

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені Володимира Даля

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
зі спецкурсу «Довговічність залізобетонних конструкцій
об'єктів міської інфраструктури» Ч.1
(для студентів усіх форм навчання спеціальності
«Будівництво та цивільна інженерія»)
(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО
На засіданні кафедри
будівництва, урбаністики та
просторового планування
Протокол № 1 від 31.08.2021р

Сєвєродонецьк 2021

УДК 539

Конспект лекцій зі спецкурсу «Довговічність залізобетонних конструкцій об'єктів міської інфраструктури» Ч.1 (для студентів усіх форм навчання спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія») / Уклад.: І.І. Медвідь. – Сєверодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2021. – 63с

Розглядається механізм фізичної, хімічної, електрохімічної, електричної та біологічної корозії будівельних матеріалів і конструкцій. Показано вплив агресивних корозійних середовищ на стійкість і довговічність будівельних виробів.

Укладач: І.І.Медвідь – доцент.

Відповідальний за випуск: Г.О. Татарченко – професор.

Рецензент: Н.І. Білошицька – доцент.

ЗМІСТ

Лекція 1	ЗАХИСТ ВІД КОРОЗІЇ – ШЛЯХ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	5
	<i>Мета і завдання дисципліни.....</i>	<i>5</i>
	<i>Способи забезпечення довговічності будівельних матеріалів</i>	<i>6</i>
Лекція 2	ФІЗИКО-ХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКСПЛУАТАЦІЙ-НИХ СЕРЕДОВИЩ.....	17
	<i>Природні рідкі середовища.....</i>	<i>17</i>
	<i>Промислові й стічні води.....</i>	<i>24</i>
	<i>Газоповітряні середовища та аерозолі.....</i>	<i>27</i>
	<i>Тверді середовища.....</i>	<i>29</i>
Лекція 3	КОРОЗІЯ МІНЕРАЛЬНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ.....	30
	<i>Класифікація факторів, що призводять до руйнування мінеральні будівельні матеріали.....</i>	<i>30</i>
	<i>Класифікація мінеральних матеріалів залежно від їх поведінки в агресивних середовищах.....</i>	<i>31</i>
	<i>Механізм процесів корозії мінеральних будівельних матеріалів і способи антикорозійного захисту.....</i>	<i>33</i>
Лекція 4	ФІЗИЧНА І ФІЗИКО-ХІМІЧНА КОРОЗІЯ БЕТОНУ. ЗАСОБИ АНТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ.....	42
	<i>Температурні деформації бетону.....</i>	<i>42</i>
	<i>Морозне руйнування бетону.....</i>	<i>43</i>
	<i>Корозія від впливу солей.....</i>	<i>46</i>
	<i>Механічний знос.....</i>	<i>46</i>
	<i>Вплив осмотичних явищ на руйнування бетону.....</i>	<i>47</i>
Лекція 5	ХІМІЧНА КОРОЗІЯ БЕТОНУ. СПОСОБИ АНТИКОРОЗІЙ-НОГО ЗАХИСТУ.....	49
	<i>Корозія бетонів другого виду:</i>	<i>51</i>
	<i>корозія в мінеральних кислотах.....</i>	<i>52</i>
	<i>корозія в органічних кислотах.....</i>	<i>55</i>
	<i>магнезіальна корозія.....</i>	<i>57</i>
	<i>корозія в лужних середовищах.....</i>	<i>59</i>

Список використаної літератури.....	60
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ для самостійної роботи.....	61

Лекція 1

ЗАХИСТ ВІД КОРОЗІЇ – ШЛЯХ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

● Мета і завдання дисципліни

Лекційний спецкурс «Корозія і захист будівельних матеріалів та конструкцій» ставить за мету підвищення освітньо-кваліфікаційного рівня студентів усіх будівельних спеціальностей і вирішує наступні завдання:

- надати систематизовані сучасні уявлення про причини виникнення різних видів корозії будівельних матеріалів, що експлуатуються у складних умовах і про механізм протікання корозійних процесів;
- навчити оцінювати ступінь агресивності експлуатаційних середовищ з метою грамотного вибору способів первинного й другорядного захисту конструкцій, будівель та споруд від корозії;
- прищепити студентам навички застосування нормативних документів, що регламентують оцінку агресивності середовищ по відношенню до конструкційних матеріалів, вибір матеріалів для конкретних умов експлуатації і грамотне піклування про конструкції протягом всього періоду їх експлуатації.

Лекційний курс «Корозія і захист будівельних матеріалів та конструкцій» побудовано з урахуванням взаємозв'язку процесів, що мають місце у структурі будівельних матеріалів під впливом агресивних факторів довкілля, з довговічністю та надійністю будівельних матеріалів і конструкцій. У ньому докладно розглядається механізм фізичної, хімічної, електрохімічної, електричної та біологічної корозії будівельних матеріалів і конструкцій. Показано вплив агресивних корозійних середовищ на стійкість і довговічність будівельних виробів. Особлива увага приділяється поведінці бетонних,

залізобетонних і металоконструкцій. Дається опис методів проведення антикорозійних робіт. Відмічаються перспективні сучасні напрямки захисту будівельних конструкцій в агресивних середовищах. Лекційний курс закріплюється проведенням практичних занять і самостійною роботою студентів.

- **Способи забезпечення довговічності будівельних матеріалів**

Термін корозія (з грецького „роз’їдання”) означає процес руйнування будівельних матеріалів та конструкцій внаслідок хімічної, електрохімічної, біохімічної та інших видів їх взаємодії з довкіллям.

Корозія завдає народному господарству величезних збитків. Близько 10% маси щорічного виробництва чорних металів витрачається на відшкодування їх втрат від корозії. Часто через корозійне пошкодження доводиться замінювати окремий вузол чи навіть всю конструкцію. Витрати, пов'язані з виготовленням нової конструкції, набагато перевищують вартість зруйнованого металу. До того ж сам ремонт конструкції чи її частини, як правило, є дорогим заходом через великі витрати праці і застосування дефіцитних матеріалів. Коли ж врахувати також витрати, пов'язані з утратами виробництва в період ремонту й аварійних зупинок, то стає зрозумілим, що корозійні процеси заподіюють дуже великі збитки як окремим підприємствам, так і всьому господарчому комплексу країни. Тому захист будівельних конструкцій від корозії є однією з головних і важливих проблем у вирішенні питань забезпечення довговічності будівель і споруд.

У 60-80-х роках минулого сторіччя був накопичений великий науковий потенціал, розроблені основи теорії корозії бетону й арматури, способи забезпечення корозійної стійкості з/б конструкцій в агресивних середовищах. Ці розробки широко використовують у практиці будівництва і в наш час. Дослідженнями встановлено, що корозія протікає відповідно до законів кінетики можливих термодинамічних реакцій і призводить до зниження вільної енергії матеріалу, в результаті чого утворюються більш стійкі в термодинамічному відношенні сполуки.

З огляду на тенденцію останніх років використання у промисловості будівельних матеріалів відходів виробництва (золи, шлаків, золошлакових сумішей і т.п.), застосування для виготовлення бетонних і залізобетонних (з/б) конструкцій безцементних в'язучих і в'язучих зі зниженим вмістом клінкерного фонду необхідно вирішувати питання довговічності цих конструкцій навіть при експлуатації в нормальних атмосферних умовах (житлові, адміністративні будівлі і т.п.).

Підвищення надійності й корозійної стійкості з/б конструкцій в агресивних середовищах може бути досягнуто створенням корозійностійких будівельних матеріалів нового покоління з використанням економічних заводських технологій і нових видів арматурних сталей високої надійності, що дозволить забезпечити економію металу на 20-40 %. Якість і довговічність будівель і споруд можуть бути забезпечені застосуванням корозійностійких конструкцій. Створення таких конструкцій охоплює кілька найважливіших наукових напрямків:

1. Дослідження стійкості арматури бетону, сталевих зв'язок і з/б на нових в'язучих, заповнювачів з використанням відходів виробництва. Розробка заходів забезпечення довговічності залізобетонних конструкцій при одночасному впливі агресивного середовища і навантаження.

2. Розробка бетонних і з/б конструкцій високої довговічності, корозійної стійкості й стійкості при біологічній корозії, що виготовляються за економічними технологіями з використанням відходів промисловості і сільського господарства. При цьому необхідно приділяти увагу вивченню:

- процесів внутрішньої корозії бетону при використанні місцевих сировинних матеріалів з підвищеним вмістом шкідливих домішок;

- процесів руйнування нових видів арматури при одночасному впливі на з/б конструкції силових навантажень різного характеру й агресивного середовища;

- оптимальних технологічних параметрів виготовлення нових видів високоміцних арматурних сталей, що забезпечують підвищення стійкості

проти корозійного розтріскування, розробці захисних покриттів по арматурі і технології їхнього нанесення;

- нових видів захисних матеріалів з використанням вітчизняної сировини, критеріїв і методів оцінки їхньої довговічності;

- хімічних способів видалення продуктів корозії з поверхні арматури і корозійностійких складів для ремонту експлуатованих конструкцій.

3. Розробка і впровадження методів контролю параметрів якості і довговічності будівельної продукції на заводах-виготовлювачах.

У більшості випадків основними причинами пошкоджень є корозійні процеси, що розвиваються в результаті несприятливого впливу навколишнього середовища. Так, більшість шляхопроводів і мостів у містах, дорожні покриття руйнуються від застосування протиожедних реагентів, через виділення в атмосферу двигунами автотранспорту та промисловими підприємствами оксидів азоту, сірчаного та інших газів, від розморожування бетону. Щорічні аварійні обвали комунальних тунелів, особливо колекторів стічних вод відбуваються в першу чергу внаслідок газової корозії металевих і залізобетонних елементів. Такі пошкодження мають місце на найдовших міських колекторах. Останнім часом поширилося ураження конструкцій цвілевими грибами, що за даними санітарних лікарів і екологів несприятливо позначається на здоров'ї людини, особливо дітей. Велику неприємність завдають будівельникам висоли на цегельних і бетонних конструкціях житлових і цивільних будинків і споруд.

За даними натурних обстежень, аналізу проектних матеріалів і експертної оцінки фахівців установлено, що агресивному впливові піддаються в різних галузях народного господарства від 15 до 75 % будівельних конструкцій будинків і споруд. Крім того, в останні роки почалося активне впровадження в практику будівництва нетрадиційних матеріалів для бетону і залізобетону (золи, шлаків, нових видів ефективних в'язучих, хімічних добавок), нових видів арматурних сталей, що істотно впливає на довговічність конструкцій.

Зменшення маси будинків, індустріальність монтажу, архітектурна виразність дає дорогу новим видам конструкцій. Але зі зменшенням товщини «Полиць» і «Стінок» будівельні конструкції стали ще більш уразливими для корозії. Результатом цього є руйнування виробів часом навіть за одну зиму, а іноді до моменту здачі в експлуатацію будинку. Причиною, тут як правило, є погана якість бетону, неправильно підібране співвідношення в'язучого і заповнювачів, використання забруднених реакційноактивних заповнювачів і цементів з підвищеним вмістом лугів, високе значення В/Ц, низька морозостійкість, високе водопоглинання бетону. Перелік цих факторів можна продовжити.

Немаловажну роль у збільшенні довговічності будівельних конструкцій відіграє культура виробництва та експлуатації, підвищення якості виробів при їх виготовленні. Вибір будівельних матеріалів і конструкцій, засобів їх захисту треба здійснювати залежно від проектного терміну експлуатації будівлі.

Серед загальних вимог до бетонних і з/б конструкцій на першому місці є довговічність конструкцій, яка крім наявності вихідних характеристик якості повинна задовольняти вимогам безпеки й експлуатаційної придатності з належним ступенем надійності протягом заданого терміну служби при різних видах впливу, таких як навантаження, кліматичні й технологічні фактори, поперемінне заморожування і відтавання, агресивний вплив і т.п. Наприклад, норвезькі норми проектування залізобетонних конструкцій зв'язують зовнішній вплив, який призводить до зниження довговічності, в основному з агресивністю довкілля, що розподіляється на спеціальні агресивні середовища, сильноагресивні середовища, помірноагресивні середовища, слабоагресивні середовища. До першого виду відносяться середовища, що викликають сильний хімічний вплив і вимагають спеціальних додаткових заходів захисту. Другу групу складає морська вода або її краплі (бризи), агресивні гази, сіль або інші хімічні речовини, а також заморожування і відтавання у вологих умовах. Вплив третьої групи зазнають зовнішні або внутрішні конструкції у вологому середовищі, а також

конструкції, занурені у звичайну воду. Остання група відноситься до внутрішніх конструкцій, які знаходяться у сухих неагресивних умовах.

Основними методами забезпечення довговічності на стадії проектування є гарантія забезпечення мінімальної товщини захисного шару й обмеження ширини розкриття тріщин.

Британські норми встановлюють категорії довговічності конструкції, поділяючи їх на такі:

1) ті, що підлягають заміні; 2) такі, що підлягають ремонту; 3) такі, що експлуатуються протягом усього терміну служби споруди.

При даному підході важливо врахувати таке поняття, як «критичний стан», який має на увазі значущість конструкції з погляду забезпечення її несучої здатності, складність ремонту або заміни і наслідки, що можуть виникнути при виході її з ладу. Очевидно, що для практичної реалізації такого підходу необхідна велика статистична інформація.

Сучасні європейські норми проектування залізобетонних конструкцій (Єврокод-2) не обмежуються декларацією необхідності забезпечення довговічності і включають аналіз впливів, поділяючи їх на впливи довкілля, хімічні, фізичні і непрямі впливи, розрахунок довговічності, вимоги до захисного шару, до матеріалів, провадження робіт і до якості їх виконання.

Ключовим питанням призначення необхідної довговічності конструкції або споруди при проектуванні є необхідний термін їх служби, що не нормується, але визначається замовником. Для тимчасових і унікальних споруд і будівель, що піддаються надзвичайному або незвичайному впливу, необхідний рівень довговічності повинен розглядатися на стадії проектування, а також можуть знадобитися зміни в заходах, що рекомендуються, з урахуванням прямого або непрямого впливу.

Класифікація умов навколишнього середовища в Єврокод-2 в основному збігається з їх класифікацією в Україні і РФ. Довкілля розглядається як джерело хімічних і фізичних впливів, які безпосередньо

діють на конструкція в цілому та на її окремі елементи і бетон зокрема. Але ці результати не включені до навантажень, які закладені в розрахунки.

