

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Відновлення експлуатаційної придатності бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій

Навчальний посібник

ДНІПРО
2018

УДК 69.059.2
П 93

Автори:
*Пшінько Олександр Миколайович,
Савицький Микола Васильович,
Зінкевич Андрій Миколайович*

Рецензенти:
д-р техн. наук, проф. Є. А. Єгоров (ПДАБА),
д-р техн. наук, проф. С. І. Головка (ПДАБА),
д-р техн. наук, проф. М. І. Нетеса (ДНУЗТ)

Рекомендовано
вченою радою університету як навчальний посібник
(*протокол № 3 від 26.10.2015*).
Зареєстровано НМВ ДНУЗТ (*реєстр. № 234/15-1 від 28.10.2015*)

П 93 Пшінько, О. М.

Відновлення експлуатаційної придатності бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкцій [Текст] : навчальний посібник / О. М. Пшінько, М. В. Савицький, А. М. Зінкевич; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро, 2018. – 220 с.

ISBN 978-966-8471-86-5

У навчальному посібнику розглянуто питання, пов'язані з відновленням експлуатаційної придатності бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкцій. Наведено характерні дефекти та пошкодження цих конструкцій і причини їх виникнення. Описано найбільш поширені технологічні прийоми їх відновлення та захисту, а також основні фактори, які враховуються при виборі ремонтного матеріалу.

Для студентів, які навчаються за спеціальностями «Промислове та цивільне будівництво», «Мости і транспортні тунелі», «Залізничні споруди та колійне господарство» та вивчають курс «Технологія ремонту та відновлення інженерних споруд на транспорті».

Іл. 143. Табл. 7. Бібліогр.: 48 назв.

УДК 621.332.3

© О. М. Пшінько та ін., 2018

© Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп.
ім. акад. В. Лазаряна, редактування,
оригінал-макет, 2018

ISBN 978-966-8471-86-5

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
ПОГІРШЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПРИДАТНОСТІ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СПОРУД.....	8
1.1. Система підтримання експлуатаційної придатності споруд.....	8
1.1.1. Критерії оцінки експлуатаційної придатності	8
1.1.2. Основні етапи життєвого циклу споруди (конструкції).....	10
1.1.3. Алгоритм системи підтримання експлуатаційної придатності споруд	12
1.2. Причини погіршення експлуатаційної придатності бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкцій	15
1.2.1. Загальна характеристика несправностей конструкцій споруд	15
1.2.2. Дефекти конструкцій споруд	16
1.2.3. Пошкодження конструкцій споруд	22
УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД. АГРЕСИВНІ ВПЛИВИ	28
2.1. Загальна характеристика умов експлуатації конструкцій споруд та агресивних впливів	28
2.1.1. Ступінь агресивності впливів на конструкції	29
2.1.2. Визначення провідного агресивного впливу на конструктивний елемент	31
2.1.3. Класифікація агресивних впливів.....	33
2.2. Корозія бетону в агресивних середовищах.....	34
2.2.1. Особливості взаємодії бетону із середовищем	34
2.2.2. Класифікація процесів корозії бетону.....	36
2.3. Корозія бетону при дії водних розчинів.....	37
2.3.1. Корозія бетону I виду при дії водних розчинів.....	37
2.3.2. Корозія бетону II виду при дії водних розчинів	41
2.3.3. Корозія бетону III виду при дії водних розчинів	47
2.4. Газова корозія бетону.....	54
2.5. Органогенна корозія бетону	61

2.6. Руйнування бетону залізобетонних конструкцій внаслідок корозії арматури	70
2.6.1. Особливості пошкодження залізобетонної конструкції при корозії арматури	70
2.6.2. Механізм корозії арматури в бетоні	73
2.6.3. Захисна дія бетону відносно арматури	77
ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПРИДАТНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ЇХ РЕМОНТУ Й ВІДНОВЛЕННЯ	
3.1. Діагностика технічного стану конструкцій будівель та споруд	82
3.1.1. Завдання діагностики технічного стану конструкцій будівель та споруд	82
3.1.2. Класифікація обстежень будівельних конструкцій	84
3.1.3. Етапи діагностики технічного стану	88
3.1.4. Організація робіт з діагностики технічного стану	93
3.2. Засоби діагностики технічного стану	95
3.2.1. Неруйнівні методи обстежень	97
3.2.2. Руйнівні методи обстежень	104
3.3. Проектування ремонту та підсилення конструкцій будівель та споруд	107
3.3.1. Завдання, що вирішуються в ході проектування ремонту та підсилення конструкцій	107
3.3.2. Способи ремонту й підсилення конструкцій	109
3.3.3. Загальні вимоги до проектування ремонту та підсилення конструкцій	111
ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ БЕТОННИХ, ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ТА КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ	
4.1. Інженерна підготовка ремонту конструкцій будівель та споруд	114
4.2. Технологічні операції з підготування поверхонь до ремонту	118
4.2.1. Підготовка бетонних поверхонь	118
4.2.2. Підготовка поверхні сталевих арматурних стержнів Захист арматурних стержнів	126
4.3. Застосування методів підводного бетонування для відновлення конструкцій споруд	128
4.3.1. Спосіб вертикально переміщеної труби	128
4.3.2. Спосіб висхідного розчину	137
4.4. Застосування методу торкретування для ремонту зовнішніх поверхонь конструкцій	140
4.4.1. Загальна характеристика способу торкретування	140
4.4.2. Порівняння сухого та мокрого способів торкретування	142
4.4.3. Технологічні операції з торкретування	147
4.4.4. Матеріали та обладнання для торкретування	151
4.4.5. Контроль якості при торкретуванні поверхонь	154
4.5. Ремонт конструкцій з тріщинами	155

4.5.1. Види тріщин у бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкціях та причини їх виникнення	155
4.5.2. Способи ремонту конструкцій з тріщинами.....	159
4.6. Відновлення експлуатаційної придатності конструкцій шляхом їх підсилення	165
4.6.1. Найбільш поширені схеми підсилення конструкцій	166
4.6.2. Спосіб обетонування конструкцій.....	166
4.7. Безтраншейні технології відновлення підземних залізобетонних трубопроводів.....	172
ЗАХИСТ КОНСТРУКЦІЙ ВІД АГРЕСИВНИХ ВПЛИВІВ	179
5.1. Особливості первинного та вторинного захисту конструкцій від агресивних впливів.....	179
5.1.1. Методи первинного захисту конструкцій.....	179
5.1.2. Методи вторинного захисту конструкцій.....	181
5.1.3. Проектування заходів захисту конструкцій	182
5.2. Захист конструкцій від водних розчинів.....	184
ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ РЕМОНТУ КОНСТРУКЦІЙ.....	193
6.1. Характеристики ремонтних матеріалів	193
6.2. Вплив властивостей ремонтного матеріалу на його сумісність з бетоном основи.....	196
6.3. Забезпечення зчеплення ремонтного матеріалу з бетоном основи	207
6.3.1. Фізико-хімічні основи зчеплення нового бетону зі старим	207
6.3.2. Основні фактори впливу на міцність зчеплення ремонтного матеріалу з основою	211
6.4. Особливості вибору ремонтного матеріалу	214
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	218

ВСТУП

Сьогодні в Україні експлуатується велика кількість будівель і споруд, виконаних з бетону та залізобетону, а також кам'яних конструкцій, і значна їх частина потребує відновлення. Така ситуація характерна для різних галузей господарства, де фізичне зношення окремих будівель і споруд майже досягло критичного рівня, коли може спостерігатися неконтрольоване зростання кількості аварій та аварійних ситуацій.

З вичерпанням експлуатаційного ресурсу об'єктів різного призначення завдання з підтримки їх працездатності та ремонту виходять на головні позиції в проектуванні та будівельній галузі. До того ж помилки під час проектування та виконання будівельних робіт разом з агресивними впливами в процесі експлуатації спричиняють виникнення низки несправностей конструктивних елементів.

Встановлення справжніх причин пошкодження конструкцій є основною та необхідною передумовою їх ефективного ремонту. Розуміння механізмів тих чи інших корозійних процесів дає можливість спрогнозувати їх розвиток, оцінити ефективність прийнятих технічних рішень з відновлення або захисту конструкції.

