

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ  
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ІМЕНІ Є.О.ПАТОНА НАНУ  
АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»

МАКАРЕНКО В.Д., ВИННИКОВ Ю.І., ГОЦ В.І.,  
МАКСИМОВ С.Ю., ТЕРЕЩУК М.О.,  
МАКАРЕНКО Ю.В.

# КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ ПРИ ДИНАМІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ БУДІВЕЛЬНИХ СПОРУД

МОНОГРАФІЯ



Надруковано згідно рішення Вченої ради  
Київського національного університету будівництва і архітектури  
Міністерства освіти і науки України (Протокол № 7 від 03 травня 2024 р.)

### Рецензенти:

**Кіндрачук М. В.** – професор, доктор технічних наук;  
**Ахонін С.** – д-р техн. наук, професор, академік НАН України;  
**Бондаренко Є.** – доктор економічних наук, професор Київського  
національного транспортного університету

**Макаренко В.Д., Винников Ю.І., Гоц В.І., Максимов С.Ю.,  
Терещук М.О., Макаренко Ю.В.**

Корозійна стійкість при динамічному навантаженні будівельних споруд : монографія. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя. – 2025. – 120 с.  
ISBN 5-8365-1268-92

Дослідження в'язко-пластичних властивостей та проти крихкого руйнування трубних сталей 06Г2БА і 06Г2АФ. Сталі з дрібнозернистою структурою, економно модифіковані ніобієм і ванадієм, демонструють оптимальні механічні властивості за рахунок утворення структурних складових (аустеніт, сорбіт, тростит), які забезпечують високий спротив зародженню та розповсюдженню тріщин. Під час термічної обробки встановлено утворення різних структур: ферит, перліт, бейніт, гольчатий мартенсит, кожна з яких має спеціальні характеристики міцності. Експериментальні дослідження зроблено висновок, що аустеніт, сорбіт і тростит мають найбільший опір крихкому руйнуванню, тоді як гольчатий мартенсит виявився найменшим. З метою підвищення експлуатаційної надійності газопроводів у складних умовах рекомендовано використовувати сталі з високою в'язкістю та оптимізувати розрахунки несучої здатності трубопроводів. Це дозволяє ефективно використовувати фізико-механічний ресурсний матеріал, забезпечуючи підвищення робочих напружень до 0,75–0,8 межі текучості та сприяючи запобіганню утворення тріщин.

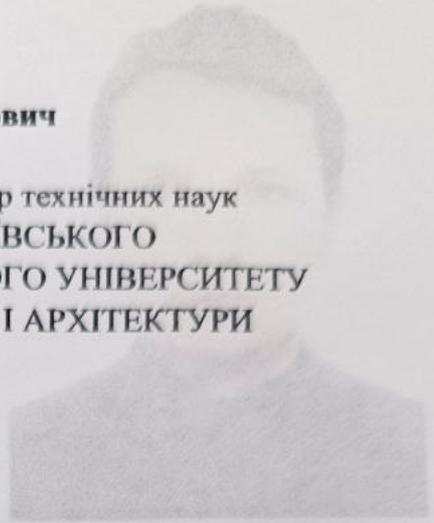
© Макаренко В.Д., Винников Ю.І., Гоц В.І.,  
Максимов С.Ю., Терещук М.О.,  
Макаренко Ю.В., 2025

## **Наші автори**

**МАКАРЕНКО**

**Валерій Дмитрович**

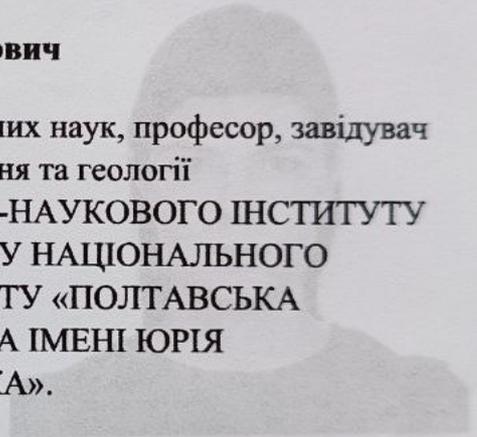
Професор, доктор технічних наук  
**ПРОФЕСОР КИЇВСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**



**ВИННИКОВ**

**Юрій Леонідович**

доктор технічних наук, професор, завідувач  
кафедри буріння та геології  
**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВОГО ІНСТИТУТУ  
НАФТИ І ГАЗУ НАЦІОНАЛЬНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ «ПОЛТАВСЬКА  
ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ  
КОНДРАТЮКА».**



**ГОЦ**

**Володимир Іванович**

доктор технічних наук, професор  
**КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ БУДІВНИЦТВА І  
АРХІТЕКТУРИ**





**МАКСИМОВ**  
**Сергій Юрійович**

член-кореспондент національної  
Академії наук України,  
доктор технічних наук,  
Заступник директора з науки  
ІНСТИТУТУ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ  
ІМЕНІ Є. О. ПАТОНА НАНУ