Хімічний вплив може виникати внаслідок:

- експлуатації споруди, наприклад, яка використовується для зберігання рідини і т.п.);
- впливу довкілля;
- взаємодії з багатьма хімікаліями в газоподібному або рідкому стані, найчастіше розчинів кислот і сульфатних солей;
- вмісту хлоридів у складі бетону;
- реакцій між складовими бетону, наприклад, реакції луговмісних заповнювачів.

Фізичний вплив відбувається внаслідок:

- дії сил тертя;
- впливу заморожування і відтавання;
- водовсмоктування.

Непрямі впливи виникають унаслідок деформацій конструкції в цілому, окремих несучих або конструктивних елементів, викликаних навантаженнями, температурою, повзучістю, усадкою, мікротріщинами і т.д.

Забезпечення довговічності створюється шляхом:

- використання конструктивних форм, що потребують мінімального водоцементного відношення і води замішування;
- надання конструкціям або деталям розміру і форми, що забезпечують гарний водовідвід і відсутність застою води та тріщин, через які могла б просочуватися вода.

Опір корозії арматури для більшості залізобетонних споруд забезпечується захисним шаром високоякісного бетону з низькою проникністю. У більш складних умовах необхідно застосовувати додаткові захисні покриття арматури або бетону.

Бетони підвищеної довговічності одержують за рахунок керованого структуроутворення й активного впливу на структуроутворення на всіх етапах

технології. Ці бетони відрізняються багатокомпонентністю складу, наявністю комплексних хімічних добавок, наповнювачів, додаткових компонентів. Вимоги висуваються також до в'язучих речовин і заповнювачів. Попередні оцінки показують, що можливе створення бетонів з терміном служби більше 500 років.

Для одержання бетонів підвищеної довговічності треба забезпечити високу щільність і якість цементного каменю або твердої фази, що можливо за рахунок гідратації цементу разом з модифікаторами структури і додатковими компонентами і збереження резерву непрогідратованого цементу для усунення випадкових дефектів, що можуть виникнути при впливі зовнішніх факторів у період тривалої експлуатації.

Якість цементного каменю і його здатність пристосовуватися до зовнішніх і внутрішніх впливів визначається не тільки його щільністю, але і розмірами зерен та міжзерновою пустотністю.

Відповідно для бетонів підвищеної довговічності варто застосовувати цементи з питомою поверхнею 5000-6000 г/см² разом з модифікаторами, що перешкоджають агрегації часток у водному середовищі. Такі цементи сприяють більш ефективному використанню суперпластифікаторів, що дозволяє одержувати бетонні суміші з гранично низьким В/Ц і найвищою щільністю твердої фази. При цьому необхідно враховувати всі вимоги до цементів, які висувають для звичайного бетону з гарантованою морозостійкістю.

Спільне використання тонкодисперсних цементів і суперпластифікаторів забезпечує одержання більш тонкодисперсних новоутворень і в цілому дуже дрібнокристалічної структури цементного каменю, чому також сприяє правильний підбір мінералогічного складу цементу.

Істотний вплив на структуру бетону мають тонкодисперсні наповнювачі. Їх можна умовно поділити на дві групи:

- наповнювачі-розріджувачі цементу, що знижують його активність і за розмірами часток їх можна порівняти із зернами цементу (мелені шлаки, золи та ін.);

- ультратонкі наповнювачі – мікрокремнезем та інші, частки яких на порядок менше зерен цементу і можуть розташовуватися в пустотах між його зернами, сприяючи підвищенню щільності затверділого цементного каменю.

Для одержання бетону підвищеної довговічності необхідно міжзернові пустоти в бетоні заповнити новоутворами цементу, які при твердінні більш ніж у 2 рази збільшують об'єм твердої фази. Однак при високих В/Ц і малому ступені гідратації цементу новоутворів не вистачає для заповнення міжзернових пустот й у бетоні залишаються великі пори і капіляри, що різко знижують його морозостійкість. Введення ультратонких наповнювачів зменшує міжзернову пустотність бетону, дозволяє одержувати досить щільні й довговічні бетони при трохи підвищених В/Ц і гарантує стійкість бетону у випадках, коли зовнішній негативний вплив починається раніше, ніж цементний камінь достатньо прогідратує і бетон стане досить щільним.

Використання разом із суперпластифікаторами ультрадисперсних наповнювачів дозволяє одержувати бетони з низьким В/Ц і дуже незначним об'ємом міжзернових пустот. У цих умовах не відбувається повної гідратації навіть дуже тонкомолотих цементів і в бетоні зберігається достатня кількість непрогідратованих цементних зерен як гарантія самозаліковування дефектів, які можуть виникнути при впливі зовнішніх факторів у період експлуатації бетону. Для гарантії експлуатаційної надійності цей об'єм непрогідратованих зерен повинен складати не менше 10 % від первісного обсягу цементу.

Наповнювачі-розріджувачі в цих умовах використовують як регулятори міцності бетону, вони одночасно сприяють поглибленню гідратації цементу, що дозволяє впливати на структуроутворення бетону й у ряді випадків запобігати виникненню дефектів, що зменшує небезпеку тріщиноутворення.

Значний вплив на показники довговічності справляє і заповнювач. Крім відомих вимог до заповнювачів для бетонів, що експлуатуються в різних

умовах, доцільно обмежувати розмір зерен заповнювача 10-20 мм або застосовувати дрібнозернисті бетони. Великий заповнювач зменшує опірність бетону руйнуванню втоми при поперемінному впливі морозу і відтаванні та інших факторів, що викликають неоднорідне поле внутрішніх напружень і температуро-вологісні градієнти й деформації.

У табл. 1 наведене порівняння властивостей звичайного і довговічного бетонів.

Таблиця 1 - Порівняльні показники звичайного і довговічного бетонів

Показники	Звичайний бетон марок 400-500	Високоякісний бетон
Межа міцності, МПа	40-50	100-120
Водонепроникність, аті	6-8	>16
Коефіцієнт фільтрації води, $\times 10^{-10}$ см/с	30-40	0,5-2
Повітропроникність, $\times 10^{-4}$ см ² /с	300-400	30-70
Коефіцієнт дифузії вуглекислого газу, $\times 10^{-4}$ см ² /с	3,5-4,5	2-2,5
Пенетрація води під тиском 6 аті протягом 24 годин	8-10	1-3
Морозостійкість (при – 20 °С), цикл	300-400	700-1000

Отже, підводячи підсумок вищесказаному, слід зазначити, що довговічність бетонних конструкцій завжди визначається внутрішніми і зовнішніми факторами.

Внутрішні фактори, у свою чергу, визначаються основними вихідними компонентами бетону, а саме цементом і заповнювачами:

- цемент (наявність вільних CaO, MgO, SO₃, N = N₂O –екв.;
- заповнювач (може бути активним стосовно лугів у вигляді K₂O + Na₂O).

Зовнішні фактори: вологість; температура; забруднення повітря і води; хімічні, механічні та біологічні впливи.

Достатня довговічність досягається за допомогою наступних заходів:

- урахування вимог довговічності при проектуванні будівельних споруд (наприклад, виключення впливу опадів і агресивних середовищ);
- правильний вибір вихідних компонентів бетону;
- відповідний догляд за бетоном;
- захист бетону, наприклад, за допомогою просочення або покриття.

Недостатня довговічність бетону виявляється, коли споруди мають естетичні дефекти, тріщини в бетоні, зовнішні ознаки руйнування бетону (відколи, великі тріщини і т.п.), ознаки корозії.

Залежно від призначення та умов експлуатації конструкцій у кожному конкретному випадку найбільш важливими можуть бути такі властивості бетону:

- морозостійкість, а також опір заморожуванню при впливі розморожуючих засобів і відтавання бетону в момент будівництва;
- щільність бетону, що обумовлює опір проникненню в бетон агресивних розчинів і газоподібних середовищ, наприклад, при експлуатації резервуарів і сховищ;
- атмосферостійкість (опір атмосферному впливу);
- біостійкість, тобто стійкість до біологічних впливів, наприклад, до продуктів життєдіяльності мікроорганізмів;
- стійкість до карбонізації, тобто до проникнення CO_2 у зовнішні будівельні елементи або в тунельні споруди чи хлорвмісних розморожуючих засобів, що контактують з елементами мостів;
- стійкість до реакцій в самому бетоні, що викликають розширення, наприклад, у результаті реакції «луг + кремнієва кислота», утворення еtringіту, гідратації CaO ;
- тріщиностійкість при термічних, вологісних, механічних і динамічних навантаженнях;
- стійкість до руйнування структури в результаті термообробки або дії вогню.

Для забезпечення довговічності бетону урахування тільки показника міцності при стиску є не достатнім. До безпосередніх показників довговічності відносяться:

1. Щільність, що обумовлює такі властивості, як:
 - водонепроникність;
 - водопоглинення при однобічному або об'ємному контакті з водою;
 - газопроникність.
2. Опір перемінному заморожуванню і відтаванню у воді або в сольових розчинах, що оцінюється: втратою маси; зміною об'єму; деформаціями розширення.
3. Глибина карбонізації, а також глибина проникнення хлоридів, що визначається за допомогою:
 - індикаторів або
 - індикаторних реакцій.
4. Вплив агресивних середовищ, що визначається: за деформаціями розширення; втратою об'єму; втратою міцності; за допомогою ультразвуку.

Висока довговічність бетону забезпечується за допомогою таких заходів:

- підбором відповідної крупності заповнювачів;
- інтенсивним перемішуванням компонентів бетону;
- інтенсивним ущільненням (без розшарування);
- застосуванням пластифікаторів і засобів, що поліпшують легкоукладальності бетону;
- належним доглядом за бетоном (створення заданих температуро-вологісних умов).

Однією з головних причин зниження довговічності бетону є виготовлення бетонів низьких класів міцності із застосуванням високомарочних цементів, що призводить до збільшення В/Ц і одержання бетонів зі зниженою щільністю (підвищеним обсягом пор). Тому однаковий

клас бетону не означає рівноцінну їхню довговічність. Висока довговічність вимагає високої щільності бетону.

Довговічність зовнішніх будівельних елементів з бетону досягається при:

- максимальному зниженні В/Ц;
- мініимальному вмісті цементу;
- обмеженні мініимальної товщини бетонного покриття;
- обмеженні максимально припустимого обсягу пор;
- обмеженні максимально припустимих розмірів тріщин;
- обмеженні вмісту необхідних пороутворюючих добавок.

Лекція 2

ФІЗИКО-ХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ СЕРЕДОВИЩ

• Природні рідкі середовища

На будівельні конструкції у процесі їх експлуатації можуть впливати різні фактори. Агресивні середовища класифікують за їх фізичним станом на рідкі, тверді і газоподібні. Перш ніж перейти до питання про класифікацію корозійних процесів у різних середовищах, варто розглянути особливості дії і загальну характеристику самих агресивних середовищ.

Корозійні процеси у твердому й газоподібному середовищах фактично починаються і протікають тільки в присутності рідкої фази.

Вода – один з головних природних мінералів. Її властивості багато в чому визначають протікання природних і технологічних процесів. Тому розгляд експлуатаційних рідких середовищ необхідно почати саме зі

звичайної води. У її структурі виявлений ряд аномалій, які викликано сильним взаємним притяганням молекул води внаслідок утворення водневих зв'язків. Незважаючи на те, що енергія водневих зв'язків мала і дорівнює всього 21-25 кДж, їх роль у реакціях за участю води дуже впливова і багато в чому визначає структуру та властивості новоутворених при цьому гідратних форм.

Роботи вчених різних країн дозволили створити електростатичну модель води і пояснити її найбільш важливі властивості: великий постійний дипольний момент, значну енергію сольватації, велику діелектричну постійну й ін. Для молекул води характерне утворення асоційованих комплексів типу $(\text{H}_2\text{O})_n$ за рахунок взаємного притягання один до одного різнойменних полюсів і водневих зв'язків. Асоційовані комплекси найбільш стійкі, коли $n = 2$. Ступінь асоціації багато в чому залежить від температури. При 0 °С, тобто ще до появи льоду вода в основному містить в собі потрійні комплекси. Нагрівання води від 0 до 4 °С супроводжується перетворенням потрійних комплексів у подвійні. При нормальній температурі вода складається з одинарних і деякої кількості подвійних комплексів. Вода, як хімічна сполука, хоча й у малому ступені, але дисоціює на іони за схемою



Оскільки активності іонів у розведених розчинах приблизно рівні їхнім концентраціям, а активність самої води близька до одиниці, то константа дисоціації води дорівнює

$$K = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14}; [\text{OH}^-] = 10^{-2} \text{ г-моль/л.}$$

З підвищенням температури і тиску ступінь дисоціації води зростає.

У зв'язку з тим, що вода має дуже велику діелектричну постійну, вона має високу здатність розчиняти багато речовин. Розчинення може супроводжуватися появою гідратів, тобто хімічних сполук, що містять молекули води, а також гідролізом, що призводить до зміни величини рН. При розчиненні різних речовин у воді можуть утворюватися істинні розчини, коли всі або майже всі складові частини вихідних солей (це в основному

неорганічні сполуки), роз'єднані молекулами води, а навколо іонізованих часток сформовані гідратні оболонки.

Частина речовин (до них відносяться більшість органічних сполук, а також деякі гази) у воді не іонізуються і знаходяться у стані молекулярного роздроблення. У воді можуть бути присутні і більш крупні частки з розмірами від 1 до 200 нм (колоїдні частки).

У воді, що є середовищем при експлуатації бетону і залізобетону, звичайно розчинені неорганічні солі, найбільш широко розповсюджені в природі, такі як сульфати, хлориди і карбонати натрію, кальцію, магнію і калію, розчинність яких наведена в табл. 2.

Таблиця 2 – Розчинність деяких неорганічних солей

Хімічна формула солі	Розчинність при 18 °С, г/л
1	2
CaCl_2	731,9
MgCl_2	558,1
MgSO_4	354,3
NaCl	328,6

Продовження табл. 1

1	2
Na_2SO_4	168,3
Na_2CO_3	133,9
CaSO_4	2,0
CaCO_3	0,01

З підвищенням температури розчинність деяких солей збільшується, а деяких падає, наприклад, Na_2CO_3 . Наявність у розчині одночасно декількох солей сильно впливає на розчинність кожної з них. Так, розчинність солі в присутності іншої солі з однойменним іоном знижується і, навпаки, її розчинність підвищується, якщо ці іони різні.