У цьому навчальному посібнику розглянуто основні причини погіршення експлуатаційних якостей конструкцій протягом експлуатації та напрямки їх відновлення. Наведено найбільш поширені заходи, які використовуються для відновлення конструкцій, проаналізовано їхні переваги та недоліки, особливо для умов експлуатованих об'єктів.

Крім вибору ефективної технології ремонту конструкції, значний вплив на результат ремонту має вибір ремонтного матеріалу. У посібнику розглянуто основні аспекти формування ремонтної системи, сумісної роботи її складових.

До видання включено основні питання курсу «Технологія ремонту та відновлення інженерних споруд на транспорті», що викладається для студентів, які навчаються за спеціальностями «Промислове та цивільне будівництво», «Мости і транспортні тунелі», «Залізничні споруди та колійне господарство» в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Погіршення експлуатаційної придатності конструктивних елементів споруд

1.1. Система підтримання експлуатаційної придатності споруд

1.1.1. Критерії оцінки експлуатаційної придатності

Споруду або її окремі елементи (конструкції) можна вважати придатними до експлуатації, якщо вони відповідають вимогам чинних нормативних документів. Тут мова йде як про нормативні документи, які встановлюють вимоги до міцності, надійності та довговічності конструкцій, так і про спеціалізовані нормативні документи, які встановлюють вимоги до функціональної придатності споруд для певних галузей.

Придатність та технічний стан споруд, що перебувають в експлуатації, можуть оцінюватись їх фізичним та моральним зношенням.

Фізичне зношення. Під фізичним зношенням конструкції, елемента, системи слід розуміти втрату ними початкових техніко-експлуатаційних якостей (міцність, стійкість, надійність) у результаті дії природно-кліматичних факторів та антропогенних впливів.

Приклади фізичного зношення конструкцій:

- пошкодження матеріалу конструкцій внаслідок морозної деградації, нагрівання–охолодження та інших впливів;
- пошкодження бетону конструкції в результаті дії агресивного водного середовища (зниження міцності бетону або зменшення робочого перерізу елемента);
- корозія арматури залізобетонної конструкції;
- механічне зношення–стирання поверхонь конструкцій та інші процеси.

Фізичне зношення окремих конструкцій, елементів, систем або їхніх ділянок оцінюють, зіставляючи ознаки фізичного зношення, виявлені в процесі обстеження, з їх значеннями, наведеними в нормативних документах.

Фізичне зношення конструкції, елемента чи системи з різними ступенями зношення окремих ділянок визначають за формулою

$$\Phi_K = \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_i \frac{P_i}{P_K},$$

де Φ_K – фізичне зношення конструкції, елемента чи системи, %;

n – кількість пошкоджених ділянок;

Φ_i – фізичне зношення ділянки конструкції, елемента чи системи, визначене за нормативними документами, %;

P_i – розміри (площа, довжина) пошкодженої ділянки, m^2 чи m ;

P_K – розмір всієї конструкції, m^2 чи m .

Моральне зношення. Під моральним зношенням споруди мають на увазі її невідповідність функціональному чи технологічному призначенню.

Моральне зношення можна характеризувати такими прикладами:

- невідповідність старої житлової забудови сучасним вимогам до житлових будинків;

- існуюча промислова будівля (у працездатному стані за ознаками фізичного зношення) непридатна до розміщення нового технологічного процесу. У разі неможливості перенесення цього процесу на нову земельну ділянку виникає необхідність знесення існуючої будівлі та зведення нової;

- поширена практика зведення нових малих автодорожніх мостів поблизу існуючих у ході реконструкції автошляхів. Існуючі мости не задовольняють сучасних вимог з пропускної здатності, вантажопідйомності та ін.

Водночас, розглядаючи унікальні транспортні споруди та інші великі об'єкти, їхній технічний стан та експлуатаційну придатність моральним зношенням характеризують досить рідко. І в межах цього курсу при оцінці експлуатаційної придатності будівель та споруд моральне зношення не розглядається, оскільки є похідним від ринкових умов, змін регламентуючих галузевих нормативних документів та ін.

1.1.2. Основні етапи життєвого циклу споруди (конструкції)

Будь-яку будівлю чи споруду можна розглядати як технічну систему елементів, які взаємодіють між собою та контактують з навколишнім середовищем, зазнаючи його впливів. Агресивні впливи середовища експлуатації викликають появу пошкоджень різного характеру, що призводить до поступового погіршення технічного стану та зниження експлуатаційної придатності як окремих елементів (конструкцій), так і всієї системи в цілому (будівлі, споруди).

Життєвий цикл споруди (конструкції), технічний стан якої погіршується внаслідок фізичного зношення, можна описати такою схемою (рис. 1.1).

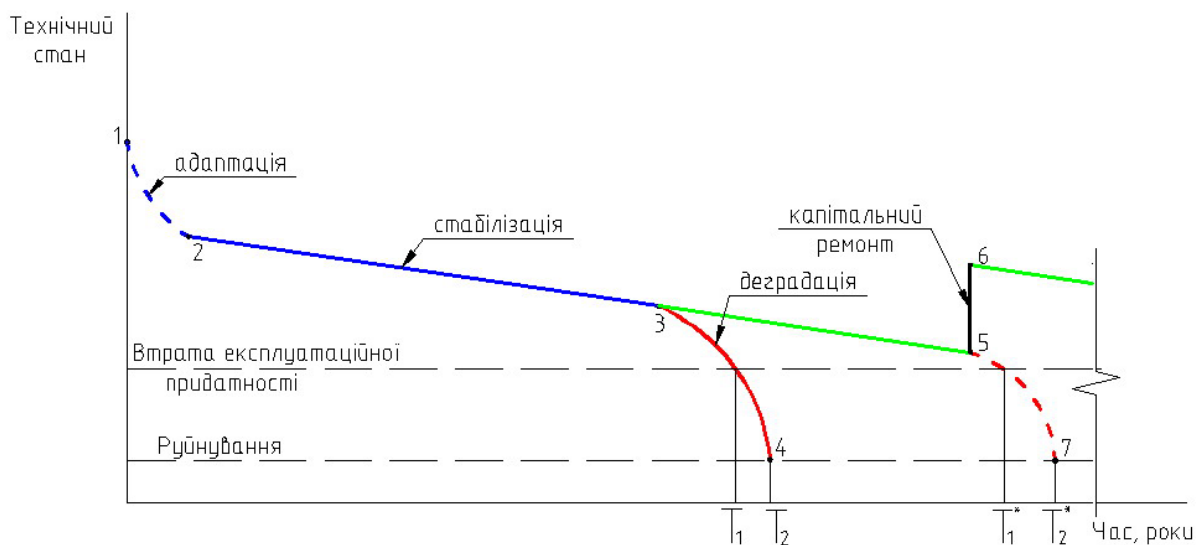


Рис. 1.1. Життєвий цикл будівлі/споруди (конструкції)

На схемі виділено три умовні ділянки:

I. Адаптація — пристосування зведеного об'єкта (виготовленої конструкції) до середовища експлуатації. Відносно короткий період життєвого циклу споруди. У деяких випадках може спостерігатися певне погіршення технічного стану. Наприклад, у ході проектування/спорудження будівлі було допущено певні порушення під час влаштування основ або зведення фундаментів. Після початку експлуатації (точка 1) у кам'яній кладці виникли тріщини, тобто спостерігається погіршення технічного стану. Через певний час відбувся перерозподіл навантажень на підшву фундаментів і деформації бу-

дівлі (осідання) вирівнялись. Таким чином, починаючи з точки 2 будівля може тривалий час нормально експлуатуватися (згадані тріщини незначно впливають на експлуатаційну придатність).

Якщо ж споруда (конструкція) починає експлуатуватися без початкових пошкоджень, то ділянка адаптації практично відсутня і нормальна експлуатація починається з точки 1.

II. Стабілізація – період нормальної експлуатації споруди (може відповідати нормативному терміну експлуатації або тривалішому терміну часу, за умови виконання вимог нормативних документів). Найдовший період життєвого циклу. На схемі відповідає відрізку в межах точок 2–3, а за відсутності вираженої ділянки адаптації – умовно прямому відрізку в межах точок 1–3.

