

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ім. Є. О. ПАТОНА**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА
імені Юрія Кондратюка"**

**Макаренко В. Д., Білик С. І., Джон Ньюхук,
Чеботар І. М., Коваленко М. А., Винников Ю. Л.,
Харченко М. О., Максимов С. Ю.,
Кусков Ю. М., Макаренко Ю. В.**

СТАЛЕВІ РЕЗЕРВУАРИ ОСНОВИ КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ

Монографія

**ПОЛТАВА
2020**

УДК 621.791.01.669
ББК 39.71-026
С 11

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ім. Є. О. ПАТОНА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"
імені Юрія Кондратюка"**

Рецензенти:

Кіндрачук М. В. – Чл.-кор. НАНУ, доктор технічних наук, професор, Лауреат Державної премії України з науки і техніки (Національний авіаційний університет, м. Київ);

Зезекало І. Г. – доктор технічних наук, професор національного університету Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка;

Бойко А. В. – доктор технічних наук, професор національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ).

**Макаренко В. Д., Білик С. І., Джон Ньюхук, Чеботар І. М.,
Коваленко М. А., Винников Ю. Л., Харченко М. О., Максимов С. Ю.,
Кусков Ю. М., Макаренко Ю. В.**

С11 Сталеві резервуари. Основи корозійно-механічної стійкості.
Монографія. Ніжин: НДУ імені Миколи Гоголя. 2020. 523 с.
ISBN 5-8365-1067-2

Приведені відомості про основні причини, чинники і умови корозійно-механічних ушкоджень і руйнувань сталених вертикальних резервуарів та обґрунтовані основні аспекти водневої деградації резервуарних сталей тривалого терміну експлуатації при змінних навантаженнях і дії хімічно-агресивних середовищ. Розглянуті особливості експлуатації резервуарів для тривалого зберігання нафти і нафтопродуктів. Систематизовані і узагальнені результати досліджень впливу умов, факторів і технологічних особливостей робочих середовищ на корозійно-механічну тріщиностійкість резервуарних сталей, які тривалий час експлуатуються в агресивних зонах нафтових родовищ. Запропонована науково-системна технологічна методологія подовження експлуатаційного ресурсу резервуарних конструкцій, яка дозволяє суттєво збільшити безаварійний і безвідмовний термін їх експлуатації. В роботі вперше застосований нейромережвий метод аналізу і прогнозування залишкового ресурсу сталених резервуарів.

Монографія призначена для спеціалістів нафтогазової промисловості, може бути корисною для аспірантів і студентів машинобудівельних напрямів та нафтогазових спеціальностей ВНЗ.

ISBN 5-8365-1067-2

© Макаренко В. Д., Джон Ньюхук,
Винников Ю. Л., Максимов С. Ю.,
Кусков Ю. М., Макаренко Ю. В., 2020

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
INSTITUTE OF ELECTRIC WELDING them EO PATON
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

NATIONAL UNIVERSITY
"Yuri Kondratyuk POLTAVA POLYTECHNIC"

V. Makarenko, S. Bilyk, J. Newhook, I. Chebotar,
M. Kovalenko, Y. Vynnykov, M. Kharchenko,
S. Maksymov, Y. Kuskov, Y. Makarenko

STEEL TANKS
BASISS OF CORROSION RISK OF
MECHANIKAL DAMAGE

Monograf

POLTAVA
2020

**NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
INSTITUTE OF ELECTRIC WELDING them EO PATON
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
NATIONAL UNIVERSITY
"Yuri Kondratyuk POLTAVA POLYTECHNIC"**

**V. Makarenko, S. Bilyk, J. Newhook, I. Chebotar, M. Kovalenko,
Y. Vynnykov, M. Kharchenko, S. Maksymov, Y. Kuskov, Y. Makarenko**

Steel tanks. Basiss of corrosion risk of mechanical damage.
Monograph. Poltava: National University "Yuri Kondratyuk Poltava
Polytechnic" 2020. 523 p.
ISBN 5-8365-1067-2