Велике значення для розвитку корозійних процесів має і здатність води розчиняти різні газоподібні речовини. Дані про розчинність деяких газів при температурі наведені в табл. 3.

Таблиця 3 - Розчинність деяких газів при температурі

Температура, °C	Розчинність, мг газу /1 л розчину		
	O ₂	N ₂	CO ₂
0	48,9	-	1713
5	42,9	-	1432
10	38,5	19,5	1195
15	34,2	17,4	1005
20	30,8	16,0	870
25	28,2	14,8	757
30	26,3	13,8	665

Дослідження хімічного складу води потрібне для визначення наявності агресивних речовин, врахованих нормативними документами на воду, а також тих, котрі ще не враховані, але можуть становити небезпеку для зберігання бетону, арматурної сталі та інших будівельних матеріалів.

Загальна мінералізація природних вод залежить від кліматичних умов і від типу порід, що залягають у даному районі. Її мінімальне значення, приблизно 10 г/л, реєструється в регіонах з холодним кліматом і великою кількістю атмосферних опадів. Максимальне значення, що складає більше 100 г/л, відповідає теплим посушливим областям. Контакт з легкорозчинними породами сприяє підвищенню загальної мінералізації вод у будь-яких кліматичних умовах. Природні води розділяються на підземні (до них відносяться ґрунтові, міжпластові й карстові) і поверхневі (річкові, озерні, морські).

Найважливішою характеристикою води, яка багато в чому визначає співвідношення різних форм іонів у розчині є активна концентрація іонів водню у воді - рН. Крім цього встановлено таку важливу характеристику води, як титрована кислотність (або лужність). Для сильних кислот (або лугів) у розведених розчинах різниця між активною і загальною кислотністю (лужністю) практично дорівнює нулю.

У поверхневих водах значення рН знаходиться в діапазоні від 4,5 до 8,5, а в ґрунтах – від 4,0 до 9,0. У широких межах рН (4-8,5) повністю розчинні

тільки солі лужних металів (K, Na) і в меншій мірі лугоземельних (Ca, Mg), а також галоїди (Cl, F). Більшість солей металів у кислих розчинах знаходиться у формі катіонів, але з підвищенням рН вони звичайно випадають у формі гідроксидів і основних солей. Гідроксиди елементів, що мають аморфні властивості, при переході рН у лужну область розчиняються з утворенням комплексних кисневих аніонів. Але точно установити значення рН гідролізу елементів важко, тому що на цей процес впливають такі фактори, як температура розчину, його концентрація, іонна сила і т.п.). Для більшості елементів з підвищенням температури значення рН осадження гідроксидів зростає.

Виходячи з умов формування природних вод за значенням рН, їх можна розділити на чотири групи:

- 1) сильнокислотні ($\text{pH} < 3$). Кислотність у них обумовлена наявністю вільної сірки або соляної кислоти;
- 2) кислі й слабкокислі ($3 < \text{pH} < 6,5$). Кислотність залежить від присутності органічних кислот і вуглекислоти;
- 3) нейтральні й слабколужні ($6,5 < \text{pH} < 8,5$), що викликано наявністю $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$;
- 4) сильнолужні ($\text{pH} \geq 8,5$), що визначається присутністю карбонату натрію.

У природі найчастіше зустрічаються 2 і 3 групи вод.

Не менш важлива характеристика водних розчинів – їхній окислювально-відновний потенціал - E_h . Як і рН, величина E_h відбиває співвідношення різних форм елементів у водному розчині. Протіканню окисних процесів сприяє наявність у воді розчиненого кисню і відкритий контакт із повітряними масами, що містять вільний кисень. Окислювачами можуть бути й інші елементи, здатні приймати електрони. Зі зменшенням вмісту кисню у воді вона стає більш відбудовним середовищем, ніж окисної. У відновному середовищі кисню немає і з'являються такі гази, як H_2S CH_4 . При цьому значення E_h низькі – як правило, менше 0,1 В. Поглинання кисню

в природних водах зазвичай відбувається в результаті біохімічних процесів і процесів окислювання вуглевісних органічних речовин.

Значення E_h поверхневих вод, що контактують з киснем, а також ґрунтових вод знаходиться у діапазоні $+ 0,1 \dots + 0,5$ В. Болотні води характеризуються значеннями рН від 3 до 6 і E_h від $+ 0,1$ до $- 0,1$. Таким чином, всі форми компонентів природних вод обумовлюються величинами рН і E_h води, іонною силою розчинів і концентрацією іонів, що знаходяться в них.

У природних водах найбільш поширені іони натрію, наприклад у морській воді вони складають 84 % маси всіх іонів. Велика їхня частина врівноважується іонами хлору, сульфат-іонами, а невелика частина – карбонатними. Іонів калію в природних водах небагато, близько 4-10 % від кількості іонів натрію. Іони кальцію зустрічаються переважно у слабкомінералізованих водах. З підвищенням мінералізації вміст кальцію швидко знижується через досить низьку розчинність його сірчано-кислих і особливо вуглекислих солей. Усе це призводить до того, що в природних водах вміст кальцію складає менше 1 г/л. Іони магнію присутні майже у всіх природних водах, тому що розчинність сульфатів і карбонатів магнію вище, ніж у гіпсу і бікарбонату кальцію. У мінералізованих природних водах вміст іонів магнію може доходити до декількох грамів на 1 л.

Іони хлору в природних водах складають від ледь помітних слідів до сотень грамів на 1л. Кількість сульфатних іонів лімітується кількістю іонів кальцію. У відновному середовищі іон SO_4^{2-} відновлюється до сірководню. Сульфат-іони мають місце переважно у помірно мінералізованих водах річок і озер. Зі зниженням мінералізації води збільшується кількість гідрокарбонатних іонів, які переважно знаходяться у більшості прісних вод, причому наявність у воді CO_2 підвищує їхній вміст, а вміст іонів кальцію – лімітує. Співвідношення іонів CO_3^{2-} і HCO_3^- у розчині обумовлене величиною рН, що наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Вміст різних форм вугільної кислоти залежно від рН

Форми вугільної кислоти	Вміст, %, при рН							
	4	5	6	7	8	9	10	11
$\text{H}_2\text{CO}_3^\circ$	99,7	97,0	76,7	24,99	3,22	0,32	0,02	-
$\text{HCO}_3^-_{\text{aq}}$	0,3	3,0	23,3	74,98	96,7	95,84	71,43	20,0
$\text{CO}_3^{2-}_{\text{aq}}$	-	-	-	0,03	0,08	3,84	28,55	80,0

Сірководень у природних водах знаходиться у вигляді розчину. Сірководень є продуктом розпаду органічних сірковмісних речовин, характерних для болотних вод. Його вміст звичайно не перевищує 100 мг/л.

Співвідношення різних форм сірководневої кислоти також залежить від величини рН (див. табл. 5).

Таблиця 5 - Вміст різних форм сірчаної кислоти залежно від рН

Форми сірчаної кислоти	Вміст, %, при рН						
	4	5	6	7	8	9	10
H_2S°	99,91	99,10	91,66	52,35	9,81	1,09	0,110
HS^-_{aq}	0,09	0,90	8,34	47,65	90,19	98,91	99,88
$\text{S}^{2-}_{\text{aq}}$	-	-	-	-	-	-	0,002

Із сполук азоту найбільше значення мають іони амонію. У природних водах аміак може з'являтися внаслідок бактеріального розкладання органічних речовин, у складі яких є білок. Вміст іона NH_4^+ у природних водах, як правило, не перевищує декількох міліграмів на 1 л.

Ступінь мінералізації і хімічний склад ґрунтових вод визначаються в основному мінералогічним складом гірських порід і ґрунтів, що залягають на шляху руху ґрунтового потоку, а також кількістю опадів і кліматичних умов даного регіону. Найбільш типовою у ґрунтових водах є присутність іонів Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} і HCO_3^- . Ці води за характером утворення поділяються на води вилуговування і континентального засолення.

Хімічний склад ґрунтових вод вилуговування є різноманітним. При контакті з родовищами кам'яної солі NaCl у таких водах збільшується вміст

хлоридів, а при контакті з гіпсоносними породами підвищується вміст сульфатів (до 5 г/л). У районах підзолистих ґрунтів при випаданні рясних опадів утворюються слабкокислі ґрунтові води. Ґрунтові води вилуговування характерні для лісостепових і степових районів.

Ґрунтові води континентального засолення зустрічаються в сухих степах, де мало опадів і висока швидкість випару води. Значній засоленості відповідає висока мінералізація вод легкорозчинними солями NaCl , MgCl_2 , MgSO_4 , CaSO_4 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , а незначній – мала мінералізація вод гідрокарбонатно-натрієвими і менше - сульфатно-натрієвими солями.

Ґрунтові води залежно від хімічного складу можуть мати по відношенню до бетону сульфатну, загальнокислотну, наприклад, вуглекислотну і магнезіальну агресивність.

Властивості міжпластових вод необхідно враховувати при будівництві підземних споруд. Ці води відрізняються від ґрунтових більш постійним складом (для кожного горизонту), що не залежить від кліматичних і сезонних факторів. Однак ступінь мінералізації й іонний склад цих вод, а, отже їх агресивність стосовно бетону можуть бути різними.

Річкові води звичайно слабкомінералізовані й у більшості випадків характеризуються агресивністю вилуговування. Хімічний склад річкової води в значній мірі залежить від джерел живлення річок і виду порід, крізь які фільтруються води й поміж яких проходить русло ріки. Вуглекислотна агресивність річкових вод зустрічається звичайно у верхів'ях рік, особливо тоді, коли вони беруть початок з болота. За результатами хімічного аналізу складу води більшості рік концентрації різних іонів коливаються в таких межах, мг/л: Ca^{2+} - 4,6-115; Mg^{2+} - 0,3-46,7; $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ - 2,3-333,2; HCO_3^- - 24,4-272,1; SO_4^{2-} - 2,6-480; Cl^- - 1,5-529. Мінералізація складає від 0,05 до 1,6 г/л (найчастіше від 0,1 до 1,2 г/л).

Хімічний склад річкової води може змінюватися як у період паводку, так і внаслідок впадіння інших річок або потрапляння стічних вод – промислових, побутових і т.п.

Хімічний склад озерних вод коливається в широких межах і залежить від того, є з них стік води, що визначається кліматичними факторами і рельєфом місцевості. Мінералізація озерних вод може бути різною - від 0,02 до 360 г/л. Озерні води, як і ґрунтові, щодо бетону можуть характеризуватися усіма видами агресії.

Води морів (океанів) відносяться до сильномінералізованих. Основними їх компонентами є хлориди і сульфати натрію та магнію. Морські води є найпоширенішим видом природних вод.

• Промислові й стічні води

Забруднення промислових стічних вод розрізняють за хімічним складом і фізичним станом. За хімічним складом забруднення підрозділяються на мінеральні й органічні, за фізичним станом – залежно від ступеня дисперсності: розчинені, колоїдні й нерозчинені. Виходячи з вмісту домішок, стічні води підрозділяються на забруднені й умовно чисті.

До нерозчинних домішок відносяться всі частки у вигляді зависів з розмірами більше десятих долей міліметра, а також у вигляді суспензій, емульсій і пін з розмірами часток від десятих долей міліметра до 0,1 мкм. До мінеральних домішок стічних вод відносять пісок, глину, частки руди, шлаку, мінеральні солі.

При визначенні складу стічних вод важливо знати концентрацію забруднень, що виражається в мг/л. Концентрація забруднень залежить від норми водовідведення: чим ця норма більше, тим нижче концентрація забруднень. Концентрація забруднень змінюється залежно від часу доби (вночі вона мінімальна), сезону (взимку вона вища, тому що менше водовідведення), змінюється залежно від сезону і температура стічних вод.

Промислові води відрізняються великою розмаїтістю, їх можна підрозділити за складом на наступні групи: 1) вміст переважно мінеральних забруднень (від підприємств металургійної промисловості й промисловості будівельних матеріалів); 2) переважна кількість органічних забруднень

(підприємства харчової промисловості); 3) зі змішаним забрудненням (підприємства хімічної промисловості).

При змішанні різних стічних вод їхні складові частини швидко взаємодіють. У результаті в осад у вигляді шламу випадають карбонати кальцію, магнію і заліза, гіпс, кремнезем. При зміні рН і Eh можуть випадати гідроксиди металів, утворюватися їхні сульфіді, а також виділятися газоподібні продукти у виді H_2S , CO_2 , SO_2 та ін. Для стічних вод важливо знати такі показники:

- здатність домішок осаджуватися (окалина, пісок, пил і т.д.);
- здатність спливати на поверхню (нафтопродукти, жири, масла);
- здатність до коагулювання;
- здатність фільтруватися;
- питома електрична провідність;
- величини рН і Eh;
- температуру, швидкість руху, напір та ін.

Від фізичних властивостей механічних домішок і швидкості руху стічних вод залежать швидкість механічного зносу будівельного матеріалу або конструкції та умови їх зарощування.

Питома електрична провідність стічних вод визначає їх корозійну активність стосовно бетону й арматури конструкцій. Вона відбиває загальний ступінь іонізації речовин, що знаходяться у стічних водах, і дозволяє дати побічну оцінку їхній реакційній здатності.

Величина рН показує ступінь агресивності води за загальнокислотою ознакою. Так, нижньою межею стійкості продуктів гідратації цементів прийнято значення рН = 6,5. Тому стічні води за ступенем їх агресивності можна поділити на дві групи - з рН > 6,5 і з рН < 6,5. Оцінка ступеня впливу стічних вод на металеві закладні деталі та інші металеві елементи конструкцій більш диференційована: так, води з рН = 4 - 6 є сильноагресивними стосовно заліза і сталі, із рН = 6 - 6,5 – агресивні; із рН = 6,5 - 8,5 – слабоагресивні.

Показник E_h (окислювально-відновний потенціал) стічних вод також впливає на оцінку ступеня агресивності вод до бетону і сталевій арматури. Якщо $E_h > 0$, то середовище є окислювальним (аеробним) і містить кисень. У таких умовах сірка, хром і ванадій утворюють розчинні сполуки (сульфати, хромати, ванадати), а тривалентне залізо і чотиривалентний марганець – важкорозчинні сполуки. В аеробних умовах при $E_h > + 0,5$ В и $pH = 6,5$ сталеві елементи конструкцій служать довго, але вже при зниженні E_h до величини $+ 0,4$ В (при тому ж значенні pH) середовище оцінюється як агресивне.

