

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Навчально-науковий інститут будівництва та архітектури
Кафедра мостів і тунелів, опору матеріалів і будівельної механіки

03-05-141М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять та самостійної роботи
з навчальної дисципліни
«Експлуатація, реконструкція та інженерне облаштування
мостових споруд»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Будівництво та
цивільна інженерія», спеціальності
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
всіх форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості ННІБА
Протокол № 4 від 21.01.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Експлуатація, реконструкція та інженерне облаштування мостових споруд» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Будівництво та цивільна інженерія», спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання. [Електронне видання] / Подворний А. В., Трач Ю. П., Мандзій М. Я. – Рівне : НУВГП, 2025. – 19 с.

Укладачі: Подворний А. В., д.т.н., професор;

Трач Ю. П., д.т.н., професор;

Мандзій М. Я., ст. викладач.

Відповідальний за випуск: Трач В. М., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри мостів і тунелів, опору матеріалів і будівельної механіки.

Керівник групи забезпечення

ОПП «Будівництво та цивільна інженерія» Караван В. В.

Попередня версія методичних вказівок: 03-05-126М

© А. В. Подворний,
Р. В. Трач,
М. Я. Мандзій, 2025
© НУВГП, 2025

З М І С Т

| | |
|--|----|
| Вступ | 4 |
| Основні відомості про інженерне облаштування мостів і тунелів | 5 |
| Терміни та поняття | 6 |
| 1. Оцінка агресивності експлуатаційних середовищ | 9 |
| Корозія у твердих середовищах | 10 |
| Корозія у рідких середовищах | 12 |
| Корозія у газоповітряних середовищах | 14 |
| 2. Рекомендована література | 17 |
| 3. Додатки..... | 18 |

ВСТУП

Забезпечення стійкості до корозії та довговічності будівельних матеріалів повинно враховуватись ще на етапі їх виготовлення. Під час експлуатації корозія завдає шкоди матеріалам, приводить до забруднення навколишнього середовища своїми продуктами, зменшує надійність конструкції та може призвести до порушення функціонування різноманітних технологічних та виробничих систем. Означене може вплинути на життєзабезпечення суспільства. Оцінка витрат, що пов'язані із корозією, включає витрати на захист конструкцій та матеріалів з яких вони складаються, заміну пошкоджених елементів, збитки спричинені аваріями та зупинкою виробничих процесів, а іноді навіть нещасними випадками. Враховуючи таке значення корозії, необхідно, щоб кожен спеціаліст будівельної галузі міг швидко та кваліфіковано оцінити пошкодження та, використовуючи нормативну документацію, надавати рекомендації стосовно захисту матеріалів та конструкцій в умовах агресивних середовищ.

ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ

При проектуванні та реконструкції будівель і споруд необхідно передбачати роботу елементів конструкцій і захисних покриттів при врахуванні типу та рівня агресивності навколишнього середовища при різних умовах експлуатації.

Технологічні рішення що стосуються захисту від корозії залізобетонних і бетонних конструкцій та елементів, що їх сполучають повинні представляти самостійну частину проекту будівлі або споруди. В особливих випадках розробка проектів, що стосуються захисту від корозії повинна виконуватись із залученням спеціалізованих організацій при урахуванні вимог ДСТУ Б В.2.6-145:2010 «Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії».

Вказані ДСТУ розроблені спираючись на ГОСТ 31384:2008 «Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги». Ним встановлюються вимоги, що повинні враховуватись при плануванні захисту від корозії конструкцій з бетону та залізобетону для будівель та споруд, експлуатація яких відбуватиметься в агресивних середовищах в діапазоні температур від мінус 40°C до плюс 50°C.

Цим стандартом встановлено технологічні вимоги до захисту від корозії конструкцій з бетону та залізобетону з терміном експлуатації до 50 років. При проектування конструкцій з більшими термінами експлуатації захист від корозії виконується за спеціальними вимогами.

Положення даного стандарту необхідно враховувати при розробці іншої нормативної документації, у тому числі технічних умов (ТУ), згідно яких відбувається виготовлення або зведення конструкції кожного конкретного виду, ними же встановлено нормативні показники якості, яким забезпечується технологічна та технічна ефективність при розробці технічної та проектної документації на ці конструкції.