The monograph analyzes the main causes, factors and conditions of corrosion-mechanical damage and destruction of vertical steel tanks and substantiates the main aspects of hydrogen degradation of long-life tank steels under variable loads and chemically aggressive environments. Scientific approaches to the peculiarities of operation of tanks for long-term storage of oil and petroleum products have been further developed. The results of studies of the influence of conditions, factors and technological features of working environments on the corrosion-mechanical crack resistance of reservoir steels, which have been used for a long time in aggressive zones of oil fields are systematized and generalized. Also, a scientific and system technological methodology for extending the service life of tank structures is proposed, which allows to significantly increase the trouble-free service life. For the first time, proposals for the neural network method of analysis and forecasting of the residual life of steel tanks have been developed.

ISBN 5-8365-1067-2

© V. Makarenko, S. Bilyk, J. Newhook,
I. Chebotar, M. Kovalenko, Y. Vynnykov,
M. Kharchenko, S. Maksymov, Y. Kuskov,
Y. Makarenko, 2020

З М І С Т

Вступ	9
1. Перспективи розвитку та модернізації резервуарного парку України	20
2. Проблематика та сучасний стан резервуарного парку	25
ЧАСТИНА I. Аналітичний огляд літератури	27
Розділ 1. Загальні відомості та класифікація резервуарів для зберігання нафти і нафтопродуктів	28
Розділ 2. Аналіз аварійних ситуацій при зведенні та експлуатації резервуарних парків	36
2.1 Аналіз технологічних аспектів виникнення аварій резервуарів і резервуарних парків	38
2.2. Аварії резервуарів, викликані сейсмічними впливами, стихійними лихами та іншими природними явищами	51
2.3. Аналіз конструктивних аспектів виникнення аварій резервуарів	67
2.3.1 Аварії резервуарів, викликані корозійним зношенням матеріалу оболонки	70
2.3.2. Аварії, пов'язані з втратою стійкості основи резервуару	73
2.3.3. Аварії, пов'язані з втратою стійкості основи резервуару	83
3. Аналіз досліджень сейсмічної поведінки резервуарів	89
4. Систематизація причин виникнення аварій резервуарів і резервуарних парків	119
ЧАСТИНА II. Фізико-механічні аспекти корозійно-водневої деградації сталених резервуарів (аналітичний огляд літератури)	128
РОЗДІЛ 1. Аналіз причин і умов руйнувань вертикальних стільних циліндричних резервуарів (РВС)	129
1.1. Фізико-механічні аспекти корозійно-водневої деградації сталених резервуарів (аналітичний огляд літератури)	130

1.2. Аналіз причин і факторів, які спричиняють аварійні ушкодження і несанкціоновані відмови РВС	134
1.3. Класифікація монтажно-будівельних дефектів і корозійно-механічних ушкоджень РВС	140
1.4. Особливості впливу складу водонафтового середовища на корозію резервуарних сталей нафтового призначення	144
ЧАСТИНА III. Експериментальні дослідження і обґрунтування основ корозійно-механічної стійкості сталей резервуарів	152
РОЗДІЛ 1. Оцінка корозійної тріщиностійкості нафтових резервуарів за допомогою нейромережевого аналізу	153
РОЗДІЛ 2. Дослідження тріщиностійкості резервуарної низьковуглецевої сталі із застосуванням нейромережевого аналізу	165
РОЗДІЛ 3. Нейромережевий метод аналізу тріщиностійкості зварних з'єднань нафтових резервуарів	182
РОЗДІЛ 4. Дослідження деградації конструкційних сталей резервуарів для зберігання нафти	195
РОЗДІЛ 5. Дослідження корозійно-водневої деградації сталей вертикальних резервуарів	207
РОЗДІЛ 6. Дослідження впливу церію, водню і сірки на в'язкість резервуарних низьковуглецевих сталей	216
РОЗДІЛ 7. Дослідження корозійно-механічного руйнування сталей резервуарів	227
РОЗДІЛ 8. Дослідження причин корозійно-механічних ушкоджень сталей резервуарів тривалого терміну експлуатації	242
РОЗДІЛ 9. Дослідження сучасних критеріїв тріщиностійкості резервуарної сталі із застосуванням нейромережевого аналізу ...	260
ЧАСТИНА IV. Основи тріщиностійкості і деградації резервуарних сталей тривалої експлуатації	310
Загальні висновки	468
Список літератури	487