При $E_h < 0$, стічні води вважаються відновними, тобто анаеробними. Вільний кисень відсутній, а в контакті зі стічними водами можуть знаходитися CH_4 , H_2S та інші агресивні гази. Протікання відновних реакцій забезпечують мікроорганізми, що розкладають органічні речовини. У цих умовах Fe^{3+} і Mn^{4+} переходять у форми з більш низькою валентністю, а сульфати – у сульфіді. Присутність сірководню приводить до утворення малорозчинних сульфідів металів. Анаеробні стічні води, як правило, досить агресивні стосовно бетону, а тим більше до сталі вже при $E_h = - 0,1$ В.

Оскільки температура стічних вод може коливатися від 4 до 90 °С і вище, необхідно враховувати і цей фактор при проектуванні конструкцій. У цьому разі слід дотримувати норм, наведених у СНіП 2.03.11-85, де вказується, що агресивність рідких середовищ збільшується в середньому на одну ступінь, якщо їхня температура підвищилася від норми (25 °С) до 70 °С.

● Газоповітряні агресивні середовища й аерозолі

У чистій і сухій атмосфері бетон, залізобетон, сталь і природні кам'яні матеріали без видимих змін експлуатуються багато сотень і навіть тисяч років. Звичайна земна атмосфера складається з наступних компонентів, %: азоту -78, кисню – 20,95, аргону – 0,93, вуглекислого газу – 0,03. Інша частина, що складає 0,1 %, приходить на водень, неон, криптон, гелій, радон, аміак, йод, пероксид водню та деякі інші компоненти. Однак в атмосфері є і забруднення, що попадають в неї в результаті господарської діяльності людей. Забруднення

повітря газами відбувається внаслідок роботи промислових підприємств, а також сільськогосподарських, наприклад, тваринницьких і птахівницьких комплексів. В атмосфері підземних споруд можлива присутність вуглекислоти або сірководню у підвищеній кількості. Основні забруднювачі повітря – продукти згоряння палива на теплових електростанціях, у котельнях, у різних паливних пристроях, двигунах внутрішнього згоряння і т.п. Агресивність газового середовища значно підвищується у приміщеннях і на території промислових підприємств, у технологічному процесі яких переробляються гази, агресивні щодо бетону або сталевій арматури. Такі умови можуть бути в прибережних морських районах, в яких агресивність повітряному середовищу додають аерозолі солей морської води.

Найбільш небезпечним забрудненням, характерним для індустриальних районів, є діоксид сірки SO_2 , потім слід назвати вуглекислий газ CO_2 та оксиди азоту NO і NO_2 . Практично завжди в атмосфері присутня суміш різних газів, тому процеси корозії матеріалів треба розглядати з урахуванням взаємодії матеріалів з вуглекислим газом і дотримання карбонатної рівноваги. Крім цього в цехах підприємств хімічної, нафтохімічної, металургійної та інших галузей промисловості повітря може бути забруднено молекулярним хлором Cl_2 , парами соляної кислоти HCl , сірководнем H_2S та іншими газами.

Концентрації кислих газів не повинні перевищувати гранично припустимих значень, встановлених органами охорони здоров'я, мг/м^3 : для SO_2 – 10, HCl – 5, Cl_2 – 1, $\text{NO} + \text{NO}_2$ – 5, HF – 0,5.

Відповідно до відносної вологості атмосферне повітря поділяється на сухе ($W \leq 60 \%$), нормальне ($W = 61 - 75 \%$) і вологе ($W \geq 75 \%$). Відносна вологість, температура і концентрація газів є основними характеристиками газоподібних середовищ, що визначають ступінь їхньої агресивності стосовно матеріалів згідно зі СНіП 2.03.11-85.

У свою чергу, частки пилу й аерозолі, що знаходяться в атмосфері, підрозділяються:

- на корозійно-активні (KCl , NaCl , Na_2SO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ і т.д.);

- депасиватори;
- такі, що збільшують при розчиненні питому електричну провідність плівки електроліту ($\text{Ca}(\text{NaO}_3)_2$, NaNO_3 , KNO_3 і т.д.);
- адсорбенти (частки вугілля);
- інертні (частки піску і глини).

Пилоподібні забруднення також поділяються:

- на малорозчинні, з розчинністю < 2 г/л;
- малогігроскопічні (солі, що мають при температурі 20°C рівноважну відносну вологість 60 % і більше);
- легкорозчинні гігроскопічні (солі з вологістю менше 60 %).

Оцінку ступеня агресивності газоповітряних і твердих середовищ здійснюють за СНіП 2.03.11 -85.

В індустріальних районах необхідно враховувати розташування споруди щодо джерела виділення агресивних газів, напрямку вітру, відстань від джерела агресивного впливу і його вид. При оцінці ступеня агресивності атмосфери рекомендується обстежувати раніше побудовані в цьому районі споруди й будівлі. Варто враховувати також перспективи промислового будівництва і підвищення вимог до газоочисних систем підприємств. При будівництві поблизу морів або солоних озер слід враховувати, що солі можуть накопичуватися в порах бетону, а це залежить, у свою чергу, не тільки від їхньої наявності в атмосфері приморських районів, але і від напрямку вітрів і вологості клімату.

● Тверді агресивні середовища

До твердих агресивних середовищ, з якими можуть контактувати з/б конструкції, відносяться сухі мінеральні ґрунти й різні сипучі хімічні матеріали: добрива, фарби, гербіциди та інші хімікати. Корозійні процеси в твердих середовищах при звичайній температурі без участі рідкої фази не протікають.

Агресивність сухих ґрунтів обумовлюється кількістю і складом солей, що містяться в них, умовами зволоження і вологістю клімату. Агресивність

зволожених ґрунтів залежить від складу розчинних солей і їхньої концентрації. У цьому разі агресивним буде розчин у порах ґрунту, і, отже, корозія протікатиме за механізмом процесів корозії у рідких середовищах.

Для внутрішніх приміщень небезпека порошкоподібного твердого середовища визначається зволоженням за рахунок конденсаційної вологи, що обумовлена капілярною конденсацією між частками порошку і гігроскопічністю матеріалу. Як відомо, водні розчини різних речовин характеризуються тиском пари води над розчином, меншим, ніж тиск пари над чистою водою, при тій же температурі. Тому при вологості повітря менше 100 %, але більшої ніж рівноважна для даного розчину, останній буде поглинати воду з повітря доти, поки не відновиться рівновага з навколишнім середовищем. Гігроскопічними речовинами є такі, в яких тиск пари насиченого розчину більше, ніж тиск пари води при відносній вологості повітря (60 %), наприклад, хлористий магній, хлористий цинк, хлористий кальцій тощо. Ступінь агресивності твердих середовищ знаходиться у прямій залежності від їх гігроскопічності. Активний агресивний вплив пилоподібних твердих середовищ виникає у випадку, якщо під шаром пилу в результаті конденсації з пари утворюється плівка рідини - водного розчину пилу.

Таким чином, корозійні процеси між твердими агресивними середовищами і бетоном стають можливими тільки з появою рідкої фази або в результаті безпосереднього зволоження твердого середовища атмосферними опадами, ґрунтовими або поверхневими водами або технологічними розчинами.

Лекція 3

КОРОЗІЯ МІНЕРАЛЬНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ

- **Класифікація факторів, що призводять до руйнування мінеральні будівельні матеріали**

Залежно від зовнішнього впливу на будівельні матеріали мінерального походження корозію класифікують на:

- фізичну;
- хімічну;
- електричну та електрохімічну;
- біологічну.

При виборі матеріалів для будівельних робіт з точки зору їх корозійної стійкості треба враховувати такі фактори й умови:

- при експлуатації матеріалів у практично неагресивних зовнішніх умовах вибір ведуть тільки за марочною міцністю;

- при постійному впливі кліматичних і атмосферних факторів без насичення водою враховують атмосферостійкість і марочну міцність;

- при можливому епізодичному впливі температур нижче 0°C у водонасиченому стані беруть до уваги морозостійкість і водонепроникність;

- при поперемінному заморожуванні й відтаванні при епізодичному насиченні водою враховують морозостійкість і водонепроникність матеріалу;

- при поперемінному заморожуванні й відтаванні у водонасиченому стані беруть до уваги морозостійкість і водонепроникність;

- при механічному стиранні при постійному або епізодичному водонасиченні і впливі знакоперемінних температур враховують міцність, щільність і морозостійкість;

- при впливі усіх видів агресивних факторів відповідно до існуючої класифікації враховують корозійну стійкість.

- **Класифікація мінеральних матеріалів залежно від їх поведінки в агресивних середовищах**

Корозійною стійкістю будівельних матеріалів називають їх здатність чинити опір процесам руйнування, що протікають у матеріалах при впливі на них зовнішніх агресивних факторів. Ця властивість може бути притаманна будь-якому будівельному матеріалу незалежно від його природи та складу.

Матеріали, які є стійкими в одних умовах експлуатації, стають нестійкими в інших умовах. Кількісно корозійна стійкість оцінюється за 10 бальною шкалою, і характеризується однобічним зменшенням товщини матеріалу, мм/рік, що відображено в табл. 6.

Таблиця 6 – Оцінка корозійної стійкості будівельних матеріалів

№ п/п	Група стійкості	Швидкість корозії, мм/рік	Бали
1	Повністю стійкі	< 0,001	1
2	Дуже стійкі	> 0,001 до 0,005	2
		> 0,005 до 0,01	3
3	Стійкі	> 0,01 до 0,05	4
		> 0,05 до 0,1	5
4	Зниженої стійкості	> 0,1 до 0,5	6
		> 0,5 до 1,0	7
5	Малостійкі	> 1,0 до 5,0	8
		> 5,0 до 10,0	9
6	Нестійкі	> 10,0	10

Матеріали, що відрізняються корозійною стійкістю в різних агресивних середовищах (оцінка за шкалою не вище 5 балів), називаються корозієстійкими. До них відносяться кераміка з щільним черепком, скло, азбест, леговані сталі, сплави титану й алюмінію, деякі пластмаси і природні кам'яні матеріали (граніт, базальт, кварцит). Такі матеріали практично не потребують додаткового захисту.

До мінеральних будівельних матеріалів належать природні камені, кераміка, бетони, будівельні розчини та інші, що відрізняються від металевих своїми структурними і фізико-механічними властивостями, а також механізмом взаємодії з агресивними факторами довкілля. Багато з цих будівельних матеріалів мають характерну для неметалічних матеріалів молекулярну структуру, якій притаманний іонний зв'язок. Такі матеріали відносно легко реагують з водою з утворенням іонних розчинів. Ще більш інтенсивно вони взаємодіють з кислими, лужними чи мінералізованими водами.

Важливою особливістю більшості мінеральних будівельних матеріалів, особливо штучних їх різновидів є значна пористість. Це призводить до можливості фільтрації і підсмоктування води, зволоження внаслідок конденсації пари води, а також до інтенсивної взаємодії матеріалів з рідкими середовищами через пори.

Ще однією особливістю більшості матеріалів цієї групи є неоднорідність і полімінеральність їх структури, що часто переходить у конгломератну. Наприклад, більшість гірських порід складаються з кількісного числа мінералів (граніти, діорити, сієніти, доломіти, порфіри та ін.), а такі відносно однорідні гірські породи, як вапняки, містять сторонні домішки і вкраплення, що можуть істотно змінювати їх властивості. Ще більш складні за структурою і складом штучні кам'яні матеріали і конструкції з них, наприклад, бетони, силікатна цегла та ін. Корозійна стійкість цементуючої частини таких мінеральних матеріалів є їх найбільш слабким місцем.

Можливість протікання процесів корозії обумовлена хімічними властивостями всіх складових частин будівельного матеріалу, щільністю структури і концентрацією агресивних компонентів експлуатаційного середовища.

Розвиток корозійних процесів у конструкціях і спорудах, виконаних з мінеральних будівельних матеріалів, обумовлений різними факторами, повністю врахувати які досить важко. Усі найбільш поширені в будівництві матеріали мінерального походження можна умовно розділити на три групи залежно від їхнього поводження в агресивних середовищах.

До першої групи належать:

- звичайні бетони і залізобетон на портландцементі та його різновидах;
- розчини для кладки і опоряджувальні;
- азбестоцементні вироби;
- силікатні будівельні матеріали;
- природні вапняки і доломіти.

Всі ці матеріали єднає те, що до їх складу входять гідрати або карбонати кальцію і магнію. Характерними їх властивостями є відносно висока лугостійкість і досить низька кислотність.

До другої групи відносяться:

- бетони на основі рідкого скла з кремнієфтористим натрієм,
- кислі гірські породи (кварц, граніт, андезит, діабаз, базальт і т.п.), що переважно складаються з кремнезему, різних солей, кремнієвих і полікремнієвих кислот, алюмосилікатів тощо.

Такі матеріали мають досить високу стійкість не тільки до кислот, але і до лугів низьких і середніх концентрацій при нормальній температурі завдяки своїм властивостям, таким як висока щільність і міцність.

До третьої групи належать:

- керамічні вироби (цегла, плитки, труби і т.д.).

Усі керамічні матеріали, особливо з великою щільністю мають високу кислотостійкість.

● **Механізм процесів корозії мінеральних будівельних матеріалів і способи їх антикорозійного захисту**

Розглянемо приклади механізму руйнування і методи захисту деяких з перелічених вище видів будівельних матеріалів.

Бетон як штучний будівельний матеріал мінерального походження, найбільш широко використовується в сучасному цивільному, промисловому, гідротехнічному, теплоенергетичному, дорожньому та інших видах будівництва. Крім цього існують бетони спеціального призначення, наприклад, кислототривкий, жаротривкий, радіаційнозахисний тощо.

Властивості бетону залежать від його хімічного складу, який обумовлений насамперед мінералогічним складом цементу, що містить такі основні клінкерні мінерали: $C_3S = 60-65 \%$; $C_2S = 18-20 \%$; $C_3A = 5-7 \%$; $C_4AF = 15 \%$. У свою чергу, хімічний склад цементного каменю визначається наявністю гідросилікатів кальцію типу CSH-B – тоберморитоподібних:

$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ або $5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5,5\text{H}_2\text{O}$ - тоберморит; $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – гідроалюмінат кальцію; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – гідроксид кальцію.