За цей тривалий період експлуатації споруда (конструкція) отримує різні пошкодження, що призводить до поступового погіршення її технічного стану та експлуатаційної придатності, але при цьому залишається працездатною.

Період нормальної експлуатації (етап 2) співвідноситься з довговічністю або терміном служби конструкції – періодом часу, протягом якого споруда (конструкція) експлуатується в рамках вимог нормативних документів.

Таким чином, *довговічність* конструкцій та елементів будівлі чи споруди оцінюється тривалістю їх безвідмовної роботи (з можливими перервами для проведення профілактичного (поточного) ремонту) у певних експлуатаційних умовах з моменту зведення до повної втрати експлуатаційних якостей, коли необхідно проводити їх капітальний ремонт [23].

III. Деградація – відносно швидке, лавиноподібне накопичення пошкоджень у конструкціях, що призводить до втрати експлуатаційної придатності внаслідок порушень вимог нормативних документів. Відповідає ділянці схеми в межах точок 3–4.

У межах цього періоду експлуатації розвиток одних пошкоджень конструкцій є причиною появи інших. Приріст погіршення технічного стану може бути достатньо значним за відносно короткий проміжок часу. У межах точок 3–4 досягається рівень технічного стану, що відповідає втраті експлуатаційної придатності (вік споруди T_1), і в точці 4 відбувається руйнування (вік споруди T_2).

Для подовження терміну експлуатації споруди (конструкції) виконуються поточні ремонти, у ході яких усувають накопичені за певний

період пошкодження. Це дозволяє за відносно низьких капіталовкладень утримувати споруду на ділянці стабілізації (відрізок у межах точок 2–5) у придатному до експлуатації стані. У разі несвоєчасного виконання або за відсутності поточних ремонтів споруда працює на стадії деградації і її повернення в працездатний стан вимагає значно більших капіталовкладень.

Далі, залежно від позиції власника об'єкта, виконується капітальний ремонт (відрізок 5–6) і експлуатація продовжується або, у разі досягнення певного технічного стану, об'єкт виводиться з експлуатації (ділянка 5–7).

1.1.3. Алгоритм системи підтримання експлуатаційної придатності споруд

Для більшості споруд, особливо транспортної інфраструктури, одним з основних завдань є подовження терміну служби. Це досягається підтриманням експлуатаційної придатності шляхом систематичного моніторингу технічного стану, виконанням поточних та капітальних ремонтів.

Загальні підходи відображено в низці нормативних та регламентуючих документів, таких як «Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд» [27], ДБН В.2.3-6:2009 «Мости та труби. Обстеження і випробування» [10] та інші загальні та галузеві документи.

В Україні розробляється проект ДБН В.1.2-№-201Х «Загальні принципи збереження надійності, безпеки та експлуатаційної придатності існуючих будівель та інженерних споруд». У ЄС з 2009 р. набув чинності EN 1504. Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity (Матеріали і системи для захисту та ремонту бетонних конструкцій – Визначення, вимоги, контроль якості та встановлення відповідності).

На схемі, зображеній на рис 1.2, наведено узагальнений алгоритм догляду за спорудою. Схема складається з чотирьох етапів. Оскільки окремі етапи можуть виконуватися різними організаціями, наводяться отримані результати, які є вихідними даними для виконання наступних етапів і за які виконавець несе відповідальність.

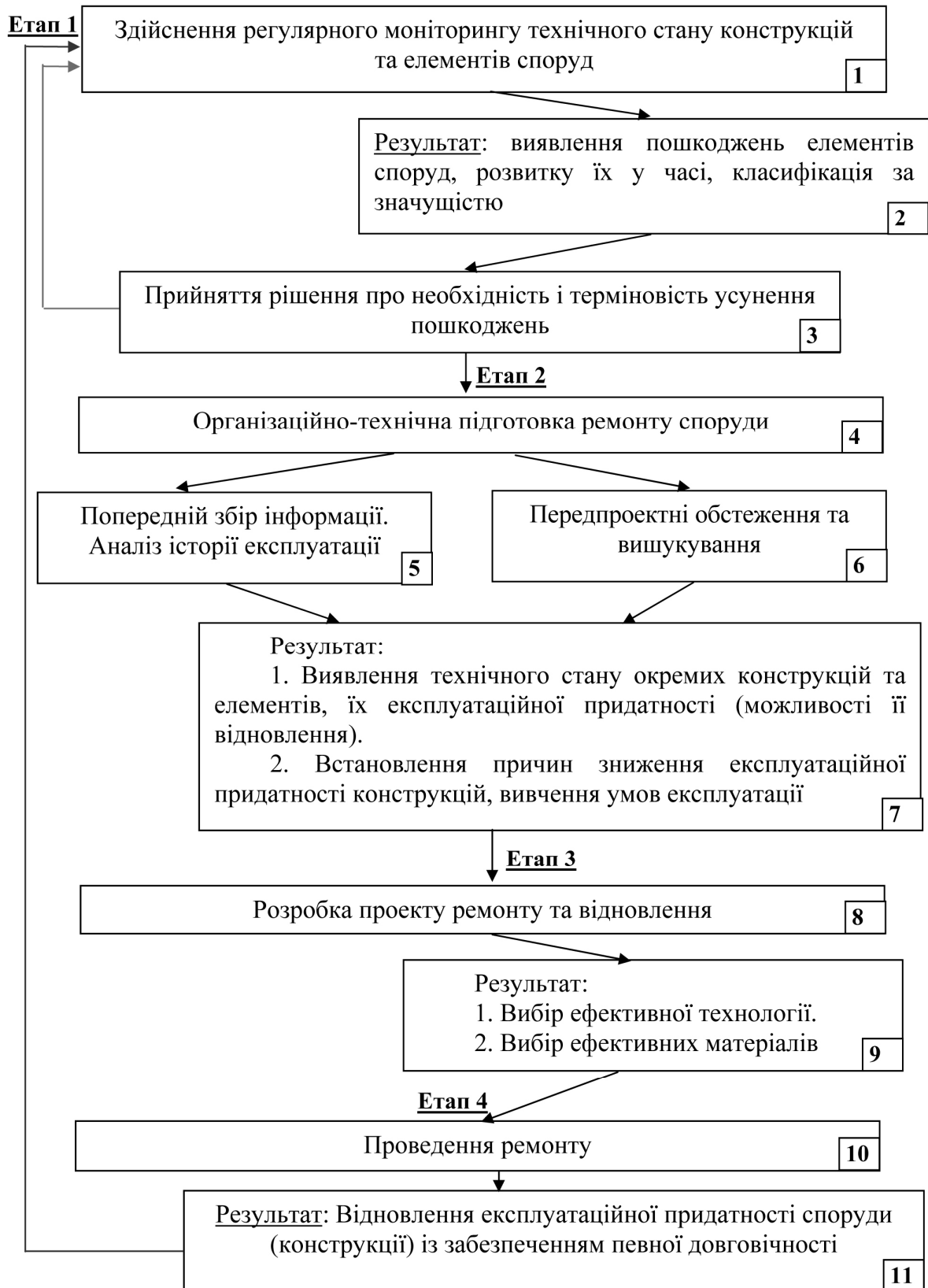


Рис. 1.2. Алгоритм системи підтримання експлуатаційної придатності споруд

На **I етапі** з певною періодичністю, встановленою нормативними документами, здійснюють огляд конструктивних елементів споруди (моніторинг) з метою вчасного виявлення зміни їх технічного стану (появи пошкоджень). Огляди виконують кваліфіковані працівники відповідного підрозділу підприємства або залучені експерти спеціалізованих організацій. Якщо виявлені пошкодження є незначними, то нормальна експлуатація споруди продовжується. Під час подальших оглядів на такі попередньо виявлені ділянки звертають особливу увагу, встановлюють розвиток пошкоджень у часі. Таким чином замикається малий цикл (лінія між блоками 1–3). Якщо ж виявлені пошкодження є значними – виникає загроза безпечній експлуатації, приймається рішення про необхідність відновлення споруди (конструкції) – перехід до II етапу.