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

Цим стандартом встановлено терміни та відповідні визначення згідно з ДСТУ Б В.2.6-145:2010 «Конструкції будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії»: термін експлуатації, середовище експлуатації, вплив навколишнього середовища, слабкий ступінь агресивності, середній ступінь агресивності, сильний ступінь агресивності. Далі приведена термінологія, додатково використана в цьому стандарті, а також визначення вказаних понять:

Термін експлуатації. Період на протязі якого бетон конструкції відповідає проектним вимогам за умови виконання умов експлуатації споруди чи будівлі;

Середовище експлуатації. Сукупність хімічних, біологічних і фізичних впливів, що впливають на бетон у процесі його експлуатації і які не враховано у зборі навантажень на конструкцію при проведенні будівельних розрахунків;

Вплив навколишнього середовища. Несиловий вплив на

матеріал споруди або конструкції, викликаний біологічними, фізичними, хімічними, фізико-хімічними та іншими впливами, що можуть призвести до змін у структурі бетону або стану арматури;

Слабкий ступінь агресивності. Ступінь агресивного впливу на залізобетонні та бетонні конструкції, при якому руйнування бетону та втрата захисної його дії щодо сталевих арматур на протязі періоду експлуатації не менше 50 років поширюється на не більше ніж 10мм у глибину;

Середнім ступінь агресивності. Ступінь агресивного впливу на залізобетонні та бетонні конструкції при якому руйнування бетону та втрата захисної його дії щодо сталевих арматур на протязі періоду експлуатації не менше 50 років поширюється на не більше ніж 20мм у глибину;

Сильний ступінь агресивності. Ступінь агресивного впливу на залізобетонні та бетонні конструкції, при якому руйнування бетону та втрата захисної дії й щодо сталевих арматур на протязі періоду експлуатації не менше 50 років поширюється на 20мм або більше у глибину.

Для уникнення руйнування від корозії залізобетону, бетону та конструкцій із них повинні бути передбачені такі види захисту:

1) **первинний**, при якому вибираються спеціальні конструктивні рішення, матеріал конструкції або змінюється його структура так, щоб забезпечити стійкість такої конструкції при експлуатації у відповідному агресивному середовищі;

2) **вторинний**, суть якого у нанесенні захисних покриттів, просочень, а також у застосуванні інших заходів, що обмежують або унеможливають вплив агресивного середовища на залізобетонні та бетонні конструкції;

3) **спеціальний**, який передбачає здійснення технологічних заходів, що не перераховані у пунктах 1) і 2) і які дозволяють захистити залізобетонні та бетонні конструкції і матеріали від корозії.

Заходами первинного захисту є:

1) Використання бетонів, що стійкі до впливів агресивних середовищ;

2) Застосування спеціальних добавок, що підвищують стійкість бетонів до корозії та їх здатність до захисту сталевих арматури, сталевих закладних деталей та сталевих з'єднувальних елементів;

3) Зниження проникності бетонів;

4) Дотримання конструктивних та розрахункових вимог у процесі проектування залізобетонних та бетонних конструкцій.

До заходів вторинного захисту відносять захист поверхонь залізобетонних та бетонних конструкцій:

1) лакофарбовими, у тому числі товстошаровими (мастичними), покриттями;

2) обклеювальною ізоляцією;

3) штукатурними і обмазувальними покриттями;

4) облицюванням блочними або штучними виробами;

- 5) просочуванням приповерхневого шару конструкцій хімічно-стійкими матеріалами;
- 6) обробкою гідрофобними препаратами;
- 7) обробкою спеціальними препаратами – антисептиками, біоцидами тощо.

Оцінка агресивності експлуатаційних середовищ. Корозія у твердих середовищах. Корозія у рідких середовищах. Корозія у газоповітряних середовищах

Класифікація агресивних середовищ і ступінь їх агресивного впливу

Проектуючи захист від корозії залізобетонних і бетонних конструкцій необхідно встановлювати характеристики агресивності середовища та умов, при яких трапляються ті чи інші корозійні пошкодження.

Залежно від фізичного стану агресивні середовища підрозділяються на тверді, рідкі та газоподібні. Залежно від інтенсивності агресивного впливу на залізобетонні та бетонні конструкції середовища підрозділяють на не агресивні, слабо агресивні, середньо агресивні і сильно агресивні.

Виконавши практичну роботу студент повинен **знати:**

- види агресивних середовищ та їх характеристики;
- основні заходи, що попереджають корозійні процеси залізобетонних та бетонних інженерних споруд.

вміти:

- користуватися ДСТУ Б В.2.6-145:2010 «Конструкції будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги» та визначати ступені агресивності всіх видів середовищ;
- надавати необхідні рекомендації по проведенню антикорозійних заходів інженерних споруд.