При протіканні процесів тужавлення і твердіння цементу, у залежності від термодинамічних умов, продукти гідратації у своєму розвитку проходять через різні стадії дисперсного стану – від появи зародків (розміром < 1 нм), потім часток колоїдного ступеня дисперсності (від 1 до 100 нм) до утворення кристалів (розміром > 100 нм). У результаті утворюється цементний камінь, що складається з цементного гелю (60-80 % об'єму каменя), який є носієм міцності, і кристалічної фази, що заповнює порожнечу гелю (20-40 %). Гель представлений в основному С-S-H-фазою, а кристалічна фаза - СН, С-A-H, С-F-H і С-A-C_s-H - фазами. Відповідно до існуючих даних С-S-H-фаза містить у собі гідросилікати кальцію двох видів: CSH(I) у співвідношеннях C/S = 0,8-1,5 і CSH(II) з C/S $> 1,5$. Фаза СН представлена великими кристалами гідроксиду кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$, С-A-H- гідроалюмінатом кальцію C_4AH_{19} , а С-A-C_s-H - голкоподібним еtringітом $3\text{Ca} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$. У процесах твердіння можуть утворюватися і вторинні продукти, в першу чергу кальцит CaCO_3 .

Клінкерні мінерали цементу в процесі гідратації забезпечують надходження в рідку фазу значної кількості гідроксиду кальцію, що збільшує значення рН до 12-13 (при В/Т = 0,5). Величина окислювально-відновного потенціалу E_h витяжок порового електроліту з цементного тесту залежно від В/Т коливається від + 0,1...+ 0,3 В. При збільшенні значення В/Ц і зниженні рН потенціал E_h має більш позитивну величину. Для порівняння: у водопровідній воді E_h = + 0,38 В, а в дистильованій – вже + 0,4 В. Отже, цементний камінь має слабкоокислювальне середовище з високим значенням рН порової рідини.

У бетонах розрізняють три види структур: мікроструктуру (структура цементного каменя), мезоструктуру (структура двокомпонентного

цементно-піщаного розчину), макроструктуру (структура бетону, що складається з щебеню і цементно-піщаного розчину).

Мікроструктура цементного каменю може бути коагуляційною, конденсаційною і кристалізаційною. Для свіжевиготовленого цементного тіста характерна коагуляційна мікроструктура, в якій зчеплення між елементами здійснюється під дією міжмолекулярних Ван-дер-Ваальсових сил. Конденсаційна - формується в міру зв'язування води й утворення між частками міцних кристалізаційних контактів. У кристалізаційних мікроструктурах зв'язок між частками обумовлений головними валентними зв'язками, що і забезпечує міцне зрощення часток. Структура цементного каменю зрілого віку має явно виражений коагуляційно-кристалізаційний характер.

Загальна пористість щільних бетонів, що утворюється за рахунок седиментаційних процесів (процес осідання твердих часток: заповнювача - в цементному тісті, цементу - у воді) і повітровтягування складає 8-15 %, а для бетонів з ніздрюватою структурою доходить до 85 %. При вивченні впливу на бетон і з/б агресивних агентів важливо знати також об'єм пор, по яких рухаються агресивні потоки. Об'єм відкритих пор, по яких може рухатися рідина або газ, називають проникністю, або ефективною пористістю. Ефективна пористість коливається залежно від терміну взаємодії бетону з водою.

Важливими показниками, що визначають структуру і довговічність бетону, є легкоукладувальність бетонної суміші і її здатність розшаровуватися. Ці показники залежать від седиментаційних процесів, що обумовлені розходженням у щільності складових частин бетону. Велике значення має штучне створення великих замкнутих пор за рахунок уведення повітровтягувальних добавок, які сприяють підвищенню морозо- й солестійкості бетонів.

Здатність бетонів до опору впливу агресивного середовища визначається саме ефективною пористістю, що обумовлена наявністю

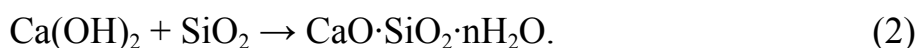
наскрізних капілярів, пор, мікротріщин різного походження, каверн, свищів і т.п. Усі бетони в більшому або меншому ступені є проникними. Марка бетону за водонепроникністю відповідає такому тиску води, при якому на 2-х з 6-ти зразків з'являються видимі ознаки фільтрації. Тому бетон заданої марки за водонепроникністю не є абсолютно водонепроникним, коли тиск чисельно дорівнює марці.

У капілярно-пористих тілах, яким є тіло бетону, при контакті з водою протікають наступні процеси: поверхнєве розчинення і гідроліз складових частин структури, наявність розклинюючого тиску в тріщинах, мікропорах, під напором води може спостерігатися не тільки розчинення, але і частковий винос продуктів розчинення, що призводить до зниження міцності.

Заповнювачі бетону представлені такими гірськими породами, як магматичні породи, наприклад, граніт – $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, щільні карбонатні породи, наприклад, вапняки – CaCO_3 , а дрібний заповнювач - силікатний пісок - SiO_2 . Оскільки заповнювачі в бетоні складають близько 80 % його об'єму, то їхня корозійна стійкість і властивості поверхні мають дуже велике значення. Якщо хімічна стійкість гранітів і пісків сумнівів не викликає, то стійкість вапняків варто враховувати. Так, при дії кислот на карбонатні заповнювачі їхнє руйнування буде випереджати руйнування цементного каменю.

Особливе місце серед заповнювачів займають породи, що містять аморфний кремнезем (опал, халцедон, креміль). Такі породи в результаті взаємодії їх з лугами, що містяться в цементі, викликають корозійний процес. У бетоні на пористих заповнювачах ущільнення цементного каменю в контактному шарі відбувається в результаті відсмоктування води заповнювачем. Тому такі бетони показують більш високу водонепроникність у порівнянні з бетонами такої ж марки на щільних заповнювачах.

Відомо, що силікатні матеріали, наприклад, силікатна цегла виготовляється із суміші кварцового піску (вміст $\text{SiO}_2 > 90 \%$) з вапном і її твердіння відбувається в автоклавах за реакцією (2)



Подальше зміцнення силікатної цегли відбувається у звичайних умовах шляхом карбонізації, тобто приєднання CO_2 з повітря.

Наявність у складі силікатних матеріалів вапна і вуглекислого кальцію робить їх нестійкими навіть у слабких водяних розчинах мінеральних і органічних кислот. Наприклад, якщо у воді присутній розчинений вуглекислий газ, то вуглекислий кальцій переходить у розчинний гідрокарбонат і силікатна цегла руйнується. Крім того, під час висихання цегли, яка періодично насичується лужними розчинами, в її порах утворюються кристалогідрати, що призводить до виникнення напружень розтягування, а це, в свою чергу, призводить до зниження міцності конструкції чи виробу.

При зволоженні силікатні матеріали також стають нестійкими, а при температурі понад 600°C відбувається локальне розширення кварцу, що теж призводить до руйнування матеріалу. Але силікатна цегла, що містить до 90% кремнезему, дуже стійка проти дії деяких лужних розчинів, але тільки слабкої концентрації.

Поряд із силікатною цеглою в будівництві широко застосовують такі силікатні вироби, як великі стінові блоки, опоряджувальні плити, сходи і т.п. Вони мають різні особливості технологій виготовлення, міцність, але фізико-хімічні властивості в них близькі й подібні до силікатної цегли.

Будівельні вироби і конструкції, виготовлені з природних кам'яних матеріалів, відзначаються такими з самими фізико-хімічними властивостями гірських порід, з яких вони вироблені. Так, вивержені гірські породи, як кристалічні, так і аморфні, відрізняються непоганою кислотостійкістю і достатньою лугостійкістю, а породи, що мають високу щільність, до того ж відрізняються високою морозостійкістю. Їх широко використовують під час зведення будинків і споруд, наприклад, як щебінь для бетону, блоки при зведенні фундаментів, стінові вироби тощо.

Породи осадового походження теж широко використовують у будівництві, але вони не мають високої корозійної стійкості, за винятком

механічних осадових порід (гравію, піску), що зберегли властивості первинних порід – високу кислотостійкість і достатню лугостійкість. Низьку кислотостійкість мають вапняки (CaCO_3), магнезити (MgCO_3), доломіти ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) і щільні кремнеземисті вапняки. Відомо, що звичайні вапняки обмежено стійкі до дії води, що не містить CO_2 або містить його в кількості менше ніж 15- 20 мг/л. При підвищенні концентрації CO_2 утворюється бікарбонат кальцію, що легко розчиняється у воді це і призводить до руйнування.

Природний гіпсовий камінь ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) і ангідрит (CaSO_4) легко піддаються корозійному руйнуванню під впливом кислот і легко розчиняються у воді (розчинність гіпсу складає 2,5 г/л), але дещо краще чинять опір впливу лугів.

Корозійна стійкість деяких піщаників залежить від характеру природного цементу, що зв'язує його кварцовий кістяк. Наприклад, вапнякові піщаники, зцементовані $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, досить кислото- й лугостійкі. Залізовмісні піщаники (бурий і червоний залізняк), зцементовані гідратованими окислами заліза, не відрізняються високою корозійною стійкістю а їх морозо-, соле- і водостійкість залежать від пористості й природи цементуючої речовини. Так, періодичне зволоження і сушіння піщаників з домішками глини і мергелю знижує їх морозостійкість.

З метаморфічних порід у будівництві широко використовують гнейси, кварцити і мармури. Будівельні вироби з цих порід мають приблизно ті самі властивості, як і породи, з яких вони виробляються.

Кристалічні кварцити, які є різновидом піщаників і складаються з зерен кварцу, зцементованих кремнеземистим цементом або без цементації, мають високу кислото- й лугостійкість. Аналогічно кварцитах корозійностійкими є і гнейси, які близькі за складом до гранітів.

Мармур – це різновид вапняків або доломітів, складається із зерен CaCO_3 чи $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$, скріплених за рахунок зчеплення кристалів. Мармур широко застосовують як оздоблювальний матеріал, але він не

атмосферостійкий і в зовнішньому застосуванні піддається руйнуванню, що особливо швидко розвивається на неполірованих поверхнях. Корозія мармуру виникає при наявності в повітрі сірчаного газу і вологи. У цьому разі на поверхні мармуру утворюється сірчиста, а потім і сірчана кислоти, що перетворює кальцій у гіпсовий порошок, який розчиняється за реакцією (3)



Цей процес хімічної корозії доповнюється фізичною корозією – розпушенням кальциту зі збільшенням об'єму на 10-15 %.

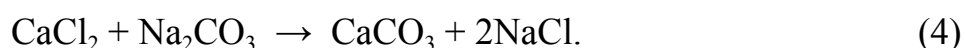
У цілому стійкість матеріалів цієї підгрупи залежить не тільки від якості гірської породи, форми виробу й умов експлуатації, але і від інтенсивності захисних заходів у тих чи інших умовах. Правильне і своєчасне застосування захисних заходів підвищує термін служби конструкцій і виробів, зберігає декоративну якість і природне забарвлення матеріалу на тривалий час. Вибір захисних заходів залежить від особливостей кам'яного матеріалу та умов його роботи. Очевидно, що чим більше пористість матеріалу, тим сильніше на нього діють фактори руйнування. Тому найбільш надійним способом захисту кам'яних матеріалів від руйнування є виключення можливості проникнення води через поверхню конструкції у середину. Здійснюють захист конструктивними і хімічними способами.

До конструктивних заходів відкритих частин будівельних споруд, таких як цоколі, карнизи, парапети, колони тощо, відносять надання їм такої форми, яка полегшує відведення води або застосування виробів з полірованою поверхнею, що забезпечує швидке стікання води. Особливо це важливо для таких матеріалів, у яких характер поверхні сприяє можливості скупчення дощових і снігових вод.

До хімічних заходів належить ущільнення поверхні матеріалу насиченими водяними розчинами речовин, що вступають у хімічну взаємодію з мінералами каменю і переводять речовини мінералів у нерозчинні сполуки. Такий метод захисту конструкції називається кремнефторизацією або флюатуванням. У результаті в порах каменю і на його поверхні утворюються

нерозчинні речовини, що підвищують не тільки міцність і морозостійкість каменю, але і стійкість його до впливу хімічних факторів. Застосовують флюати магнієвої солі і алюмінієвий флюат. При цьому водопоглинання каменю, обробленого хімічним способом, значно знижується.

Породи з великими порами і малим вмістом на їх поверхні вуглекислого кальцію обробляють спочатку просочуванням розчином хлориду кальцію, а після цього поверхню просушують і обробляють розчином соди, внаслідок чого утворюється карбонат кальцію за реакцією (4)



Подальше флюатування, тобто просочування розчином флюату (сіль кремнефтористо-водневої кислоти), у результаті активної реакції з карбонатом кальцію, істотно ущільнює поверхню каменю:



Щоб запобігти вивітрюванню опоряджувальних матеріалів, виготовлених з деяких гірських порід, рекомендується послідовно просочувати їх поверхню рідким склом і хлоридом кальцію. У результаті хімічної реакції в порах каменю утворюються нерозчинні сполуки силікату кальцію і кремінної кислоти, які і заповнюють пори. Ущільнення поверхні каменю досягається також послідовним просочуванням спиртовим розчином калійного мила й оцетокислого глинозему. У цьому випадку в порах каменю відкладається глиноземиста сіль.

Досягнути ущільнення поверхні можна також шляхом полірування, при якому пори заповнюються дрібними часточками матеріалу, роблячи їх недоступними для вологи й газів. Останнім часом усе більше застосовуються методи ущільнення поверхні кам'яних виробів шляхом просочуванням їх полімерними матеріалами, які мають гідрофобні властивості.

Більшість керамічних матеріалів, особливо великої щільності мають високу корозійну стійкість до дії кислот і задовільну до лугів. Однак керамічна цегла, що складається переважно з кремнезему і глинозему, не стійка проти дії водяних розчинів лугів, що утворюють з глиноземом

легкорозчинні солі, які вимиваються. Цегла легко руйнується під розпiрно-розклинюючою дією кристалогідратів, що утворюються з розчинів солей, особливо сульфiтів натрію і магнію. До цього слід додати, що незалежно від хімічних процесів звичайне зволоження керамічних виробів саме по собі сприяє зниженню їхньої міцності в морозостійкості. Тому керамічна цегла швидше піддається фізичній і хімічній корозії в місцях впливу систематичного зволоження, зокрема у фундаментах і в стінах вологих приміщень і т.д.