До виконання **II етапу** залучають спеціалізовані організації. Здійснюють збір проектної, виконавчої, експлуатаційної документації та її аналіз. Вивчають особливості історії експлуатації споруди – інформацію про аварійні ситуації, капітальні ремонти, реконструкцію і т. д. (блок 5). Але більш важливим завданням є встановлення фактичного технічного стану конструкції (наприклад, несучої здатності) та фактичних умов експлуатації, оскільки протягом тривалого терміну експлуатації вони могли змінитись. Особливу увагу приділяють встановленню причин погіршення технічного стану конструкцій – без розуміння причин виникнення пошкоджень неможливо вибрати раціональний шлях відновлення конструкції (блок 6). Таким чином, отримана на другому етапі інформація про споруду (конструкцію) є вихідними даними для розробки проекту її відновлення.

Далі, на **III етапі**, спеціалізована організація на основі результатів II етапу розробляє проект відновлення споруди. Завдання проектної організації – вибрати з великої кількості матеріалів та технологій, наявних на ринку, ті, які будуть найбільш ефективними для цього об'єкта. Враховуються: стан споруди, особливості експлуатаційних впливів та середовища, допустимий рівень затрат на відновлення, доступність прийнятих рішень та ін.

На **IV етапі**, використовуючи розроблений проект, виконують ремонт (відновлення) споруди. Виконані роботи повинні забезпечити певну тривалість міжремонтного періоду (може обумовлюватися договірними відносинами власник-виконавець і насамперед залежить від ефективності (вартості) обраного матеріалу та технології).

Після відновлення експлуатаційної придатності споруди (конструкції) поновлюється моніторинг її технічного стану – перехід до I етапу – замикається цикл (лінія між блоками *II–I*).

1.2. Причини погіршення експлуатаційної придатності бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкцій

1.2.1. Загальна характеристика несправностей конструкцій споруд

У процесі будівництва та експлуатації будівель та споруд допускаються дефекти, які знижують якість конструкцій. Незначні дефекти, вчасно не усунені, можуть з часом розвиватись і спричинити суттєвіші пошкодження конструкцій. Як наслідок, може виникнути необхідність їх підсилення, дострокового ремонту й виконання різного виду відновлювальних робіт.

Виявлення причин низької якості будівництва, висновки, зроблені з аналізу допущених дефектів, помилок та аварій, а також приклади, коли забезпечується висока якість будівництва, завжди становлять інтерес для будівельників, конструкторів та проектувальників. Накопичення практичного досвіду, фіксація та розслідування фактів дрібних та значних дефектів у будівництві допомагають запобігти появі помилок аналогічного характеру.

Несправність елемента споруди – стан елемента, при якому ним не виконується хоча б одна із заданих експлуатаційних вимог. Наприклад, для залізобетонної балки такими вимогами є міцність, жорсткість, тріщиностійкість.

Дефект елемента споруди – несправність елемента, викликана порушенням правил, норм та технічних умов під час його виготовлення, монтажу та ремонту. Тобто конструкція, ще не піддаючись експлуатаційним впливам, уже має певні недоліки чи несправності. Причому на початку експлуатації ці несправності не завжди помітні. Дефекти часто є «прихованими», і їх виявляють уже на якомусь етапі експлуатації, коли конструкція вичерпує свій «запас міцності».

Пошкодження елемента споруди – несправність елемента споруди, викликана зовнішнім впливом (подією) у процесі експлуатації. Від початку експлуатації конструкція може бути повністю справною й задовольняти вимоги нормативних документів. Але через певний час з'являються пошкодження, викликані впливами середовища експлуатації.

Важливо розрізняти, є несправність дефектом чи пошкодженням, адже це дає можливість зрозуміти причину та період її появи, спрогнозувати подальшу поведінку конструкції в умовах експлуатації.

1.2.2. Дефекти конструкцій споруд

Тільки деякі руйнування конструкцій можуть бути викликані непередбачуваними обставинами. Великій же кількості дефектів, деформацій і навіть руйнувань можна своєчасно запобігти або усунути їх повністю, якщо бути обізнаними з аналогічними випадками. Вивчення відомих дефектів будівельних конструкцій дозволяє встановити причину та не допустити їх появу, а отже, підвищити якість усіх видів будівельно-монтажних робіт.

Дефекти в конструкціях споруд поділяються на три категорії.

I категорія. Видимі та приховані недоліки, які знижують міцність матеріалів та несучу здатність конструкцій (можуть викликати руйнування окремих частин або ділянок споруд і стати причиною аварій).

II категорія. Дефекти, що стосуються часткового послаблення конструкцій і не пов'язані з порушенням їх загальної міцності, стійкості й не загрожують цілісності споруди, але з часом можуть призвести до зниження несучої здатності.

III категорія. Дефекти, які знижують довговічність конструкцій, порушують нормальні умови експлуатації, викликають необхідність дочасного ремонту та підвищення витрат на нього (недоліки захисних покриттів, тепло-, паро-, гідроізоляції, водозахисних елементів і т. д.).

Дефекти конструкцій за походженням можна поділити на групи:

- *проектні помилки*. Авторами проекту не витримуються основні функціональні вимоги нормативних документів для цього об'єкта. Це призводить до появи недоліків проекту, які доведеться виправляти вже в умовах зведеного (експлуатованого) об'єкта, що вимагатиме значних затрат;

- *виробничі помилки*. Помилки, допущені в процесі виконання будівельних робіт на всіх стадіях: підбір відповідних компонентів матеріалу (бетону), виготовлення матеріалу (конструкції), транспортування, складування, монтаж, виконання захисних (антикорозійних) покриттів і т. д.

Усі дефекти залежно від ступеня їх впливу на якість конструкції, а також за наслідками, до яких вони можуть призвести, поділяють на такі групи:

- зовнішні та внутрішні. *Зовнішні дефекти*, як правило, легко виявляють візуальним оглядом конструктивного елемента. При цьому можна оцінити експлуатаційну придатність конструкції з таким дефектом, обґрунтувати її відбракування. Виявлення *внутрішніх («прихованих») дефектів* є значно складнішим, оскільки потребує використання спеціалізованого обладнання та методів діагностики, застосування яких доцільне тільки для відповідальних конструктивних елементів. Для більшості конструкцій внутрішні дефекти вчасно не виявляються, а тому можуть певним чином вплинути на працездатність конструкції під час експлуатації;

- дефекти, які легко або складно усуваються. До *дефектів, які легко усуваються*, належать такі, що не вимагають значних затрат матеріалів та праці (неглибокі поверхневі сколи, раковини). До *дефектів, які складно усуваються*, можна віднести такі, що потребують зміни розрахункової схеми роботи елемента, його підсилення або заміни вже в експлуатованій споруді.

Кожний дефект характеризується причинами, які його викликали, розмірами, об'ємом пошкоджень та наслідками можливого розвитку.

Необхідно зауважити, що оскільки в зведенні об'єкта, як правило, беруть участь декілька сторін (проектувальник, виробник конструкцій/матеріалів, виконавець і т. д.), іноді досить важко встановити справжню причину виникнення дефектів. Фактори, що визначають причини виникнення дефектів, накладаються один на одного, і чітко розмежувати відповідальність кожного з учасників процесу досить складно.

Характерні дефекти конструкцій. Характерні дефекти в бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкціях, виходячи з причини та періоду їх допущення, можна об'єднати в такі групи.