1.1. Корозія у твердих середовищах

В твердих середовищах в умовах звичайної температури без присутності вологи корозійні процеси не відбуваються. Агресивність (хімічна активність) сухих ґрунтів залежить від якісного і кількісного складу хімічних речовин, що містяться в них, а також від умов зволоження, частоти атмосферних опадів, клімату та інших факторів. Корозійна агресивність ґрунту визначається значенням питомого електричного опору ґрунту та середньою густиною катодного струму. Ступінь агресивності ґрунту встановлюється на основі результатів лабораторних досліджень а їх класифікація наведена у таблиці.

Таблиця 1

Залежність ступеню агресивності ґрунту від його питомого електричного опору

| Вид агресивності ґрунту | Питомий електричний опір ґрунту, Ом*м | Середня густина катодного струму, А/м² |
|--------------------------------|--|--|
| Низька | Понад 50 | До 0,05 |
| Середня | 20-50 | 0,05-0,20 |
| Висока | До 20 | Понад 0,20 |

Небезпека корозії від порошкоподібних компонентів ґрунту визначається мірою зволоження, що спричинене атмосферними опадами та конденсацією вологи з повітря. Згідно таблиць ДСТУ Б В.2.6-145:2010 можливо встановити ступінь агресивності ґрунту для конструктивних елементів фундаментів мостів, які розташовані в ньому.

Завдання 1. Використовуючи дані ДСТУ Б В.2.6-145:2010 необхідно встановити ступінь агресивності ґрунту на елементи фундаментів з залізобетону та бетону, що розташовані в ньому. Бетон виготовлено з портландцементу (марка за водонепроникністю W4). Дані для дослідження приведені у табл.2.

Таблиця 2

Результати фізико-хімічного аналізу ґрунту

| Показник | Величина показника | | |
|------------------------|--------------------|-----------|--------|
| | нормальна | нормальна | волога |
| Зона вологості | | | |
| Вміст хлоридів, мг/кг | 15(X) | 1100 | 1500 |
| Вміст сульфатів, мг/кг | 800 | 900 | 1200 |

Завдання 2. Згідно додатків ДСТУ Б В.2.6-145:2010, встановити ступінь агресивності пилу на металеві, залізобетонні елементи та на конструкції з керамічної та силікатної цегли. Результати хімічного дослідження пилу та властивості повітря приведено у табл. 3.

Таблиця 3

Результати хімічного аналізу пилу та властивості повітря

| Показник | Величина показника | | | | |
|--|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|------|-------------------|
| | Температура, °С | 15 | 30 | 25 | 28 |
| Відносна вологість, % | 55 | 60 | 40 | 60 | 75 |
| Вид солі в пилу | MgCO ₃ | Na ₂ CO ₃ | K ₂ SO ₄ | NaCl | CaCl ₂ |
| Рівноважна вологість солі (при 20°С) | - | - | 50 | 35 | 30 |
| Розчинність солі пилу, г/дм ³ | 0,02 | 139,9 | 115,3 | 750 | 300,6 |

Завдання 3. За результатами аналізу ґрунту, приведеними в табл. 4, встановити ступінь його агресивності на сталеві елементи будівельної конструкції, що знаходяться вище за рівень ґрунтових вод.

Таблиця 4

Дані аналізу ґрунту

| Показник | Величина показника | | |
|--|--------------------|-----------|-----------|
| | Зона вологості | нормальна | нормальна |
| Питомий електричний опір, Ом*м | 50 | 45 | 20 |
| Середня густина струму, А/м ² | 0,09 | 0,01 | 0,25 |

1.2. Корозія у рідких середовищах

Оцінювання ступеня агресивності води або іншого рідкого середовища залежить від хімічного складу рідини і умов, при яких відбувається взаємодія середовища й матеріалу. Ці умови

можуть включати швидкість руху потоку рідини, температуру, тиск та інші фактори. Агресивність води поділяється на такі три категорії, що приведені у дод. 3.

Завдання 4. Встановити, при використанні ДСТУ Б В.2.6-145:2010, ступінь агресивності води на занурені у водне середовище металеві конструкції, при таких параметрах хімічного аналізу води, табл. 5.

Таблиця 5

Дані хімічного аналізу води

| Показники | Величина показника | | |
|---|--------------------|------|------|
| | 6 | 7 | 4 |
| Водневий показник (рН) | 6 | 7 | 4 |
| Сульфати (SO_4^{2-}), мг/дм ³ | 300 | 1950 | 3500 |
| Хлориди (Cl^-), мг/дм ³ | 1550 | 2500 | 2000 |

Примітка: при перерахунку сульфатів на хлориди необхідно ввести поправковий коефіцієнт 0,25.