Слід відзначити, що хімічний вплив води на керамічні матеріали найбільше виявляється в теплу пору року, а фізичний вплив – у зимовий період, коли в порах збільшується об'єм замерзаючої води і її нагромадження в зоні замерзання внаслідок конденсаційних і міграційних процесів. Морозостійкість цегли в значній мірі можна передбачити технологією її виробництва, тобто заздалегідь забезпечити рівномірну щільність виробів по всьому об'єму і рівномірний розподіл води на проміжних етапах технології виробництва продукції.

Завдяки вмісту алюмосилікатів керамічні плитки досить стійкі проти впливу всіх органічних і мінеральних кислот, крім плавикової. Але їх лугостійкість залежить від складу і щільності матеріалу. Найбільшу лугостійкість мають плитки з черепком високої щільності.

Лекція 4
ФІЗИЧНА І ФІЗИКО-ХІМІЧНА КОРОЗІЯ БЕТОНУ.
ЗАСОБИ АНТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ

Найбільший інтерес, з погляду впливу зовнішніх факторів, викликає бетон, його різновиди і залізобетон, які є найбільш дешевими і найбільш широко застосованими в сучасному будівництві. Бетон цікавий ще й тим, що йому можна надавати самі різноманітні властивості, змінюючи в широких межах міцність, густину, теплопровідність, виготовляти з нього збірні конструкції і монолітні споруди, різні за формою і призначенням. Тому розгляд корозії бетону й залізобетону є досить актуальним.

В Україні за рік випускається 25-30 млн. м² бетону і залізобетону, а втрати від корозії складають 4 % від величини національного доходу, 15 % від кошторисної вартості йдуть на заходи захисту від корозії, що приблизно складає 1 млн. доларів.

До факторів, які призводять до фізичної корозії бетону, відносять нагрівання і охолодження, поперемінне насичення водою, заморожування і відтавання, циклічне насичення розчинами солей при наявності поверхні випару. Вищезгадані фактори призводять до розвитку внутрішніх напружень і

деструктивних процесів у бетоні за рахунок температурних об'ємних змін компонентів, фазових перетворень води, кристалізації солей і т.п.

- **Температурні деформації бетону**

Температурні деформації неминучі в масивних гідротехнічних конструкціях (через внутрішню екзотермію). Вільні температурні деформації характеризуються коефіцієнтом лінійного розширення бетону, що залежить від складу і віку бетону, виду заповнювача і вологісного режиму. У разі порушення вологісної рівноваги між бетоном і середовищем через нерівномірне протікання дифузії води в об'ємі бетону, в ньому можуть виникати усадочні деформації (при висушуванні) або набрякання (при насиченні водою). Загальна усадка містить в собі усадку за рахунок контракційних явищ і усадку за рахунок хімічної взаємодії компонентів бетону з навколишнім середовищем (наприклад, карбонізації). Так, загальна усадка цементного каменю, що зберігався на повітрі, складає 500-1070 нм/мм залежно від виду цементу, В/Ц та інших факторів. Портландцементи з високим ступенем помелу дають більш високу усадку, ніж звичайні цементи, що пояснюється значним вмістом гелю в цементному камені. Усадка також залежить від витрати цементу і вмісту заповнювачів у бетоні. Чим масніше бетон, тим вище його вологісна усадка. Заповнювачі ж, навпаки, знижують усадочні явища, чим вище В/Ц, тим більше усадка.

Деформації набрякання тим сильніші, чим вище витрати цементу, однак з підвищенням вмісту цементу при тому самому режимі вологості ступінь зволоження гелю знижується. Абсолютні ж значення деформації набрякання бетону набагато менші ніж деформації усадки.

- **Морозне руйнування бетону**

При морозному руйнуванні на бетон впливають не тільки температура і вологість, але і фазові перетворення води й осмотичні сили. Це досліджували С.В. Шестоперов, Г.І. Горчаков, Б.Г. Скрамтаєв, А.М.Підвальный, В.Б. Ратинов

[1-4] та інші. Установлено, що основну роль у процесах морозного руйнування бетону відіграє характер капілярно-пористої структури матеріалів, що впливає на швидкість тепломасообміну з довкіллям. Загальну пористість поділяють на капілярну, контракційну і гелеву. Морозостійкість будівельних матеріалів, у тому числі бетону, пов'язана головним чином з капілярною пористістю, яку необхідно звести до мінімуму, а для цього треба знижувати В/Ц до 0,3-0,4. Для її зменшення на 1 % треба підвищити витрату цементу на 3,3 кг/м³. Оскільки збільшення витрати цементу призведе до росту деформативності, найбільш доцільно регулювати співвідношення В/Ц за допомогою пластифікуючих добавок. Отже, при мінімальному В/Ц та оптимальній витраті цементу це забезпечить легкоукладувальність бетонної суміші, рівномірність розподілу пор по всьому об'єму і мінімальну загальну пористість.

Щоб пояснити особливості морозного руйнування цементного каменю і бетону, необхідно враховувати колоїдно-хімічні й осмотичні явища, що супроводжуються процесами фазового переходу води у лід. Уперше на цю обставину звернув увагу О.Є. Власов. Відповідно до його теорії перехід води в лід здійснюється в дві послідовні стадії: на першій стадії – при зниженні температури у воді утворюються більш великі асоційовані комплекси, що складаються з 3-4 молекул. Через нерівномірність розподілу температури в об'ємі бетону виникають ділянки з різними концентраціями цих комплексів, унаслідок чого з'являється осмотичний тиск, що при поступовому промерзанні сприяє переміщенню води від центру до периферії. Таким чином, у гелі цементного каменю тільки від дифузії води за рахунок різниці в концентраціях асоційованих комплексів можуть виникати значні напруження.

Досвід свідчить, що великі пори в осмотичному відношенні є небезпечними, тому що об'єм усього порового електроліту в них набагато більше об'єму льоду, що утворюється. Практично безпечні і дуже дрібні пори (особливо пори гелю), оскільки вода в них замерзає при більш низьких температурах, ніж звичайно. Найбільш небезпечні ті пори, в яких виникнення

льоду з порового електроліту проходить досить швидко і разом з цим ступінь виморожування достатньо високий. При цьому різко змінюється концентрація розчинених солей і вода з гелю переходить у поровий електроліт. У результаті гелю починає стискуватися. Таким чином, при замерзанні води в порах вода з гелю надходить у великі пори і гелеві перегородки між цими порами деформуються. Але для звичайних бетонів такий осмотичний тиск є небезпечним. Більш небезпечним є циклічний характер цих явищ, оскільки при розморожуванні вода рухається в протилежному напрямку і деформації періодично змінюють знак. Тобто на гелеві перегородки в зоні циклічної дії знакоперемінних температур діє не тільки термічне напруження, але і впливають знакоперемінні осмотичні сили. Вплив осмотичних явищ ні в якій мірі не зменшує ролі деформацій, викликуваних розширенням льоду при його утворенні в порах. Але це може мати істотне значення тільки при наявності в бетоні замкнутих пор заповнених водою.

Тому при проектуванні морозостійких бетонів треба застосовувати диференційований підхід. По-перше, враховувати кліматичні умови служби бетону: кількість циклів заморожування і відтавання і найбільш низьку температуру. По-друге, брати до уваги властивості компонентів бетону і здійснювати підбір оптимального складу з мінімальною капілярною пористістю. Якщо водонепроникність не відіграє вирішальної ролі, то слід створювати цементний камінь, у структурі якого тонкі (небезпечні) капілярні пори чередуються з великими порами, заповненими повітрям.

Особливо інтенсивно руйнується бетон при заморожуванні з одночасним впливом розчинів солей. Цей вид фізичної корозії найбільш типовий для морських споруд. У цьому разі порушується не тільки термічна, вологісна, але і хімічна рівновага. Наприклад, температура замерзання повареної солі складає -21°C , тому перехід розчину через його криоскопічне значення буде здійснюватися не через 0°C (як для звичайної води). Якщо така сіль потрапить на поверхню бетонної конструкції, наприклад, бордюрний камінь, і процес дії утвореного розчину цієї солі буде тривалим (кілька

зимових місяців), то при повному розморожуванні внаслідок потепління бетон розвалиться на складові частини.

Марка за морозостійкістю призначається за ДСТУ 4795-68 і СНіПом 2.01.01-82 з урахуванням кліматичних умов. Суворим кліматом вважається такий, коли середньомісячна температура знаходиться в межах від -10 до -20 °С, а помірним - від 0 до -10 °С. Для одержання бетонів підвищеної морозостійкості використовують чисто клінкерні цементи зі вмістом $C_3A \leq 8\%$ (без мінеральних добавок), а заповнювачі – щільні з вивержених порід. Склади бетону підбирають так, щоб вони мали значну щільність з мінімальним В/Ц, мінімальну капілярну і загальну пористість. Цього можна досягти застосуванням пластифікаторів і комплексних добавок. Для створення резервних пор рекомендується використовувати повітряновтягувальні (0,01 - 0,02 % СНВ) і гідрофобні (0,01 - 0,02 % ГКТ-94) добавки.

При заморожуванні водонасиченого з/б відбувається набрякання бетону й укорочування арматури, що викликає зниження адгезії бетону до арматури. Щоб забезпечити необхідну морозостійкість залізобетону, важливо виключити або хоча б звести до мінімуму тріщини та інші дефекти бетонних конструкцій, які можуть виникати при їх виготовленні. Для цього використовують перевірені на практиці м'які режими теплової обробки і виключають висушування виробів.

- **Корозія від впливу солей**

Сольова корозія бетону - це вид фізичної корозії, який виникає в результаті кристалізації солей унаслідок капілярного підсмоктування і випару мінералізованих вод в умовах експлуатації бетону при позитивних температурах. Особливо небезпечно, коли в порах бетону спочатку кристалізуються безводні солі, а потім з появою відповідних умов ці солі перетворюються в кристалогідрати. Такі перетворення, як правило, супроводжуються збільшенням об'єму твердої фази і виникненням значних внутрішніх напружень у тілі бетону. У такому випадку треба враховувати й

термічні напруження, хімічні й фазові перетворення, що сприяють розвиткові осмотичних явищ, а також циклічний характер впливу розчинів солей. Так, зміна температурних режимів вдень і вночі сильно змінює розчинність солей, умови підсмоктування і їх кристалізації, причому найбільш небезпечні в осмотичному відношенні добре розчинні солі.

Для того, щоб запобігти цьому виду корозії, треба застосовувати бетони з відкритою пористістю не вище 2 % або захищати їх гідроізоляцією відповідно до СНіП 2.03.11-85.

- **Механічний знос**

Механічний знос теж відноситься до фізичних факторів і враховує всі види механічних впливів: удари хвиль, дію стирання завислих часток, ударні і вібраційні навантаження і т.п. Усі ці фактори необхідно враховувати при розрахунках конструкцій з бетону і з/б на міцність і довговічність.

Абразивний знос бетону і з/б проявляється внаслідок руху сипучого матеріалу по їх поверхні або ударно-стиральної дії часток матеріалу, тобто спостерігається ефект чистого стирання або ударно-стиральний ефект. Абразивний знос у більшості випадків супроводжується корозійним зносом, чому сприяє наявність у сипучому матеріалі вологи і солей. Абразивна дія спостерігається при контакті бетонної конструкції із сипучими матеріалами при навантаженні, транспортуванні, дозуванні, збереженні, збагаченні й переробці, наприклад, помелі, дробленні і т.п. До таких конструкцій відносяться бункери, лотки, лійки і т.д.

З метою захисту від ударних впливів бетонних і з/б конструкцій використовують захисні футеровки, наприклад, листи сталі, причому робиться суцільнозварне обшивання або футеровка, що використовується як опалубка при зведенні цих конструкцій. Крім цього використовується шлакове лиття, що має дуже високу корозійну стійкість. Таке лиття придатне і як покриття підлоги на підприємствах чорної металургії.

З усього різноманіття фізико-хімічних факторів, що впливають на довговічність цементного каменю, бетону і залізобетону, варто виділити осмос, контракційні явища і вилуговування. Вони можуть виступати як самостійні фактори, так і як супутні з іншими факторами.

- **Вплив осмотичних явищ на руйнування бетону**

Осмотичні явища спостерігаються у рівноважних колоїдних системах, де різниця хімічних потенціалів зв'язаної і вільної рідких фаз компенсується осмотичним тиском. Осмотичний тиск залежить від концентрації зовнішнього розчину (порового електроліту) і зв'язаний зі зміною електрокінетичних властивостей гідратних новоутворів, а також продуктів корозії, що мають дуже малі розміри (стадія колоїдного ступеня дисперсності). Особливість взаємодії зовнішнього порового електроліту з міцеловим розчином колоїдних часток або гелів полягає в тому, що їхні об'ємні зміни залежать не тільки від осмотичного тиску і товщини дифузійного шару самих колоїдних часток (які характеризуються електрокінетичним потенціалом), але і від доннанівського потенціалу, знак якого обумовлений знаком потенціалевизначального іону колоїдної частки або гелю.

Найбільш яскравим прикладом руйнування бетону під впливом осмотичних сил є корозія бетону в результаті реакції взаємодії лугів цементу з заповнювачами у вигляді активного кремнезему. Цей вид корозії пов'язаний з тим, що цементний камінь, а також продукти його взаємодії із заповнювачами в тонких шарах здатні виявляти властивості, характерні для напівпроникних перегородок. Якщо по одну сторону такої перегородки знаходиться розчин якої-небудь солі, а по іншу вода або розчин цієї ж солі, але меншої концентрації, то розчинник проникає в більш концентрований розчин доти, поки концентрації по обидві сторони мембрани не вирівнюються. Коли ж концентрований розчин знаходиться в замкнутому осередку, оточений напівнепроникною плівкою (мембраною), усередині цього осередку виникає осмотичний тиск, що діє на її стінки.

Запобігти цьому виду корозії (за В.М. Москвіним і Г.С. Рояком [5]) можливо такими заходами:

- обмежити вміст лугів у цементі до 0,3 % (у перерахунку на Na_2O);
- по можливості використовувати тонкомелені гідралічні добавки (в кількості не менше 15 % від маси цементу);
- регулювати пористість шляхом введення хімічних добавок.