Недоліки проекту:

- невідповідність прийнятої під час розробки проекту розрахункової схеми дійсним умовам роботи. Невраховані в ході розробки проекту фактори призводять до того, що зведена споруда іншим чином взаємодіє з ґрунтовим масивом (основою), по-іншому розподіляються на конструкції силові впливи. Це може призвести до значної зміни характеру зусиль у конструкціях. Наприклад, виникнення непередбачених розтягнутих зон у залізобетонних елементах є причиною утворення тріщин;

- неправильне призначення відстані між деформаційними (температурними, усадковими) швами або їх відсутність. Наслідком є виникнення температурних (усадкових) тріщин, що пошкоджують масив конструкцій;



Рис. 1.3. Руйнування бетону на портландцементі морською водою

- вибір матеріалів конструкцій, які не відповідають умовам експлуатації. Під час розробки проекту не враховані певні фактори (впливи агресивних експлуатаційних середовищ, вплив агресивних ґрунтових вод), у зв'язку з якими потрібно було б використати спеціальні види цементів (сульфатостійкий, пуцолановий) або призначити відповідну товщину захисного шару бетону. Невідповідність застосованого матеріалу або параметрів конструкції експлуатаційним умовам призводить до відносно швидкої появи пошкоджень. На рис. 1.3 наведено приклад руйнування залізобетонної конструкції, виготовленої з бетону з використанням портландцементу, що піддається впливу морської води.

Дефекти виготовлення:

- відхилення від проектних геометричних розмірів. При виготовленні конструкцій (особливо монолітних залізобетонних) може бути

отриманий зменшений переріз (колони, балки) або товщина (плити), що призводить до зростання напружень;

– зниження міцності та зростання проникності бетону порівняно з проектними значеннями внаслідок порушення рецептури (вміст цементу, вміст води), розшарування суміші при укладанні, неякісного ущільнення. Збільшення водоцементного відношення (В/Ц) за рахунок зменшення вмісту цементу та/або збільшенні вмісту води негативно впливає на характеристики бетону. Зростання пористості цементного каменю бетону, як і макропори в разі неякісного (недостатнього) ущільнення, призводять до збільшення проникності: внутрішній об'єм бетону стає доступнішим для агресивного середовища і, як наслідок, зменшується довговічність конструкції. З іншого боку, порушення співвідношення компонентів бетонної суміші, а також неякісне (надмірне) ущільнення може призвести до розшарування суміші (осідання важчих компонентів). У результаті може спостерігатися відмінність характеристик бетону конструкції в різних зонах по висоті;

– наявність каверн та пустот у бетоні (за рахунок порушення технології вкладання бетонної суміші – неякісного ущільнення (рис. 1.4, 1.5) або низької якості заповнювачів із сторонніми включеннями (грудки глини, деревина та ін.);

– порушення вказівок з армування (надмірне насичення елементів арматурою, що перешкоджає ущільненню (рис. 1.6));



Рис. 1.4. Нещільності бетону



Рис. 1.5. Наслідки неякісного ущільнення бетону

– порушення вказівок з догляду за бетоном в період твердіння. Догляд за бетоном в основному включає дотримання певного тепло-вологісного режиму в період твердіння. Замерзання бетону до набору критичної міцності призводить до значного зменшення його кінцевої міцності. У сухих жарких умовах без вологісного догляду (зволоження або запобігання висиханню) поверхня конструкції швидко висихає, що призводить до пластичної усадки й появи сітки тріщин (рис. 1.7).



Рис. 1.6. Порушення конструктивних вимог до розташування арматури



Рис. 1.7. Сітка тріщин на поверхні бетону, викликана пластичною усадкою

– недостатня товщина захисного шару бетону. При недостатній товщині захисного шару бетону зменшується довговічність конструкції за рахунок розвитку корозії арматури (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Недостатня товщина захисного шару бетону або його відсутність

Дефекти монтажу та зведення конструкцій:

– дефекти, викликані порушеннями під час транспортування, складування (рис. 1.9);



Рис. 1.9. Вихід з ладу конструкції внаслідок порушень під час транспортування або складування

– зміщення від проектного положення, недостатня площа опирання. Неспіввісність конструкцій різних рівнів (рис. 1.10) приводить до появи додаткових ексцентриситетів і, як наслідок, додаткових зусиль, не передбачених проектом.

Недостатня площа опирання викликає значне зростання місцевих контактних напружень, близьких до критичних, що загрожує руйнуванням (рис. 1.11).

– відсутність чи неякісне виконання антикорозійного захисту, гідроізоляції і т. д. Передбачений проектом антикорозійний захист повинен забезпечити відсутність контакту матеріалу конструкції з агресивним середовищем, а значить, можливість виконання конструкції зі звичайних матеріалів. Проте неякісне виконання захисних покриттів призводить до досить швидкого пошкодження конструкцій, матеріал яких не придатний для



Рис. 1.10. Зміщення колони верхнього рівня з вертикальної осі

сприйняття таких впливів. Також певних пошкоджень конструкції можуть зазнати внаслідок неякісного виконання гідроізоляції, покриттів (рис. 1.12).



Рис. 1.11. Руйнування конструкцій внаслідок недостатньої площі обпирання



Рис. 1.12. Пошкодження конструкцій внаслідок неякісного виконання гідроізоляції

1.2.3. Пошкодження конструкцій споруд

Можливі пошкодження споруд та їх конструкцій класифікують за такими основними ознаками:

– причини, що їх викликають. Візуально подібне пошкодження (наприклад, тріщина в стіні цегляного будинку) може бути викликане багатьма причинами: певними процесами в ґрунтах основи; втратами з водонесучих комунікацій та вимиванням ґрунту під підшоною фундаментом; зменшенням несучої здатності конструкцій внаслідок агре-

сивного впливу середовища; надмірним навантаженням та іншими причинами. Таким чином, без визначення причин виникнення пошкодження неможливе відновлення конструкції;

- механізми корозійних процесів руйнування конструкцій. Агресивне середовище може призводити до пошкодження конструкції за різними механізмами (наприклад, за різної вологості середовища), це у свою чергу вимагає коригування передбачуваного заходу захисту;

- значущість наслідків руйнування і трудомісткість відновлення конструкцій та споруд. Пошкодження залізобетонних конструкцій великих інфраструктурних об'єктів (мости, тунелі) і, наприклад, залізобетонної перемички над прорізом можуть мати подібні причини утворення. Але організаційні та технологічні підходи до відновлення таких конструкцій будуть значно відрізнятись.

Причини, що викликають пошкодження конструкцій та споруд:

- вплив зовнішніх природно-кліматичних факторів. До цієї групи причин можна віднести кліматичні фактори (температурний режим, вологісний режим, інтенсивність вітру), впливи природних водних середовищ, впливи біогенного походження;

- вплив експлуатаційних факторів (температурні та хімічні впливи виробничих процесів; вібраційні впливи транспорту або технологічного обладнання);

- прояв помилок, допущених під час вишукування, проектування та зведення споруд. У цій групі причин розглядаються наслідки порушень нормативних вимог та допущених дефектів. Під час проведення вишукувань не достатньою мірою відображається важлива інформація про гідрогеологічні умови, хімічну агресію середовища і т. д. У проекті не повною мірою враховуються дані вишукувань при призначенні матеріалів, конструюванні;

- порушення правил експлуатації споруд. Причинами пошкоджень у конструкціях є порушення регламентів експлуатації: планового відновлення антикорозійних покриттів, очищення дренажних систем, підтримка в працездатному стані водозахисних та водовідвідних елементів і т. д.

За ступенем руйнування й значущістю наслідків виділяють три категорії пошкоджень:

1. Пошкодження аварійного характеру, викликані сукупністю впливів різних факторів, внаслідок яких виконується термінове відновлення (заміна) окремих конструкцій або всієї споруди.

2. Пошкодження основних елементів неаварійного характеру, що усуваються під час капітального ремонту.

3. Пошкодження другорядних елементів (оздоблення, захисні покриття, штукатурка тощо), що усуваються під час поточного ремонту.

За статистичними даними організацій, які спеціалізуються на відновленні залізобетонних конструкцій, пошкодження розподіляються таким чином: корозія сталльної арматури з руйнуванням захисного шару бетону – 60 %; наслідки пожеж – 10 %; тріщини – 10 %; корозія бетону – 10 %; інші причини – 10 %.

Серед характерних пошкоджень конструкцій споруд виділимо:

Пошкодження конструкцій у ході експлуатації:

– механічні пошкодження від порушення правил експлуатації: пробивання отворів та прорізів з вирізанням арматури (рис. 1.13), оголення арматури для кріплення комунікацій та обладнання, відколи бетону та тріщини від ударів транспорту, вантажів і т. д.;



Рис. 1.13. Виконання отворів у залізобетонних конструкціях з пошкодженням робочої арматури

– пошкодження від непередбачених проектом статичних та динамічних впливів. Зовнішні силові впливи на конструкції можуть перевищити допустимі значення, наслідком чого є розвиток надмірних деформацій (прогинів) та тріщини в елементах.

