

В.Д. МАКАРЕНКО, В.І. САВЕНКО, В.І. ГОЦ,
Ю.Л. ВИННИКОВ, М.О. ТЕРЕЩУК

ОСНОВНІ ЗАСАДИ КОРОЗІЙНО- МЕХАНІЧНОЇ ТРИЩИННОСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА
ІМ. ЮРІЯ КОНДРАТЮКА”

*Нашим Учителям і колегам науковцям
та будівельникам присвячується
В ознаменування 95-ї річниці
Київського національного університету
будівництва і архітектури*

В.Д. МАКАРЕНКО, В.І. САВЕНКО, В.І. ГОЦ,
Ю.Л. ВИННИКОВ, М.О. ТЕРЕЩУК

**ОСНОВНІ ЗАСАДИ КОРОЗІЙНО-
МЕХАНІЧНОЇ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ
БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ
І КОНСТРУКЦІЙ**

За загальною редакцією
професора, доктора технічних наук *Макаренка В.Д.* та *Савенка В.І.*

Київ
Видавництво Ліра-К
2026

Видається за рекомендації Вченої ради Київського національного університету будівництва і архітектури Протокол №37 від 30.10.2025 р.

Рецензенти:

Чигарев В. В. – професор, доктор технічних наук, професор Приазовського державного технічного університету;
Дядюра К. О. – доктор технічних наук, професор Сумського державного університету;
Кіндрачук М. В. – доктор технічних наук, професор національного авіаційного університету, чл.-кор. національної академії наук України, Лауреат Державної премії України.

Основні засади корозійно-механічної тріщиностійкості будівельних матеріалів і конструкцій : монографія / В.Д.Макаренко, В.І.Савенко, В.І.Гоц, Ю.Л. Винников, М.О. Терещук. – Київ :
Видавництво Ліра-К, 2026. – 242 с.
ISBN 978-617-8800-01-7

В монографії викладені результати багаторічних експериментальних і теоретичних досліджень корозійно-механічної тріщиностійкості залізобетонних конструкцій різного призначення, зокрема підземних каналізаційних систем, які тривалий час експлуатуються в корозійно-агресивних середовищах. Особливу частину роботи займають експериментальні дослідження корозійно-механічної тріщиностійкості арматури і деструкції бетону, спричинені карбонізацією і хлоридизацією бетону. В роботі наведені нові уявлення щодо механізму проникнення хлорид-іонів в бетонний захисний шар до арматурних стрижнів, викладені удосконалені математичні моделі розрахунку глибини проникнення в бетон вуглекислого газу (CO_2) та хлорид-іонів (Cl^-), причому отримані результати підтверджуються експериментальними даними, що надає можливість виконувати прогнозування технічного стану залізобетонних конструкцій і в цілому будівельних споруд; наведені діаграми взаємозв'язку тривалої втомленості і статичної міцності арматурних стрижнів, що може служити підґрунтям для прогнозування залишкового робочого ресурсу залізобетонних конструкцій тривалого терміну експлуатації.

Монографія призначена для фахівців, що працюють в області проектування і будівництва гідротехнічних споруд різного призначення, а також для науковців, аспірантів, докторантів, викладачів ЗВО будівельних спеціальностей відповідного профілю.

УДК 621.791.01.681

Охороняються законом України про авторське право. Відтворення всієї книги чи будь-якої її частини без письмового дозволу видавника забороняється. Будь-які спроби порушення закону переслідуються в судовому порядку

ISBN 978-617-8800-01-7

© В.Д.Макаренко, В.І.Савенко, В.І.Гоц,
Ю.Л. Винников, М.О. Терещук, 2026

З М І С Т

Передмова.....	6
РОЗДІЛ 1. Карбонізація бетону і корозійні ушкодження арматури залізобетонних конструкцій підземних гідротехнічних споруд.....	8
РОЗДІЛ 2. Деструкція залізобетонних конструкцій каналізаційних підземних систем.....	13
РОЗДІЛ 3. Біодеструкція залізобетонних конструкцій підземної каналізації.....	23
РОЗДІЛ 4. Розрахунково-експериментальний метод оцінки карбонізації залізобетонних конструкцій каналізаційних підземних систем тривалої експлуатації.....	30
РОЗДІЛ 5. Механічні властивості арматури залізобетонних конструкцій тривалого терміну експлуатації.....	38
РОЗДІЛ 6. Дослідження взаємозв'язку між межею міцності та тривалою втомленістю сталеві арматури залізобетонних конструкцій тривалого терміну експлуатації в агресивних середовищах.....	44
РОЗДІЛ 7. Дослідження механічних властивостей і параметрів тріщиностійкості сталеві арматури залізобетонних конструкцій тривалого терміну експлуатації в агресивних середовищах.....	64
РОЗДІЛ 8. Удосконалення розрахунково-експериментального методу оцінки глибини проникнення хлорид-іонів в бетон підземних каналізаційних систем.....	77
РОЗДІЛ 9. Дослідження тривалої міцності та швидкості корозії арматурних сталей залізобетонних конструкцій, експлуатованих в хлоридних середовищах.....	86
РОЗДІЛ 10. Деструкція залізобетонних конструкцій, спричинена хлоридизацією бетону підземних каналізаційних систем.....	97