На довговічність бетону впливають і контракційні явища, які супроводжують гідратацію цементу, що може тривати практично протягом усього терміну його експлуатації. У результаті цих явищ у цементному камені з'являються напруження розтягування, які зосереджуються на перемичках між мікропорожнинами. Величина напруження залежать від швидкості й ступеня гідратації клінкерних мінералів та інших факторів. В окремих випадках дія такого явища призводить до розриву плівок цементного каменю, що знижує його фізико-механічні властивості.

Лекція 5

ХІМІЧНА КОРОЗІЯ БЕТОНУ. СПОСОБИ АНТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ

Хімічні фактори корозії бетону і з/б поділяються на:

- корозія в рідких середовищах (кислоти, луги, розчини солей);
- корозія в газоподібних середовищах (CO_2 , Cl_2 , SO_2 , NO , NH_3 та ін.);
- корозія в пилоподібних середовищах (вплив твердих часточок пилу, що складаються із солей типу KCl , NaCl , NaNO_3 , KNO_3 та ін.).

Корозія в рідких середовищах – це головний вид корозії.

За видами хімічної взаємодії іонів середовища з іонами порового електроліту бетону можна виділити дві групи реакцій:

- обмінні хімічні реакції з утворенням легкорозчинних солей або важкорозчинних сполук, які не пов'язані між собою;
- реакції з утворенням важкорозчинних добре закристалізованих солей.

Аналіз реакцій першої групи показує, що найбільш небезпечними в розчині, який контактує з бетоном є катіони H^+ , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , NH_4^+ . Вони при взаємодії з гідроксильними іонами порового електроліту утворюють добре розчинні солі або незв'язані аморфні гідроксиди. При цьому знижується величина рН порового електроліту, що сприяє виникненню процесу гідролізу продуктів гідратації цементу і розвитку деструктивних процесів у цементному камені.

У протіканні реакцій другої групи особливе значення мають реакції з сульфат-іонами, а найбільш небезпечними є поєднання з катіонами NH_4^+ , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} та Cu^{2+} . Розчини цих солей за агресивністю можна порівняти з сірчаною кислотою.

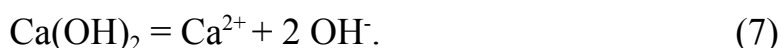
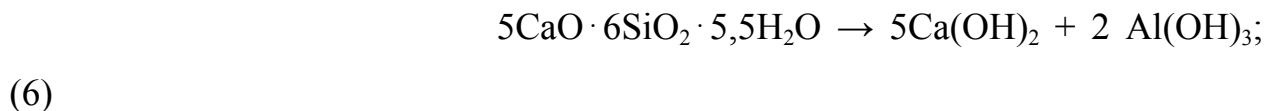
Використовують дві класифікації видів корозії бетону: за назвою агресивного середовища (класифікація В.В. Кінда [6]) і за механізмом агресивного впливу середовища на матеріал (класифікація В.М.Москвіна [7]).

● Корозія бетону першого виду

Відповідно до класифікації В.М. Москвіна до першого виду хімічної корозії бетону й залізобетону відносять корозію вилуговування.

Процес вилуговування виникає в цементному камені, бетоні або з/б при дії на них слабкомінералізованих вод. Вплив такого виду корозії зазнають наливні й ємкісні споруди, труби, греблі, мостові конструкції, причальні стінки морських і річкових портів, палі підвалин і т.п.). Вилуговування виникає в цементному камені і бетоні при дії вод з малою тимчасовою жорсткістю, що призводить до фізико-хімічного розчинення продуктів гідратації цементу, а для конструкцій, які працюють під напором таких вод спостерігається винос розчинених складових цементного каменю разом з водою, що фільтрується крізь конструкції. Поки немає фільтрації, усі гідратні сполуки цементного каменя знаходяться в рівновазі із $Ca(OH)_2$, розчинність якого досить висока і дорівнює 1,2 г CaO /л. У процесі фільтрації вапно

вилуговується і починається східчає розчинення всіх гідратних сполук цементного каменю. Якщо 10 % вапна виноситься, то міцність зменшується на 10 %, якщо - 30 %, то втрачається 30 % міцності бетону і відбувається руйнування:



Відповідно до СНіП агресивність води залежить від ступеня підвищення концентрації бікарбонат-іонів HCO_3^{1-} .

При вмісті 1,05 ммоль HCO_3 /л і менше – вода є слабоагресивною стосовно бетону з водонепроникністю W4, при W6 – середовище прийнято вважати не агресивним.

Відомо, що головні компоненти цементного каменю (гідросилікати, гідроалюмінати, гідроферіти, гідросульфалюмінати, гідроксид кальцію) є стабільними тільки в контактi з поровою рідиною, в якій розчинено у певній концентрації вапно. При омиванні бетону водою або фільтрації води під тиском відбувається поступове вимивання вапна, тобто протікає процес вилуговування. Такі втрати вапна відновлюються за рахунок східчає гідролізу цементного каменю, але це призводить до його поступової деструкції. У першу чергу руйнуються багато основні сполуки, виділяючи в розчин гідроксид кальцію. У зв'язку з цим знижується його концентрація в рідкій фазі і розчиненню піддаються вже менш основні гідратні сполуки цементу. Уже при величині $\text{pH} < 10,17$ розчиняються основні продукти гідратації цементу.

Швидкість корозії при вилуговуванні залежить не тільки від швидкості розчинення складових частин цементного каменю, але й від хімічного складу води. Особливо важливий вміст у ній бікарбонату кальцію і вугільної кислоти. Так, якщо в контактi з бетоном знаходяться води з підвищеним вмістом бікарбонатів і карбонатів кальцію (жорсткі води), то накопичення карбонатів кальцію в капілярах призводить до підвищення щільності бетону і зменшенню

швидкості фільтрації. У той же час м'які води розчиняють не тільки складові частини цементу, але навіть той карбонат, що утворився ще до контакту бетону з водою.

Для захисту бетону при корозії І-го виду існують заходи, які поділяють на первинні й вторинні.

Первинний захист:

а) застосування пуцоланового цементу або цементу з добавкою активного кремнезему, наприклад, 20-40 % трепелу;

б) низьке В/Ц;

в) інтенсивне ущільнення бетонної суміші (W4 - W8);

Вторинний захист:

застосування різних видів гідроізоляції, наприклад:

а) бітумної обмазки;

б) гідрофобного просочення.

● **Корозія бетону другого виду**

За класифікацією другий вид корозії характеризується впливом на бетон розчинів кислот, лугів і магнезіальних солей.

Корозія в мінеральних кислотах. Найбільш небезпечна і розповсюджена з них кислотна корозія, що виявляється при впливі на бетон розчинів мінеральних кислот типу HCl , H_2SO_4 , HNO_3 , H_2CO_3 і органічних кислот: оцтової, мурашиної, масляної, щавлевої та ін. Ці процеси характерні для підприємств хімічної і харчової промисловості, а також при дії стічних вод.

Основним показником, характерним для цих середовищ є значення рН середовища, тобто негативний логарифм концентрації водневих іонів:

нейтральне середовище - $\text{pH} (-\lg [\text{H}^+]) = 7$; $[\text{H}^+] = 10^{-7}$ г-моль $\text{H}^+/\text{л}$

кисле середовище - $\text{pH} = 1$; $[\text{H}^+] = 10^{-1}$ г-моль $\text{H}^+/\text{л}$

лужне середовище - $\text{pH} = 12$ $[\text{H}^+] = 10^{-12}$ г-моль $\text{H}^+/\text{л}$

Під впливом мінеральних кислот, наприклад, соляної, бетон розчиняється внаслідок утворення легкорозчинних сполук і швидко руйнується:



Згідно зі СНіП 2.03.11-85 при $\text{pH} < 4$ жоден зі звичайних видів цементу не витримує впливу кислих рідких середовищ.

Звичайний портландцемент витримує вплив кислих вод із $\text{pH} > 6$, при цьому коефіцієнт фільтрації повинен складати менше 0,1 м/добу.

Отже, бетони на будь-яких видах цементу, що експлуатуються у водах із $\text{pH} < 6,5$, термодинамічно не стійкі, але по різному.

Кисла вода (1 % -й розчин H_2SO_4) виявилася агресивною для всіх мінералів цементного клінкеру, однак за 3-4 тижні найбільше зруйнувалися зразки з C_3A , а зразки з C_2S і C_3S ще зберігали форму і деяку міцність. Знижена стійкість продуктів гідратації C_3A спостерігається навіть у чистій воді.

Експерименти показали, що 1 % розчини HCl , H_2SO_4 , HNO_3 сильно роз'їдають бетон протягом декількох місяців. Фосфорна кислота менш агресивна щодо бетону через малу розчинність фосфату кальцію, що утворюється при цьому. Однак при підвищенні концентрації фосфорної кислоти до 5 % руйнування відбувається досить швидко.

Таким чином, продукти реакції цементного каменя з розчинами кислот з малозмінними концентраціями в основному розчиняються і виносяться потоком, а швидкість корозії визначається швидкістю підведення агресивного середовища і площею поверхні контакту її з бетоном.

Особливий різновид корозії другого виду – вуглекислотна корозія.

Відповідно до СНіП показником агресивності цього виду корозії є вміст у воді агресивного вуглекислого газу CO_2 , який міститься в більшості ґрунтових і стічних вод. Якщо його концентрація знаходиться в межах 10- 40 мг/л, то для бетону з показником водонепроникності W_4 це середовище є слабоагресивним, при концентрації більше 40 мг/л для бетону з W_4 -

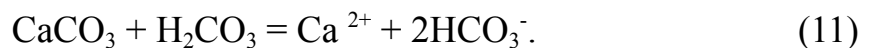
середньої агресивності, але неагресивне для бетону з показником водонепроникності W 8. Вугільна кислота дисоціює у воді в два етапи:



Частина вугільної кислоти, що утворюється шляхом розчинення вуглекислого газу, називається вільною. Вміст її у природних водах не перевищує 150 мг/л. Характер дії води, що містить цю кислоту, залежить від багатьох факторів:

- концентрації розчиненої вугільної кислоти;
- вмісту іонів кальцію і бікарбонат-іонів у воді;
- умов омивання конструкції (під напором, без напору);
- властивостей бетону (його щільності і виду цементу).

Якщо бетон був вже частково карбонізований, корозія в чистому вигляді виявляється в розчиненні карбонатної плівки на поверхні бетону:



При відповідних умовах може бути досягнутий стан рівноваги. Але якщо вода, в якій розчинена вільна кислота, рухається щодо бетону, вкритого карбонатною плівкою, і концентрації Ca^{2+} і HCO_3^- не збільшуються, то карбонатна плівка розчиняється безперешкодно, тобто вугільна кислота є агресивною кислотою як для бетону, так і для металів, застосованих як арматура в з/б конструкціях. У всіх випадках, коли вміст вугільної кислоти у воді перевищує рівноважний, у порах цементного каменя не утворюється карбонат кальцію з вапна і кислоти. Карбонат кальцію може утворитися тільки при концентраціях кислоти нижче рівноважних. За даними І. Тільманса, вода, в якій вміст бікарбонатів-іонів складає більше 100 мг/л, практично не агресивна щодо бетону.

Характер контакту вод, що містять вуглекислоту, теж сильно впливає на механізм процесів взаємодії. Коли вода не рухається або рухається повільно, то між нею і твердою фазою цементного каменя може встановитися рівновага, агресивна кислота частково зв'язується з утворенням бікарбонату, а

інша частина її є рівноважною, тобто неагресивною. Якщо ж вода рухається з великою швидкістю, то рівновага не встановлюється і корозія розвивається поетапно до повного руйнування бетону. Вона може дещо сповільнитися тільки за рахунок зменшення площі контакту бетону з агресивним середовищем.

При наявності фільтрації крізь тіло бетону води, що містить вуглекислоту, спостерігається специфічний характер руйнування. Спочатку фільтруюча вода за допомогою кислоти розчиняє CaCO_3 і цементний камінь поступово насичується бікарбонатом (зона руйнування). Потім гідроксид кальцію з бікарбонатом утворює важкорозчинний карбонат кальцію, який заповнює мікротріщини і капіляри бетону, ущільнюючи його (зона ущільнення). Позбавлена кислоти вода в наступній зоні вилуговує складові частини бетону і процес корозії іде за механізмом корозії першого виду.

Щоб попередити конструкції з бетону від руйнування під впливом вуглекислотної агресії, використовують глиноземистий цемент. Менш стійким в цих умовах є пуцолановий цемент, швидше всього руйнується звичайний портландський. Введення до складу портландцементу 25 % тонкомолотого вапняку істотно підвищує його стійкість до вод з вмістом вуглекислоти.

Корозія в середовищі коагулянтів. За загальнокислотою схемою протікає процес корозії бетону і залізобетону у розчинах деяких солей, утворених катіонами слабкої основи й аніонами сильної кислоти. До них відносяться: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Al}(\text{Cl})_3$, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Fe}(\text{Cl})_3$, що широко використовуються як коагулянти на водопровідних станціях.

Агресія концентрованих розчинів $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Al}(\text{Cl})_3$, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ і $\text{Fe}(\text{Cl})_3$ стосовно цементу виявляється в тому, що вони при дії на бетон викликають дифузії іонів H^+ , SO_4^{2-} , Al^{3+} і призводять до значного зниження pH ($\text{pH} = 3$) порової рідини. Крім цього на поверхні бетону утворюються гідроксид алюмінію і гіпс, які постійно видаляються з поверхні внаслідок гідродинамічного впливу. Незважаючи на те, що начебто б є необхідні

складові для утворення ГСАК, він не утворюється через дуже низьке значення рН.

У розчинах коагулянтів при величині $\text{pH} < 4$ застосування бетонів на звичайному портландцементі навіть із захистом недоцільно, тому використовують кислотостійкі цемента підвищеної водостійкості на основі рідкого скла Na_2SiO_3 і кремнієфтористого натрію - Na_2SiF_6 з добавкою кислототривкого наповнювача, наприклад, діабазу, андезитового порошку, меленого піску і т.п. Але в нейтральних і лужних середовищах К4 застосовувати не можна, необхідно використовувати карбонатні породи.

Корозія в органічних кислотах. Крім неорганічних кислот і кислих солей на бетон впливає і агресивна дія органічних кислот, спиртів, фенолів та ін. У практиці експлуатації деяких видів споруд спостерігається руйнування бетону і з/б кислими стічними водами, що містять органічні кислоти. Органогенна корозія також спостерігається на сільськогосподарських підприємствах, пивоварнях, цукрових, консервних, кондитерських та інших заводах. З біологічно активним середовищем контактують гідротехнічні споруди, будівельні конструкції мікробіологічних виробництв.