CONTENT

Introduction	9
PART I. Analytical review of literature	27
SECTION 1. General information and classification of oil and petroleum products storage tanks.....	28
SECTION 2. Analysis of emergencies during the construction and operation of tank farms	36
2.1. Analysis of technological aspects of tanks and tank farms failures.....	38
2.2. Constructive aspects analysis of tank failure occurrence.....	51
PART II. Physico-mechanical aspects of corrosion-hydrogen degradation of steel tanks	128
SECTION 1. Analysis of causes and conditions of destruction of vertical steel cylindrical tanks (vst).....	129
1.1. Physico-mechanical aspects of corrosion-hydrogen degradation of steel tanks	130
1.2. Analysis of the factors that cause accidental injuries and unauthorized failures of the VST	134
1.3. Classification of assembly and construction defects and corrosion-mechanical damage of VST	140
PART III. Experimental research and substantiation of fundamentals of corrosion-mechanical resistance of steel tanks ...	152
SECTION 1. Evaluation of corrosion crack resistance of oil tanks using neural network analysis	153
SECTION 2. Research of crack resistance of tank low-carbon steel using neural network analysis	165
SECTION 3. Neural network analysis of crack resistance of oil tanks welded joints.....	182
SECTION 4. Study of structural steel degradation of oil storage tanks	195
SECTION 5. Study of corrosion-hydrogen degradation of steel vertical tanks	207
SECTION 6. Study of the influence of cerium, hydrogen and sulfur on the viscosity of tank low-carbon steel.....	216

SECTION 7. Study of corrosion-mechanical destruction of steel tanks	227
SECTION 8. Study of corrosion and mechanical damage causes of long-term steel tanks	242
SECTION 9. Study of modern criteria of crack resistance of tank steel with the application of neural network analysis	260
PART IV. Causes of destruction and development of measures to extend the operating resource of tanks	310
General conclusions	468
References	487

ВСТУП

Нафтно-енергетичний комплекс України є основою розвитку економіки країни і здійснює суттєвий вплив на ріст науково-технічного прогресу, інтенсифікацію виробничих процесів, підвищення і удосконалення їх технологічного рівня, а також, в основному, визначає темпи росту національного доходу країни. Не дивлячись на зниження об'ємів видобутку нафти, спричиненого економічними труднощами перехідного періоду в країні, і коливанням цін на світовому ринку, основна частина нафтопромислового обладнання України продовжує активно експлуатуватися. Наявність великого запасу резервуарних ємностей дозволяє в нових економічних умовах отримувати додаткові прибутки від товарно-транспортних операцій і дає перевагу в сфері прийняття управлінських рішень керівництвом підприємств. Необхідно відмітити, що це – загальносвітова тенденція. Тому питанням підтримки необхідного рівня експлуатаційної надійності резервуарних парків в теперішній час приділяється підвищена увага. Це пов'язано з тим, що за нормативними документами для кожного резервуару встановлюється термін експлуатації.

Відомо, що нормативний термін експлуатованих резервуарів уже перевищив чи близький до граничного. Наприклад, розподілення резервуарів, експлуатованих НАК "Укрнафтогаз", за тривалістю експлуатації має наступний вид на 01.01.2010 р.: з терміном експлуатації менше 10 років – 40 %; 10 – 20 років – 28 %; 20 – 30 років – 24 %; більше 30 років – 8 %; на 01.01.2017 р.: менше 10 років – 6 %; 10 – 20 років – 43 %; 20 – 30 років – 41 %; більше 30 років – 10 %.

Нормативний термін експлуатації 20–30 років для резервуарів у вітчизняних нормативах був встановлений виключно з економічних міркувань. Однак, відомо випадки багаторічної безаварійної роботи резервуарів, побудованих ще за проектами В. П. Шухова в 1978 році і в більш пізній час. Металографічні дослідження резервуарних сталей після тривалої експлуатації