградації конструкційних сталей, що експлуатуються за кліматичних температур .....	84
4.1.3. Електрохімічні методи діагностування технічного стану сталей експлуатованих магістральних газопроводів .....	86
4.2. Діагностування механічних властивостей конструкційних сталей, що експлуатуються за кліматичних температур, методом поляризаційного опору .....	88
4.2.1. Діагностування експлуатаційної деградації сталей магістральних трубопроводів .....	88
4.2.2. Діагностування експлуатаційної деградації сталей вузлів порталних кранів .....	90
4.2.3. Універсальна кореляційна залежність для діагностування експлуатаційної деградації вуглецевих і низьколегованих сталей.....	92
4.3. Корозійний моніторинг технічного стану обладнання хімічних та нафтопереробних підприємств .....	94
4.3.1. Потенціостатичний метод визначення ступеня пошкодження обладнання хімічної та нафтопереробної промисловості.....	96
4.3.2. Імпульсний метод визначення ступеня пошкодження обладнання хімічної та нафтопереробної промисловості.....	100
Література до розділу 4.....	109

## РОЗДІЛ 5

### ЗАСТОСУВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ (ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ) МЕТОДІВ ДЛЯ ОЦІНКИ РЕСУРСУ ТРУБОПРОВОДІВ .....

117

5.1. Вступні зауваження .....	117
5.2. Методи експериментальних досліджень руйнування та міцності матеріалів у корозивних і воденьвмісних середовищах .....	117
5.2.1. Фізико-механічні та фізико-хімічні методи дослідження початкових стадій руйнування матеріалів на циклічно деформованій поверхні за дії корозивних середовищ .....	118

295

5.2.2.	Методика та дослідне устаткування для визначення характеристик циклічної корозійної тріщиностійкості матеріалів трубопроводів з урахуванням електрохімічних процесів.....	123
5.2.3.	Електрохімічні методи випробувань сталей трубопроводів у воденьвмісних середовищах.....	127
5.3.	Оцінювання руйнування та міцності матеріалів трубопроводів за дії корозійного чинника .....	134
5.3.1.	Початкові стадії пошкоджуваності та опір руйнуванню трубопровідних сталей за їх циклічного навантаження у корозивних середовищах .....	135
5.3.2.	Вплив фізико-механічних та фізико-хімічних чинників на опір розвитку тріщиноподібних дефектів у трубопровідних сталях .....	139
5.4.	Оцінювання руйнування та міцності матеріалів трубопроводів за дії воденьвмісних середовищ.....	145
5.4.1.	Оцінювання схильності до наводнювання трубопровідних сталей .....	146
5.4.2.	Вплив водню на руйнування та локальну міцність трубних сталей біля дефектів - концентраторів напружень .....	148
5.4.3.	Оцінка концентрації водню біля тріщиноподібних дефектів та визначення циклічної тріщиностійкості матеріалів трубопроводів у воденьвмісних середовищах .....	152
5.5.	Оцінювання ризику руйнування та ресурсних можливостей дефектних трубопроводів за дії експлуатаційних середовищ .....	154
5.5.1.	Критерії оцінки міцності та ризику руйнування конструкційних елементів трубопроводів із тріщиноподібними дефектами .....	154
5.5.2.	Оцінювання роботоздатності та ризику руйнування трубопроводів за дії робочих середовищ.....	157
5.5.3.	Експертні системи для технічної діагностики елементів відповідальних трубопровідних конструкцій тривалої експлуатації.....	159
	Література до розділу 5.....	173

## РОЗДІЛ 6

### ЕЛЕКТРОХІМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОРГАНІЧНИХ ПОКРИВІВ

6.1.	Фізико-хімічні процеси в системі «метал-полімерний (лакофарбовий) покриття» .....	181
6.1.1.	Загальна характеристика .....	181
6.1.2.	Вологопроникність .....	188
6.1.3.	Киснепроникність .....	192
6.1.4.	Іонна проникність адгезованих покриттів .....	194
6.1.5.	Багатокомпонентна дифузія.....	197
6.1.6.	Корозійні процеси.....	199

6.2. Контроль фарадеївських і вторинних процесів .....	201
6.2.1. Вибірковість іонного транспорту .....	201
6.2.2. Електрична провідність і структурні характеристики полімерних матриць .....	204
6.2.3. Трансміембранний перенос у покритвах .....	206
6.2.4. Динаміка діелектричних властивостей .....	208
6.2.5. Контроль безадгезійної поверхні .....	212
6.2.6. Визначення площі локалізації анодної реакції .....	213
6.2.7. Вторинні процеси .....	215
6.3. Моделювання деградації покриттів і прогнозування ресурсу .....	218
6.3.1. Вибір контрольованих параметрів СМП .....	218
6.3.2. Прогнозування ресурсу .....	220
Література до розділу 6 .....	226