РОЗДІЛ 11. Тривала міцність арматурної сталі залізобетонних конструкцій, експлуатованих в корозійно-агресивних середовищах підземних каналізаційних систем.....	106
РОЗДІЛ 12. Дослідження корозійно-механічної стійкості арматурних сталей, призначених для експлуатації в гідротехнічних спорудах	116
РОЗДІЛ 13. Дослідження вуглекислотної корозії арматурної сталі залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд (на прикладі підземних каналізаційних систем).....	127
РОЗДІЛ 14. Експериментальні дослідження корозійної стійкості зварних швів сталевих конструкцій з високим вмістом сірки в поверхневих шарах.....	139
РОЗДІЛ 15. Експериментальні дослідження корозійної стійкості зварних швів сталевих конструкцій з високим вмістом сірки в поверхневих шарах з використанням сучасних методів моделювання.....	146
РОЗДІЛ 16. Основні фактори зменшення міцності та руйнування будівельних матеріалів і конструкцій.....	160
РОЗДІЛ 17. Дослідження низьколегованих ферито-перлітних конструкційних сталей, призначених для гідротехнічного будівництва.....	170
РОЗДІЛ 18. Дослідження корозійно-біологічного та механічного руйнування сталевих і залізобетонних конструкцій каналізаційних систем.....	176
РОЗДІЛ 19. Інженерна оцінка економічної ефективності використання легованої арматури в залізобетонних конструкціях гідротехнічних споруд.....	188

РОЗДІЛ 20. Дослідження тріщиностійкості арматурної сталі залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд.....	199
РОЗДІЛ 21. Дослідження корозійно-втомленої (тривалої) міцності трубних сталей підземних каналізаційних систем.....	206
РОЗДІЛ 22. Дослідження деградації трубних сталей підземних водоводів тривалого терміну експлуатації.....	213
РОЗДІЛ 23. Дослідження тривалої міцності трубних сталей підземних водоводів тривалого терміну експлуатації.....	219
РОЗДІЛ 24. Дослідження корозійно-втомленої (тривалої) міцності арматурних сталей залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд.....	225
Список використаної літератури.....	232

ПЕРЕДМОВА

На залізобетонні та сталеві конструкції, зокрема каналізаційних споруд впливають різні рідкі агресивні середовища. Це стічні суміші побутово-промислових відходів, ґрунтові води, атмосферні опади, лужні і кислі середовища тощо. Відомо, що однією з найбільш небезпечних і поширених причин руйнування залізобетонних конструкцій каналізаційних споруд є корозія сталеві арматури.

В бетоні сталеві арматура знаходиться в контактi з порожнинною рідиною, для якої характерним є підвищений рівень рН – понад 11,8. Лужне середовище переводить сталь в пасивний стан, обумовлений формуванням на поверхні металу оксидної плівки. Крім того, шар бетону, дотичний до арматури, має певну ізолювальну здатність і захищає її від корозії. Корозійний процес на сталі може розвинути, якщо складуться умови для перебігу електрохімічних реакцій: катодного процесу деполяризації і анодного процесу розчинення. Це можливо в тому випадку, коли руйнується пасивна плівка, до поверхні сталі проникає кисень (деполяризатор катодного процесу), створюються локальні катодні і анодні ділянки, та виникає різниця потенціалів, тобто формуються мікрогальванопари.

Руйнування пасивної плівки, що захищає метал від корозійних процесів, можливо з наступних причин: зниження рН порожнинної рідини до величини нижче 11,8; проникнення до поверхні сталі агресивних хлорид-іонів; прискорення анодних процесів розчинення сталі. Зниження рН порожнинної рідини можливо при вимиванні складових цементного каменю під дією водних розчинів кислот, солей, агресивних газів. Враховуючи, що бетон має досить високу пористість, високою є імовірність проникнення до поверхні арматурної сталі молекулярного кисню – деполяризатора катодного процесу. Структурна неоднорідність арматурної сталі, наявність різного роду включень, внутрішні напруження тощо створюють умови появи мікрогальванопар, їх

активного функціонування, локалізації корозійних процесів, які можуть проявлятися у вигляді пітингів, виразок.

Таким чином, створюються умови для виникнення і інтенсивного протікання корозійних процесів сталеві арматури. Ці процеси можуть прискорюватися іншими факторами: наявністю тріщин в бетоні, які полегшують проникнення агресивних середовищ до поверхні арматури, корозією власне цементного каменю, наявністю блукаючих струмів, недостатньою товщиною шару бетону.

В результаті протікання корозійних процесів на сталі проходить зниження механічних властивостей металу, виникнення корозійного розтріскування, особливо для напруженої арматури, утворення продуктів корозії великого об'єму, відшарування бетону від арматури. Всі ці явища можуть призвести до руйнування залізобетону. Для вивчення причин, які спричинюють корозійні ушкодження арматурних стрижнів залізобетонних конструкцій, необхідні додаткові дослідження.

В монографії наведено результати детальних досліджень природи карбонізації і хлоридизації бетону, які спричиняють його деструкцію; більш ретельно розглянута деградація арматурних стрижнів під дією різних чинників; сформульовано вимоги металургійного і металознавчого характеру до марок сталі, з яких виготовляють арматуру. На основі отриманих результатів було вдосконалено математичні методи прогнозування швидкості і глибини карбонізації і хлоридизації, що дозволяє передбачати робочий безаварійний ресурс залізобетонних конструкцій.

Вперше в Україні проведені системні і комплексні дослідження тріщиностійкості арматури залізобетонних конструкцій із залученням сучасних критеріїв тріщиностійкості, чутливих до зміни структурно-фазового складу металу, що дає можливість підвищити корозійно-механічну стійкість залізобетонних виробів та трубопроводів транспортування води побутовим і промисловим споживачам.