Завдання 5. Користуючись відповідними додатками ДСТУ Б В.2.6-145:2010 встановити ступінь агресивності, на залізобетонні фундаментні блоки, ґрунтових вод. Матеріалом блоків є портландцементний бетон W4. Блоки розташовано на рівні ґрунтових вод. Фізико-хімічні характеристики ґрунту та ґрунтових вод приведено у табл. 6.

Таблиця 6

Фізико-хімічні характеристики ґрунту та ґрунтових вод

| Показник | Величина показника | | | | |
|---|--------------------|------|------|------|-------|
| Коефіцієнт фільтрації ґрунту (K_f), м/добу | 0,25 | 0,25 | 0,19 | 0,09 | 0,075 |
| Бікарбонатна лужність (HCO_3^-), мг-екв/дм ³ | 1,5 | 1,9 | 2,0 | - | 1,0 |
| Водневий показник (рН) | 6,9 | 4 | 7 | 3,5 | 6,5 |
| Іони магнію (Mg^{2+}), мг/дм ³ | 550 | 2500 | 800 | 3500 | 2400 |
| Луги (Na^+ , K^+), мг/дм ³ | 5,0 | 2,5 | 7,5 | 5,0 | 2,0 |
| Сумарний вміст солей (за сухим залишком) | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 17,0 | 15,0 |

Завдання 6. За відомим хімічним складом води, що наведено у табл.7 і згідно відповідних додатків ДСТУ Б В.2.6-145:2010 встановити ступінь агресивності води на окремі елементи інженерної споруди з залізобетону матеріалом яких є бетон W4. Елементи конструкції також знаходяться під гідростатичним тиском.

Таблиця 7

Хімічні показники води

| Показник | Величина показника | | | |
|---|--------------------|-----|-----|-----|
| Водневий показник (рН) | 3,5 | 6,5 | 2,7 | 4,0 |
| Луги (Na^+ , K^+), мг/дм ³ | 155 | 85 | 95 | 125 |

1.3. Корозія у газоповітряних середовищах

У чистому сухому атмосферному повітрі сталеві, залізобетонні, бетонні та природні кам'яні елементи інженерних конструкцій можуть знаходитись в умовах безпечної експлуатації на протязі

багатьох років. Склад атмосферного повітря зазвичай включає такі гази: азот (78%), кисень (20,95%), аргон (0,92%) та вуглекислий газ (0,03%). Решта 0,1% повітря складається з водороду, інертних газів (неон, криптон, гелій, радон) та хімічноактивних і токсичних газів таких як аміак та сірководень. Газоподібні хімічні речовини, що перевищують встановлені гранично – допустимі концентрації у повітрі через господарську діяльність людей, можуть призвести до активізації корозійних процесів на поверхні інженерних споруд та обладнання. Основними забруднювачами повітря, у газоподібному стані, є продукти згоряння палива на теплових електростанціях, котельнях, різноманітних паливних пристроях та в двигунах внутрішнього згоряння. Корозійні процеси особливо активізуються у закритих приміщеннях та на територіях промислових підприємств, що переробляють гази, які можуть агресивно впливати на сталеву арматуру та бетон.

Звичне повітряне середовище є неагресивним у відношенні до штучних щільних будівельних матеріалів виготовлених з неорганічного матеріалу, однак у випадку залізобетону необхідно враховувати параметри його температуро-вологісних умов експлуатації, особливо коли експлуатація матеріалів відбувається у промислових приміщеннях додаток 2.

Для оцінювання ступеня агресивності газоповітряних середовищ, необхідно провести хімічний аналіз повітря, визначити його кількісний та якісний склад та у відповідності до

ДСТУ Б В.2.6-145:2010 визначити групу агресивності газів. Якщо у повітрі виявлено декілька газів, то до уваги прийняти найбільш агресивну їх групу.

Завдання 7. За використанням додатку 2 ДСТУ Б В.2.6-145:2010 встановити вологісний режим приміщення якщо показники повітря такі (табл. 8).

Таблиця 8

Показники повітря

| Показник | Значення | | | | |
|-------------------------------|----------|----|----|----|----|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| Температура, °С | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| Відносна вологість повітря, % | 55 | 65 | 55 | 65 | 65 |

Завдання 8. За використанням додатків 2 та 3 ДСТУ Б В.2.6-145:2010 встановити ступінь агресивності газоповітряного середовища на конструкціях з керамічної та силікатної цегли.