Пошкодження матеріалу конструкцій у ході експлуатації:

– корозійне руйнування бетону. Багато середовищ та впливів (будуть розглядатися нижче) можуть викликати в бетоні деструктивні процеси, які призводять до його руйнування або погіршення характеристик, зокрема зниження міцності, щільності, захисної ефективності для арматури (рис. 1.14);

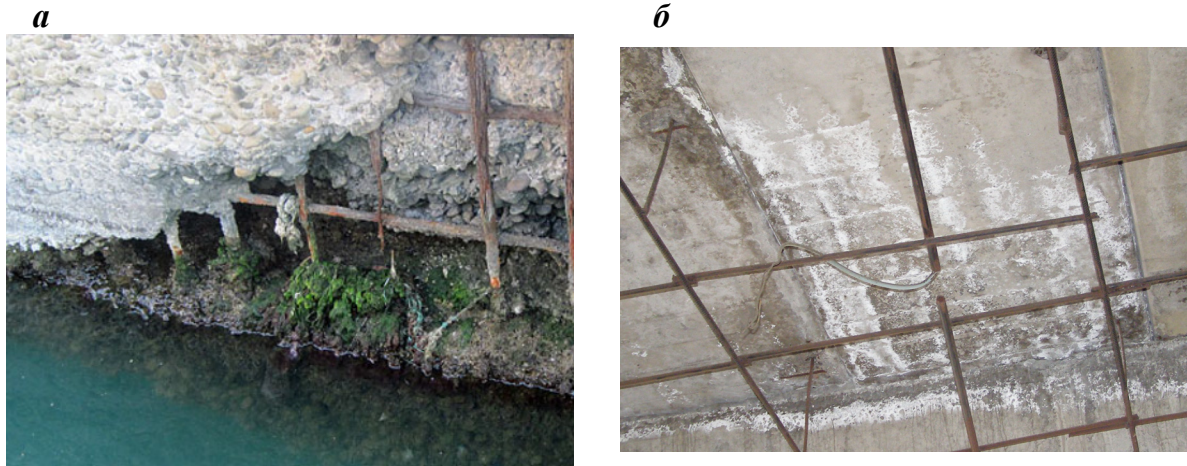


Рис. 1.14. Руйнування бетону внаслідок агресивного впливу морської води (а), винесення компонентів цементного каменю (білий наліт) з бетону атмосферними опадами (б)

- утворення тріщин корозійного походження вздовж арматурних стержнів (рис. 1.15), руйнування бетону захисного шару, оголення арматури (рис. 1.16);

- деструкція матеріалу внаслідок впливу циклічних та знакозмінних процесів (рис. 1.17) (заморожування–відтавання, нагрівання–охолодження, зволоження–висихання);

- високі температури при пожежі (рис. 1.18);

- руйнування поверхонь елементів внаслідок абразивних та кавітаційних впливів. Абразивне зношення поверхні конструкції відбувається при стиранні її поверхні сипким матеріалом. Кавітаційні процеси виникають у випадку впливу на поверхню конструкції потоку рідини (води) з турбулентним характером руху. Значна кількість утворених внаслідок захоплення повітря бульбашок при зіткненні з поверхнею конструкції закриваються, створюючи імпульсні мікро-впливи, які поступово й руйнують поверхню.



Рис. 1.15. Утворення тріщин внаслідок корозії арматурних стержнів



Рис. 1.16. Руйнування бетону захисного шару внаслідок корозії арматурних стержнів



Рис. 1.17. Морозна деструкція кам'яної кладки та бетону конструкції

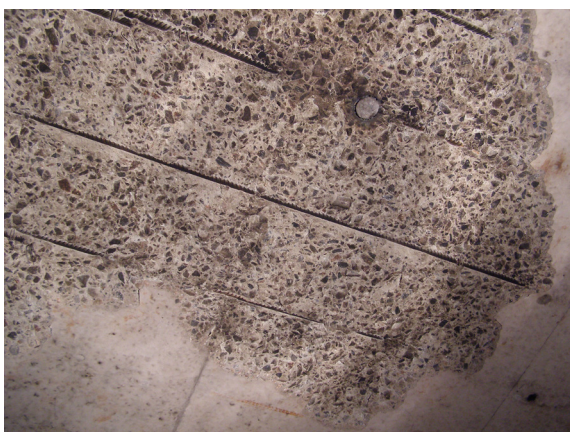


Рис. 1.18. Наслідки впливу пожежі на поверхню конструкції

Контрольні завдання та запитання

1. Як впливає фізичне зношення на придатність конструкцій до експлуатації?
2. Проаналізуйте моральне зношення як критерій оцінки придатності конструкцій (будівель, споруд) до експлуатації.
3. Як можна охарактеризувати життєвий цикл конструкцій будівель та споруд? Основні етапи.
4. Яка мета функціонування системи підтримання експлуатаційної придатності споруд? Її склад.
5. У чому полягає суть поняття «дефект» конструкції?
6. Що можна віднести до дефектів виготовлення? Характерні приклади.
7. Що можна віднести до дефектів монтажу та зведення? Характерні приклади.
8. У чому полягає суть поняття «пошкодження» конструкції? Принципові відмінності пошкоджень та дефектів. Необхідність правильної ідентифікації.
9. Пошкодження конструкцій під час експлуатації. Характерні приклади.
10. Пошкодження матеріалу конструкцій під час експлуатації. Характерні приклади.

Умови експлуатації конструкцій будівель та споруд. Агресивні впливи

2.1. Загальна характеристика умов експлуатації конструкцій споруд та агресивних впливів

Бетонні й залізобетонні конструкції взаємодіють із середовищем експлуатації. Хімічні та фізичні процеси при цьому можуть не тільки сприяти збільшенню міцності й стійкості конструкцій, але й навпаки призвести до руйнування. Крім хімічних процесів, які відбуваються між бетоном, сталлю та зовнішнім середовищем, довговічність конструкції залежить також і від механічних впливів, які можуть викликати порушення монолітності бетону (поява тріщин, зношення поверхневого шару бетону) і стати однією з причин руйнування конструкцій від фізичних впливів, створюючи сумарні напруження, що перевищують міцність матеріалів конструкцій.

Вивчення, аналіз та прогнозування умов експлуатації конструкцій споруд дозволяє використати такі матеріали, конструкції та способи захисту, які забезпечили б необхідну довговічність. Це достатньо складне завдання, адже зовнішні умови, у яких перебуває споруда, не залишаються сталими й необхідно передбачити можливу їх зміну протягом тривалих термінів (десятки, сотні років). Така зміна зумовлюється як загальними змінами природних факторів, так і не меншою мірою змінами, пов'язаними з діяльністю людини.

Розвиток промисловості, будівництво гідротехнічних споруд, поява в повітрі, ґрунтових та поверхневих водах відходів промисловості можуть значно змінити середовище експлуатації конструкції й викликати підсилення або затухання корозійних процесів.

Умови експлуатації споруд визначаються зовнішнім середовищем, у якому вони розташовані, кліматом місцевості, складом повітря, води і ґрунту, що оточують споруду та її елементи, іншими факторами.

Причому характеризуються умови експлуатації, як правило, несприятливими факторами, які погіршують експлуатаційну придатність конструкції, – агресивними впливами.

Важливу роль відіграють також особливості контакту між зовнішнім середовищем і поверхнею конструкції, які зумовлюються:

- швидкістю та характером руху середовища (газового, рідкого) біля поверхні конструкції. Швидкість руху середовища впливає на інтенсивність взаємодії між компонентами, підведення нових компонентів середовища до поверхні конструкції. Характер руху середовища може бути ламінарним або турбулентним;

- щільністю прилеглого ґрунту при дії ґрунтових вод. У щільних, малофільтруючих ґрунтах (суглинки) швидкість міграції та підведення агресивних речовин буде значно нижчою, ніж у пористих (піщані);

- можливістю надходження нових кількостей агресивних компонентів замість тих, що прореагували. Наприклад, взаємодія з конструкцією агресивних ґрунтових вод (необмежена кількість компонента) та втрати речовин з пошкоджених комунікацій, які потрапили в ґрунт в обмеженій кількості;

- збереженням чи видаленням продуктів корозії з поверхні конструкції. Продукти корозії можуть легко розчинятись і виводитись у середовище, оголюючи глибші шари матеріалу конструкції. У деяких випадках продукти корозії є важкорозчинними та формують досить щільний шар, малопроникний для наступних порцій агресивної речовини.