Механізм впливу органічних кислот залежить від їхніх відносних молекулярних мас, чим вони більше тим більше їх агресивність. До низькомолекулярних кислот відносяться молочна, масляна, оцтова, винна, яблучна, щавлева і т.д. До кислот з високою відносною молекулярною масою відносяться: олеїнова, стеаринова, пальмітинова і т.д. Для бетонів найбільш небезпечними є жири та рослинні олії, які при взаємодії з водою піддаються гідролізу, внаслідок чого утворюються гліцерин й жирні кислоти, які руйнують бетон.

З перерахованих органічних кислот найбільш агресивною є молочна кислота. Її розчин руйнує пуцоланові, шлакопортландцементи, звичайний портландцемент, а глиноземистий цемент стійкий тільки до $\text{pH} = 4$. Аналогічно діє і масляна кислота.

Оцтова кислота теж має агресивну дію. У 5 % розчині оцтової кислоти бетон руйнується вже через кілька місяців. Трохи стійкіший до її дії пуцолановий цемент і шлакопортландцемент, а глиноземистий стійкіше звичайного портландцементу тільки при концентрації кислоти до 0,5 %.

Слабкі розчини винної кислоти не викликають помітних руйнувань бетону, а яблучна кислота більш агресивна і навіть у невеликих концентраціях може призвести до серйозних руйнувань. Розчини щавлевої кислоти незначно впливають на бетон, оскільки утворюють на поверхні і порах бетону нерозчинний оксалат кальцію.

Всі органічні кислоти з високими відносними молекулярними масами мають на явну виражену агресивну дію, сила якої збільшується зі збільшенням відносної молекулярної маси. Руйнування від дії цих кислот буває більш сильним, коли бетон експлуатується в повітряному, а не у водному середовищі. Дія цих кислот викликає значне зниження значення рН цементного каменя. Так, бензойна кислота знижує рН порової рідини з 12,5 до 11,95, малеїнова – до 9,5.

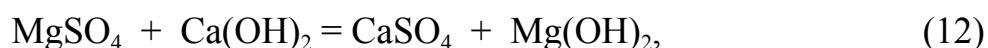
Окрему групу складають органічні сполуки типу нафти, масел для опалювання, нафтових дистилятів, що, як правило, не роблять помітного впливу на затверділий бетон, оскільки їхні компоненти не можуть хімічно взаємодіяти зі складовими частинами цементного каменя. Легкі мінеральні олії вільно проникають у бетон. Рослинні, тваринні олії і жири шкідливі для бетону, оскільки в них є вільні органічні кислоти; вміст кислот сильно залежить від процесів окислювання жирів і масел. До їхнього складу входять гліцериди та інші складні ефіри, які в контакт з цементним каменем гідролізуються, розпадаючись на спирт і кислотні компоненти, що утворюють з гідроксидом кальцію відповідні солі. Агресивність рослинних і тваринних олій визначається їхньою в'язкістю, що характеризує ступінь проникання їх у бетон.

Олії типу кокосової, лляної, маслинової, пальмової, реп'яхової, тунгової, бавовняної, рибного жиру при постійному контакті з бетоном є агресивними.

З ацетатів сильний вплив на бетон має ацетат амонію. Вважаються також агресивними фенол, крезол і їм подібні органічні сполуки.

Оскільки рН стічних і природних ґрунтових вод, що контактують з різними спорудами, набагато нижче 4, тому необхідно застосовувати більш водостійкі й безусадкові склади бетонів на основі рідкого скла. При затвердінні таких бетонів (із застосуванням рідкого скла, кремнієфтористого натрію і кислотостійких заповнювачів) утворюються желеподібний кремнезем і фтористий натрій, з яких формуються міцні, але не дуже щільні структури. Вони досить стійкі до дії концентрованих кислот (за винятком плавикової і гарячої фосфорної). Чим більше концентрація кислот і температура середовища, тим вище корозійна стійкість бетону.

Магнезіальна корозія. Магнезіальна корозія цементного каменя є дуже специфічною. В основі цього процесу лежать наступні реакції:



У результаті цих реакцій в обох випадках утворюється важкорозчинний осад у вигляді Mg(OH)_2 (його розчинність дорівнює 18,2 мг/л). Крім цього знижується рН порової рідини до 10, що створює сприятливі умови для розчинення і гідролізу гідратних новоутворів цементного каменя. Підтримка величини рН відбувається за рахунок гідролізу і дифузії гідроксиду кальцію з глибинних шарів, але вже при 0,26 % концентрації MgSO_4 весь гідроксид кальцію буде повністю витрачений. Експериментально встановлено, що чим більше агресивного розчину приходить на одиницю маси цементного каменя, тим більш низькою має бути концентрація MgSO_4 , при якій цілком зникає Ca(OH)_2 .

При дії розчинів MgSO_4 треба враховувати специфічний вплив на цементний камінь не тільки іону магнію, але і сульфат-іонів. Він полягає в тому, що в поверхневих шарах бетону в основному протікають обмінні реакції іонів Mg^{2+} і OH^- з утворенням Mg(OH)_2 , а у внутрішніх шарах відбувається сульфоалюмінатна або гіпсова корозія.

У 1-2 % розчинах MgCl_2 реакційна ємність порівняно невелика, і реакція між іонами магнію і OH^- звичайно здійснюється на зовнішній поверхні бетону, при цьому в порах бетону $\text{Mg}(\text{OH})_2$ утворює пухкий шар, що не є перешкодою для дифузії $\text{Ca}(\text{OH})_2$ до поверхні бетону. У зв'язку зі зниженням лужності у внутрішніх шарах бетону розвиваються процеси, характерні для корозії вилуговування (т.зв. корозія першого виду). При цьому в першу чергу руйнуються багатоосновні гідросилікати і гідроалюмінати кальцію, а потім менш основні і т.д. Тому введення в цемент активних мінеральних добавок сприяє підвищенню його корозійної стійкості в розчинах $\text{Mg}(\text{OH})_2$ низької концентрації.

Якщо концентрація розчинів $\text{Mg}(\text{OH})_2$ досягає $\geq 5\%$, то реакційна ємність системи стає настільки великою, що гідроксиду кальцію, який надходить із глибинних шарів до поверхні бетону, уже недостатньо для своєчасної нейтралізації MgCl_2 . Тоді іони магнію дифундують углиб бетону і руйнують усі гідратні новоутвори цементного каменю.

Для боротьби з магнезіальною корозією необхідно забезпечити максимальну щільність бетону, а при дуже високих концентраціях передбачити ще й захист поверхні:

а) обмазувальна ізоляція:

- при слабкому ступені агресії – бітумні або бітумнолатексні склади;
- при середньому ступені – асфальтобетонна обмазка або мастика на основі епоксидних смол.

б) обклеювальна ізоляція рулонними матеріалами (руберойд, гідроізол, ізол, брізол) із притисною стійкою зі штучних каменів (цегла, плитка, шлакоситал або кам'яне лиття);

в) хімічно стійкі плівкові матеріали (поліетилен, ізобутілен, полівінілхлорид).

Оцінка ступеня агресивності кислих рідких середовищ і розчинів магнезіальних солей щодо бетону і вибір протикорозійного захисту здійснюють за СНіП 2.03.11-85.

Корозія в лужних середовищах. Для бетону небезпечні розчини лугів з концентрацією > 50 г/л. У результаті дії на бетон таких розчинів розчинність $\text{Ca}(\text{OH})_2$ значно знижується, але одночасно різко зростає розчинність кремнезему і полуторних оксидів. Найбільш агресивно на бетон діють розчини NaOH , потім розчини KOH , аміаку і Na_2CO_3 .

Найбільшу стійкість до розчинів лугів мають бетони на пуцоланових і шлакопортландцементях. Вибираючи склад бетонів для таких середовищ, необхідно приділяти увагу вибору заповнювачів. При високих концентраціях лугів найбільш ефективні щільні карбонатні породи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шестоперов С.В. Долговечность бетона. – М., 1960.

2. Горчаков Г.И., Капкин М.М., Скрамтаев Б.Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных гидротехнических сооружений. – М.: Стройиздат, 1965. – 195 с.
3. Подвальный А.М. Расчетная оценка факторов, влияющих на морозостойкость бетона // Инж.-физ. журн. 1974. 16, № 6. – С. 1034-1042.
4. Ратинов В.Б., Розенбург Т.И. Добавки в бетон. – М., 1989. – 208 с.
5. Москвин В.М., Рояк Г.С. Коррозия бетона под действием щелочей цемента на кремнезем заполнителей. М.: Госстройиздат, 1962.- 164 с.
6. Кинд В.В. Коррозия цементов и бетона в гидротехнических сооружениях. – М.-Л., 1955.
7. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. – М.: Стройиздат, 1980.- 536 с.
8. Бабушкин В.И., Коломацкий А.С., Ряполов В.П. Диаграмма состояния системы $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ / ЖПХ, 1990.- Т. 63, № 6.- С. 1225-1230.
9. Минас А.И. К вопросу о механизме корродирования строительных материалов солями и щелочами // Доклад на Всесоюз. науч.-техн. совещ. По солевой коррозии. – Минск, 1965. – С. 50-58.
10. Pettockino M.D. Les differents aspects de la corrosion de l'armature dans les constructions ef en beton precontraint // Annales de J. Inst. Techn. Du Batiment et des Trav. Publ. 1960. № 153. P. 915-936.
11. Pourbaix M. Thermodynamics of dilute aqueous solutions. London: Edward Arnold and Co, 1949. – 224 p.
12. Бабушкин В.И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа. - Харьков, 1989.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ
для самостійної роботи студентів

1. Москвин В.М. и др. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. - М., 1980.
2. Бабушкин В.И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа. - Харьков, 1989.
3. Чехов А.П., Глущенко В.М. Захист будівельних конструкцій від корозії. - К., 1994.
4. Сафрончик В.І. Захист від корозії будівельних конструкцій і технологічного устаткування. - Л., 1988.
5. Игнатьев Г.А., Михайлова А.А. Защита техники от коррозии, старения и биоповреждений. Справочник. - М., 1987.
6. Чернявський В.Л. Підвищення антикорозійних властивостей бетону. - К., 1983.
7. Коррозия. Справочник Под ред. Л.Л. Шрайдера. – М., 1981.
8. Балалаев Г.А.и др. Производство антикоррозионных работ в промышленном строительстве. – М., 1973.
9. Герасимов В.В. Прогнозирование коррозии металлов. – М., 1989.
10. Юхневич Р. и др. Техника борьбы с коррозией. – Л., 1978.
11. Полак А.Ф. Физико-химические основы коррозии железобетона. – Уфа, 1982.
12. Шнейдерова В.В. Исследование проницаемости лакокрасочных покрытий в агрессивных средах. – Труды НИИЖБ. – М., 1977, № 23.
13. Бланчик Р., Занова В. Микробиологическая коррозия .- М.: Химия, 1965.
14. Горшин С.Н. Экологические аспекты биоразрушений и меры защиты деревянных конструкций. – М.: Стройиздат, 1984.
15. Штарк И., Вихт Б Долговечность бетона. – К.: Оранта, 2004.

ТЕМИ

для самостійної роботи студентів з курсу

„Корозія і захист будівельних матеріалів та конструкцій”

1. Вимоги до будівельних матеріалів для забезпечення їх довговічності.
2. Класифікація руйнівних факторів будівельних матеріалів і конструкцій.
3. Характеристика бетону і залізобетону як об'єкта корозії.
4. Корозійна стійкість залізобетонних конструкцій в агресивному промисловому середовищі.
5. Різновиди фізичної корозії будівельних матеріалів.
6. Характеристика природних і промислових рідких агресивних середовищ відносно бетонних конструкцій.
7. Характеристика твердих агресивних середовищ відносно бетонних і металевих конструкцій.
8. Корозія і захист арматури в залізобетонних конструкціях.
9. Атмосферна корозія у промислово-цивільному будівництві.
10. Фізико-хімічні процеси протікання хімічної корозії бетону і залізобетону.
11. Принцип дії інгібіторів для захисту будівельних конструкцій від корозії.
12. Класифікація видів хімічної корозії бетону і механізм її протікання.
13. Магnezіальна корозія бетону і способи захисту від неї.
14. Електрохімічна корозія арматури в залізобетонних конструкціях та захист від неї.
15. Електрокорозія бетону та залізобетону. Методи захисту.
16. Корозія залізобетонних конструкцій у нафтохімічній промисловості.
17. Корозія і захист арматури залізобетонних трубопроводів.
18. Забезпечення довговічності залізобетонних конструкцій при реконструкції.
19. Проектування захисту металевих будівельних конструкцій від корозії.

20. Антикорозійний захист металевих конструкцій.
21. Діагностика ушкоджень і методи відновлення експлуатаційних властивостей будівельних матеріалів і конструкцій.
22. Способи боротьби з біокорозією конструкцій з деревини.
23. Гідрофобізація – як засіб захисту від біокорозії.
24. Захист устаткування від біоушкодження в харчовій промисловості.
25. Корозія полімерних та гумових будівельних матеріалів і виробів.
26. Види біоушкоджень промислової продукції будівельного призначення.
27. Протикорозійні покриття у будівництві.
28. Класифікація і властивості антикорозійних лакофарбових покриттів.
29. Механізм дії біогенних видів корозії.
30. Захисна дія антикорозійних ґрунтовок.

Навчальне видання

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
зі спецкурсу «Довговічність залізобетонних конструкцій
об'єктів міської інфраструктури» ч.1

(для студентів усіх форм навчання спеціальності
«Будівництво та цивільна інженерія»)

Укладач:
Медвідь Іван Іванович

Техн. редактор

І.І.Медвідь

Оригінал - макет

І.І.Медвідь

Підписано до друку _____

Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$. Папір типограф. Гарнитура *Times*.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. ____ . Обл.-вид.арк. ____ .

Тираж ____ прим. Вид. № ____ . Замовл. № ____ . Ціна договірна.

Видавництво СНУ ім. Володимира Даля

Адреса видавництва: 93400, м. Северодонецьк, Луганської обл.,
пр. Центральний, 59-а, Телефон: 8(06452) 4-03-42

E-MAIL: SNU.EDU@UA