## РОЗДІЛ 7

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СКАНІВНОГО ЕЛЕКТРОДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗВИТКУ КОРОЗІЇ В ОКОЛІ <u>ДЕФЕКТУ ЛАКОФАРБОВОГО ПОКРИВУ НА МЕТАЛІ</u> .....	228
7.1. Передумови розроблення сканівних електрохімічних методів .....	228
7.2. Базові принципи одержання сканів локального потенціалу поверхні металу .....	229
7.3. Приклади застосування сканівних методів .....	233
7.3.1. Методичні особливості .....	233
7.3.2. Застосування сканівного електрода порівняння для вивчення динаміки корозійних процесів на металі з дефектними полімерними покриттями .....	235
7.3.3. Використання методу сканівного вібрувального електрода для оцінки захисної дії епоксидних покриттів з інгібувальними пігментами в локальному масштабі .....	237
Література до розділу 7 .....	244

## РОЗДІЛ 8

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО ОПОРУ ДЛЯ <u>МОНІТОРИНГУ КОРОЗИВНОСТІ ТЕХНОГЕННИХ СЕРЕДОВИЩ</u> .....	246
8.1. Теоретичні основи методу поляризаційного опору .....	246
8.1.1. Три основні випадки корозії металів .....	246
8.1.2. Виведення основних рівнянь методу поляризаційного опору .....	248
8.1.3. Перевірка застосовності основних рівнянь методу поляризаційного опору .....	251
8.1.4. Причини розбіжності дослідних і теоретичних результатів і шляхи розвитку теорії методу поляризаційного опору .....	257
8.2. Особливості перерахунку поляризаційного опору на швидкість корозії .....	258

8.2.1. Вплив нелінійності поляризаційних кривих на точність вимірювання поляризаційного опору.....	258
8.2.2. Роль структури подвійного електричного шару в методі поляризаційного опору.....	260
8.2.3. Вимірювання швидкості корозії за наявності великих поляризаційних ємностей .....	267
8.2.4. Електрохімічна активність продуктів корозії та її вплив на точність вимірювання поляризаційного опору .....	271
8.3. Промислове обладнання корозійного моніторингу нового покоління на основі методу поляризаційного опору та результати його використання .....	276
8.3.1. Принцип вимірювання поляризаційного опору .....	276
8.3.2. Двохелектродні давачі швидкості корозії .....	277
8.3.3. Портативні та стаціонарні корозиметри на основі методу поляризаційного опору .....	278
8.3.4. Система автоматизованого корозійного моніторингу та керування протикорозійним захистом .....	280
Література до розділу 8.....	287
Предметний покажчик .....	290
Авторський покажчик.....	293

**Тех 38**

Технічна діагностика матеріалів і конструкцій. [Текст] : довідн. пос.  
у 8-ми томах / За заг. ред. З. Т. Назарчука. - Львів : Простір-М. 2017.

**ISBN 978-617-7501-02-1**

[Том 6] : Електрохімічні методи моніторингу деградації матеріалу конструкцій. [Текст] / В. І. Похмурський, І. М. Дмитрах, М. С. Хома, О. Т. Цирульник, І. М. Зінь, М. Д. Сахненко, Ю. С. Герасименко. - Львів : Простір-М, 2017. -302 с. : [230] іл., [35] табл.

Бібліогр. у кінці розділів (заг. к-сть 437 назви).

**ISBN 978-617-7501-09-0 (Т.6)**

Подано терміни та визначення основних понять корозії металів і сплавів, описано її види та методи випробувань. Проаналізовано характер зміни електрохімічних характеристик під час корозійно-механічного руйнування металів з акцентом на його початкову стадію. Описано методи пришвидшеного визначення опірності корозійній втомі та корозійно-ерозійному руйнуванню сталей та їх водневого окрихчення. Обґрунтовано основні підходи до електрохімічного моніторингу деградації металів і технічного стану металоконструкцій та обладнання хімічних і нафтопереробних підприємств. Описано фізико-хімічні процеси на поверхні металів з полімерними покриттями і підходи до моделювання їх деградації та прогнозування захисних властивостей і ресурсу. Розглянуто можливості застосування сканівного електрода для дослідження розвитку корозії в околі дефектів лакофарбових покриттів на металах. Проілюстровано застосування фізико-хімічних методів для оцінювання ресурсу трубопроводів з урахуванням опору сталей розвитку тріщиноподібних дефектів у воденьмісних середовищах. Проаналізовано застосування методу поляризаційного опору для моніторингу корозивності техногенних середовищ і подано опис промислового обладнання для його практичної реалізації.

Для наукових працівників та інженерів, які працюють у галузі проектування і експлуатації нафто- і газогонів, металоконструкцій та обладнання, що експлуатуються в агресивних середовищах.

**УДК 620.193:681.518**