Умови експлуатації, разом з параметрами конструкцій, є основними факторами, які визначають терміни служби споруд.

2.1.1. Ступінь агресивності впливів на конструкції

Ступінь агресивності певного впливу на конструкцію встановлюється нормативним документом ДСТУ Б В.2.6-145:2010 «Конструкції будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги» [15] залежно від характеристик середовища (вид та концентрація речовини) та матеріалу конструкції (марки за водонепроникністю, вид цементу).

Залежно від інтенсивності агресивного впливу середовища поділяють на неагресивні, слабоагресивні, середньоагресивні та

сильноагресивні. Такий поділ дає якісну оцінку й визначає загальну систему вибору матеріалів, стійких у розглядуваних умовах.

Якщо споруда експлуатується в природному середовищі, то виявляються агресивні впливи повітряного та водного середовища або ґрунтового масиву. Ступінь агресивності зовнішнього середовища необхідно розглядати комплексно, з урахуванням усіх впливових факторів – як руйнівних, так і позитивних, що значно ускладнює завдання. Наприклад, вологість і вміст вуглекислоти в повітрі – сприятливі фактори для збереження й покращення з часом міцності, щільності та хімічної стійкості бетону. Проте на залізобетон ці фактори чинять негативний вплив (створюються передумови для виникнення й розвитку процесів корозії арматури). Таким чином, для оцінки ступеня агресивності зовнішніх умов стосовно залізобетонної конструкції необхідно аналізувати ймовірність і швидкість перебігу процесів – сприятливих і несприятливих, тобто корозійних як стосовно бетону, так і стосовно арматури конструкції.

Оцінюючи агресивність середовища, крім загального районування умов (кліматичні характеристики місцевості – вологісний та температурний режим), необхідно враховувати основні мікрокліматичні умови для конкретної споруди, тобто наявність джерел місцевого зволоження конструкцій і факторів, що змінюють температурний режим роботи конструкції.

Поблизу моря чи солоних озер в атмосфері наявна певна кількість пилу, утвореного солями, які містяться в морській воді, або тумано-подібна морська вода. Дія морської води на бетон і арматуру залежить від можливості накопичення солей у порах бетону. Якщо клімат сухий, то в разі вітру з моря навіть на великій відстані від узбережжя на поверхні конструкцій будуть накопичуватися солі. В умовах вологого клімату вітри з боку моря супроводжуються дощами, тому солі на поверхні конструкції не накопичуються.

Під час оцінки ступеня агресивності атмосфери корисні дані про стійкість залізобетону може дати обстеження раніше збудованих споруд у цьому районі.

Найбільша кількість руйнувань бетону спостерігається в умовах дії водного середовища. Ступінь агресивності води як середовища для бетону визначається не тільки її складом, але й умовами, у яких відбувається взаємодія води з бетоном споруди (швидкість потоку

води, можливість дії води під напором, наявність і щільність ґрунту біля конструкції тощо).

Під час оцінки ступеня агресивності води як середовища необхідно визначати такі показники: ступінь кислотності (відображається водневим показником рН); жорсткість (бікарбонатна лужність); вміст агресивної вуглекислоти (CO_2), сульфатів, хлоридів, магнію; загальний вміст солей.

Питання про ступінь агресивності ґрунтів, що містять розчинні солі, досить складне. З одного боку, кількість солі як в одиниці об'єму, так і в масі ґрунту, що контактує зі спорудою, може бути досить значною, з іншого – щільність ґрунту перешкоджає міграції солей і в засушливому кліматі досить розчинні мінерали (гіпс) можуть зберігатися тривалий час без розчинення й міграції. Тому передусім необхідно враховувати гідрогеологічні умови місцевості: можливість насичення ґрунтів водою, тривалість такого насичення, можливість підвищення рівня ґрунтових вод, вологісні характеристики ґрунтів.

Для визначення ступеня агресивності ґрунтів, а також їх захисних властивостей стосовно бетону споруд ґрунти класифікують за щільністю. У ДСТУ Б В.2.6-145:2010 ґрунти поділяють на дві групи: слабофільтруючі ґрунти з коефіцієнтом фільтрації менше 0,1 м/добу, а також середньо- і сильнофільтруючі ґрунти з коефіцієнтом фільтрації більше 0,1 м/добу. Умови служби в середньо- та сильнофільтруючих ґрунтах прирівнюються до умов відкритої водойми (вільне омивання без одностороннього напору).

2.1.2. Визначення провідного агресивного впливу на конструктивний елемент

З усієї кількості впливів на споруду (конструкцію) важливо виділити *провідний агресивний вплив*, оскільки він обмежує термін експлуатації споруди. У деяких випадках як провідний агресивний вплив необхідно розглядати певну сукупність дій та впливів на конструкцію, інтенсивність яких приблизно однакова.

Для правильного визначення провідного агресивного впливу на окремі конструктивні елементи прийнято поділяти споруду на зони, типові за умовами служби.

Для споруд із залізобетону, що розташовані в мінералізованих водах (морська вода), застосовується така схема розподілу на зони за умовами служби (рис. 2.1) [21]:

А – зона надводної частини споруди, що піддається дії звичайних атмосферних впливів;

Б – зона впливу бризок; бетон насичується солями, що викликає розвиток процесів корозії арматури (особливо на стельовій поверхні конструкцій, де можливе утворення конденсату);

В – зона систематичного зволоження бетону, що в умовах постійного рівня води може призвести до розвитку процесів корозії кристалізації. У жарких кліматичних умовах ця зона стає зоною Б; у суворих умовах – зоною Г;

Г – зона постійних коливань рівня води (припливно-відпливна зона морського узбережжя). Бетон у цій зоні піддається багаторазовому заморожуванню–відтаванню (незамерзаюча водойма при від’ємних температурах) або водонасиченню й висушуванню в жаркому кліматі;

Д – зона підводного бетону, що постійно розташована нижче рівня води.

Також може встановлюватися спрощена схема (рис. 2.2).

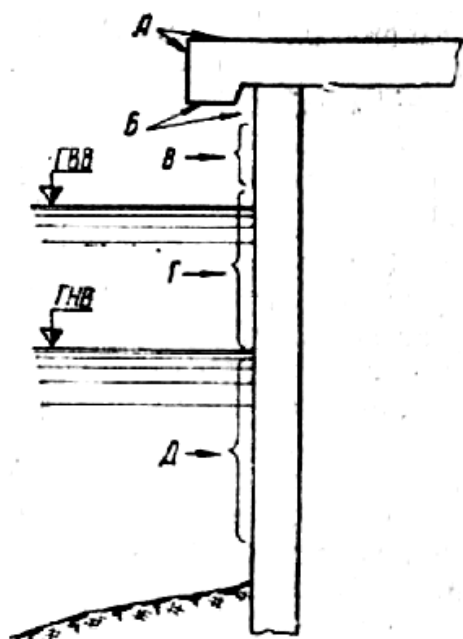


Рис. 2.1. Поділ споруди, що експлуатується в мінералізованих водах, на зони, типові за умовами служби

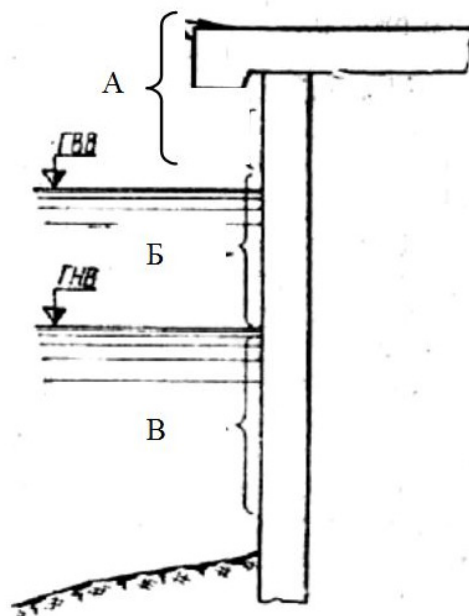


Рис. 2.2. Спрощений поділ гідротехнічної споруди на зони, типові за умовами служби

Позначення зон споруди на рис. 2.2: А – надводна зона; Б – зона змінного рівня води; В – підводна зона.