**МАКАРЕНКО**  
**ЮЛІЯ ВАЛЕРІЙВНА**

магістер університету «Манітобо»,  
Вінніпег, Канада

**ТЕРЕЩУК**  
**МИКОЛА ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

АКАДЕМІК АКАДЕМІЇ БУДІВНИЦТВА  
УКРАЇНИ, ДОКТОР ФІЛОСОФІЇ  
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ БУДІВНИЦТВА І  
АРХІТЕКТУРИ

## З М І С Т

В С Т У П .....	6
РОЗДІЛ 1. Вплив структурно-фазового складу трубної сталі 06Г2БА газопроводів на спротив розповсюдженню тріщин в повнотовщинних зразках типу dwtт при динамічному навантаженні .....	7
РОЗДІЛ 2. Вплив структурно-фазового складу трубної сталі 06Г2БА газопроводів на спротив зародженню і розповсюдженню тріщин в повнотовщинних зразках типу dwtт при динамічному навантаженні .....	15
РОЗДІЛ 3. Вплив структурно-фазового складу трубної сталі 06Г2БА газопроводів на спротив зародженню і розповсюдженню тріщин в повнотовщинних зразках типу dwtт при динамічному навантаженні .....	23
РОЗДІЛ 4. Дослідження динамічного тріщиноутворення в трубних сталях при плоских напруженнях в газопроводах в умовах динамічного навантаження при одночасній дії корозійного пасе – середовища .....	32
РОЗДІЛ 5. Стратегія вибору сталей і труб та методів передпускових випробувань нафтогазопроводів України .....	42
РОЗДІЛ 6. Нормативно-регламентні вимоги до зварювальних з'єднань труб великого діаметра нафтогазового призначення, експлуатованих при динамічному навантаженні .....	55
РОЗДІЛ 7. Корозійна тріщиностійкість трубних сталей нафтогазопроводів під динамічним навантаженням в корозійному середовищі .....	63
РОЗДІЛ 8. Експериментальні випробування натурних зварних вузлів і конструкцій під динамічним навантаженням в корозійних середовищах .....	72
РОЗДІЛ 9. Експериментальні корозійно-механічні дослідження свердловинного обладнання нафтодобувної галузі під динамічним навантаженням в агресивному середовищі .....	85
РОЗДІЛ 10. Циклічно-динамічна міцність сталі в корозійному середовищі при асиметричному навантаженні .....	95
РОЗДІЛ 11. Циклічно-динамічна міцність сталі в корозійному середовищі при асиметричному навантаженні .....	103
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	114

## ВСТУП

Із літератури і практики відомо [1-5], що найбільш високі в'язко-пластичні властивості і спротив крихкому руйнуванню мають сталі марок 06Г2БА і 06Г2АФ, які додатково економно модифіковані карбідоутворюючим і нітридоутворюючими елементами (ніобієм і ванадієм) та відрізняються дрібнозернистою структурою з низьким вмістом шкідливих домішок. Уперше встановлено, що в процесі термічної обробки утворюються наступні структури в результаті розпаду переохолодженого аустеніту, характерні для економно бац.бно утвор сталей 06Г2БА і 06Г2АФ, зокрема: ферит, перліт, аустеніт, сорбіт, тростит, верхній і нижній бейніт та голчатий мартенсит. Згідно вимог Міжнародного стандарту, зокрема Американського інституту «Баттеля», Британської газової корпорації (БГА) та сталевого концерну «Маннесман» (ФРН), були проведені комплексні експериментальні дослідження на повно товщинних, крупно габаритних зразках, в процесі яких визначали спротив матеріалу труб зародженню та розповсюдженню тріщин в зразках типу DWTT. Уперше отримані дані стосовно поглинутої енергії зародження тріщин оцінив її критерієм  $A_3$  (МДж/м<sup>2</sup>) а також енергію розповсюдження (критерій  $A_p$ , кДж) для кожної складової структури сталі 06U2<F і 06Г2АФ. Показано, що найбільш високим спротивом зародженню і розповсюдженню тріщин в сталях 06Г2БА і 06Г2АФ (економно модифіковані ніобієм і ванадієм) володіють структурні складові типу аустеніт, сорбіт і тростит. Найбільш слабкий спротив притаманний структурі голчатого мартенситу, що необхідно враховувати при виборі сталі і проведенні термічної обробки для будівництва газопроводів, особливо призначених для жорстких інженерно-геологічних і кліматичних умов об'єктів будівництва і експлуатації. Для зниження металоємності трубопроводів розрахунки несучої здатності таких конструкцій необхідно вести за основним показником механічних властивостей – межі текучості з урахуванням коефіцієнтів напружень, що дозволить більше задіяти внутрішній ресурс металу та підвищити робочі напруження до рівня  $(0.75-0.8)\sigma_{0.2}$ . Для цього слід використовувати сталі з високою в'язкістю, що дозволить наблизити зростання межі текучості до границі міцності (тимчасового спротиву) при відношенні  $\sigma_{0.2}/\sigma_B \approx 0.8...0.9$ , що спричинить зростання спротиву тріщино утворенню в'язко-пластичної структури і використанню повного фізико-механічного ресурсу матеріалу трубних сталей.