Таблиця 9

Експериментальні дані фізико-хімічних показників повітря

| Фізико-хімічні показники повітря | Експериментальні значення | | | | |
|---|---------------------------|------|------|----|-----|
| | 25 | 35 | 55 | 35 | 45 |
| Температура, °С | 25 | 35 | 55 | 35 | 45 |
| Відносна вологість повітря, % | 50 | 40 | 60 | 85 | 20 |
| Хімічний склад повітря, мг/м ³ : | | | | | |
| вуглекислий газ | - | 1500 | 650 | - | 900 |
| аміак | 0,4 | - | 0,20 | - | - |
| сірчаний ангідрид | 20 | 18 | 10 | 15 | 20 |
| сірководень | 5 | - | 2,9 | 7 | 10 |

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова

1. Бабушкін В.І., Плугін А.А., Казімагомедов І.Е., Скорик О.О. Захист будівельних конструкцій та споруд від агресивних дій з рішенням практичних задач. Навчальний посібник. Харків. 2006. 214 с.
2. Кондращенко О. В. Конспект лекцій з курсу «Корозія та захист будівельних матеріалів та конструкцій». Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. 2016. 85 с.
3. Чехов А.П. Захист будівельних конструкцій від корозії. К.: Вища школа, 1994. 213 с.
4. Плугін, О.А., Борзяк О.С., Мартинова В.Б., Халюшев О.К. Електричні впливи на бетон (електрообробка та захист від електрокорозії бетонів, виробів і конструкцій із них). Харків: Форт. 2018. 300 с.
5. Цимбал С.Й. Підземне будівництво: Навчальний посібник. К.: КНУБА. 2004. 148 с.
6. Онищенко А.М., Гібаленко О.М., Гаркуша М.В., Хвощинська Н.М., Ролінська І.Л. Захист від корозії металевих конструкцій транспортних споруд: Монографія. К.: НТУ. – 2022. - 286 с.

Допоміжна

1. ДСТУ Б В.2.6-145:2010 Конструкції будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги (ГОСТ 31384-2008, NEQ). Київ: Мінрегіонбуд України. 2010. 52 с.
2. ДБН В.2.3-6:2009 «Мости та труби. Обстеження і випробування» - Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 63 с.

ДОДАТОК 1
Ступені агресивності води

| Вид іона і рН води | Хімічна агресивність, мг/дм ³ | | |
|-------------------------------|--|-----------|-----------|
| | Слабка | Середня | Сильна |
| SO ₃ ²⁻ | 200-600 | 600-3000 | 3000-6000 |
| CO ₂ | 15-40 | 40-100 | > 100 |
| NH ₄ ⁺ | 15-30 | 30-60 | 60-100 |
| Mg ²⁺ | 300-1000 | 1000-3000 | > 3000 |
| рН | 6,5-5,5 | 5,5-4,5 | 4,5-5,0 |

ДОДАТОК 2
Температурно-вологісні режими приміщень

| Режим | Відносна вологість повітря, % при температурі, °С | | |
|------------|---|--------------|--------------|
| | до 12 | від 12 до 24 | понад 24 |
| Сухий | до 60 | до 50 до 40 | до 50 до 40 |
| Нормальний | від 60 до 75 | від 50 до 60 | від 40 до 50 |
| Вологий | понад 75 | від 60 до 75 | від 50 до 60 |
| Мокрий | - | понад 75 | понад 60 |

ДОДАТОК 3
Групи агресивності газів

| Газоподібна хімічна речовина | Концентрація, мг/м ³ | | | |
|------------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | А | В | С | Д |
| Вуглекислий газ | до 2000 | > 2000 | — | — |
| Аміак | до 0,2 | > 0,2 до 20 | > 20 | — |
| Сірчаний ангідрид | до 0,5 | 0,5 до 10 | > 10 до 200 | > 200 |
| Фтористий водень | 0,05 | > 0,05 до 5 | > 5 до 10 | > 10 до 100 |
| Сірководень | до 0,01 | > 0,01 до 5 | > 5 до 100 | > 100 |
| Оксид азоту | до 0 1 | > 0,1 до 5 | > 5 до 25 | > 25 до 100 |
| Хлор | до 0,1 | > 0,1 до 1 | > 1 до 5 | > 5 до 10 |
| Хлороводень | до 0,05 | > 0,05 до 5 | > 5 до 10 | > 10 до 100 |

Примітка: якщо концентрація газу перевищує межі, вказані у

графі D використання матеріалів для виготовлення конструкцій слід визначати відповідно до експериментальних даних.