Така схема може застосовуватися для конструкцій, що працюють в менш агресивних водних середовищах (низькомінералізовані води). Також такий укрупнений розподіл на зони не дозволяє виділити конструкції або їх елементи, у яких буде переважати корозія арматури.

Різниця в характеристиках зовнішнього середовища для окремих зон визначається температурними умовами, змінними у верхніх частинах конструкції і досить сталими в нижніх, і вологісними умовами, що змінюються від постійно повітряних вгорі до постійно водних внизу. Вимоги до бетону (залізобетону) у кожній із зон повинні виходити з конкретних їх характеристик.

Деякі споруди можуть працювати в особливих умовах. Наприклад, на гірських річках, де опори мостів піддаються не тільки корозійному (вилугувальному) впливу м'якої річкової води, але й стиральній дії переміщуваних часток (піску, гравію). У цьому випадку провідною вимогою до бетону може бути його опір стиранню.

2.1.3. Класифікація агресивних впливів

1. **За походженням** агресивні впливи поділяють на такі:

- а) природні:
 - кліматичні дії (характеризуються складом повітря, атмосферною вологістю, тиском, температурою, швидкістю вітру та ін.);
 - дії природних водних розчинів (вода морів, рік, водоймищ, ґрунтові води);
 - дії біологічних організмів і продуктів їх життєдіяльності;
- б) антропогенні (викликані господарською діяльністю людини). Впливи робочих середовищ, забруднень і викидів у навколишнє середовище продуктів технологічної переробки речовин та ін.;
- в) змішані, зумовлені спільним впливом природних факторів середовища й антропогенних дій.

2. **За характером впливу** на матеріал конструкції розрізняють:

- фізичний: механічні пошкодження (удари вантажів, транспорту), стирання поверхонь, кавітаційний вплив;
- хімічний. Погіршення експлуатаційних показників матеріалу конструкції відбувається внаслідок хімічного впливу середовища (дія кислих розчинів на поверхні конструкції);

- фізико-хімічний. Наприклад, гранули мінеральних добрив можуть механічно стирати поверхню конструкції й одночасно в умовах конденсації водяної пари на поверхні утворювати хімічно агресивні до бетону розчини.

3. **За видом змін**, які викликає в матеріалі діюче середовище:

- оборотні. Процеси, які призвели до погіршення експлуатаційних показників матеріалу в певний період, можуть отримати конструктивну ознаку при зміні, наприклад, певних умов середовища. Процеси вилуговування цементного каменю та кольматація пор (п. 2.3.1).

- необоротні.

4. **За місцем перебігу:**

- процеси, що відбуваються в поверхневих шарах. Вплив агресивного водного середовища в умовах омивання конструкції;

- процеси, що відбуваються в усьому об'ємі матеріалу. Вплив агресивного водного середовища в умовах фільтрації води через товщу бетону (кладки).

2.2. Корозія бетону в агресивних середовищах

2.2.1. Особливості взаємодії бетону із середовищем

Як уже згадувалося вище, значна частина елементів споруд різного призначення представлена бетонними, залізобетонними та кам'яними конструкціями. У зв'язку з цим розгляд корозійних процесів у бетоні є надзвичайно важливим. Що стосується кам'яних конструкцій, використані в них в більшості випадків розчини на основі цементу піддаються тим самим впливам, що й бетон – відбувається взаємодія компонентів середовища із цементним каменем, тому окремо корозійне руйнування кам'яних кладок не розглядається.

Внаслідок хімічної активності компонентів цементного каменю, реакції між вихідним цементом і водою доповнюються надалі хімічними процесами між складовими частинами цементного каменю й хімічно активними компонентами зовнішнього середовища. Крім того, у важких бетонах цементний камінь є і найбільш проникним компонентом (рис. 2.3). Проникність бетону, яка залежить від характерис-

тик його структури, у свою чергу зумовлює інтенсивність впливу агресивних середовищ на довговічність конструкцій.

Ці два фактори лежать в основі розробки всіх антикорозійних заходів, спрямованих на підвищення стійкості бетону.

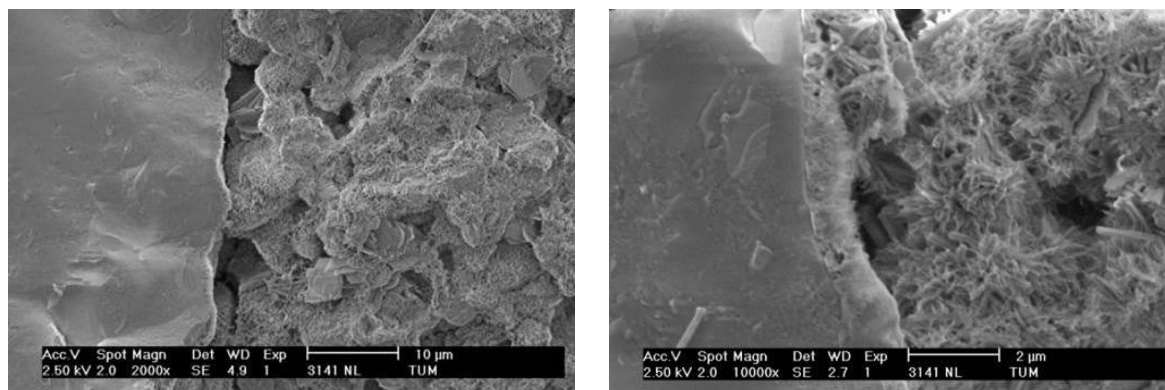


Рис. 2.3. Фотографії мікроструктури цементного каменю

Пориста структура цементного каменю в бетоні забезпечує його здатність пропускати агресивні рідини та гази під дією різних градієнтів (напору, температурного, вологісного). Можливе й дифузійне перенесення через бетон агресивних компонентів, що містяться в газоподібному чи рідкому зовнішньому середовищі (градієнт концентрацій). Проникність бетону кількісно характеризується коефіцієнтом фільтрації, маркою за водонепроникністю.

Корозійні процеси в бетоні можуть мати такі наслідки:

- руйнування бетону (втрата маси, зменшення робочого перерізу конструктивного елемента);
- погіршення характеристик бетону (втрата міцності, зростання проникності);
- втрата бетоном здатності захищати арматуру від корозії.

Швидкість корозії бетону визначається сумарною швидкістю таких процесів:

- а) зовнішня дифузія (швидкість підведення агресивного фактора до поверхні);
- б) внутрішня дифузія в структурі бетону;
- в) хімічні реакції.

Як правило, обмежувальним фактором швидкості корозійних процесів у бетоні є швидкість внутрішньої дифузії.

2.2.2. Класифікація процесів корозії бетону

Забезпечити необхідну довговічність споруди можна тільки тоді, коли визначено ступінь агресивності зовнішнього середовища та відома сутність можливих корозійних процесів у конкретних умовах експлуатації, встановлено причини руйнування, розроблено способи підвищення стійкості бетону й захисту споруд.

Для встановлення загальних закономірностей розвитку процесів корозії з метою визначення засобів боротьби з руйнуванням бетону та підвищення довговічності конструкцій процеси корозії класифікують та об'єднують за основними ознаками.

Корозійні процеси в бетоні починаються й відбуваються здебільшого в присутності рідкої фази. Викликаються вони переважно природними й промисловими водними розчинами, які містять різну кількість розчинених речовин (кислот, солей, лугів) або деякі органічні речовини.

За класифікацією В. М. Москвіна корозію у випадку дії водних розчинів поділяють на три види (рис. 2.4).

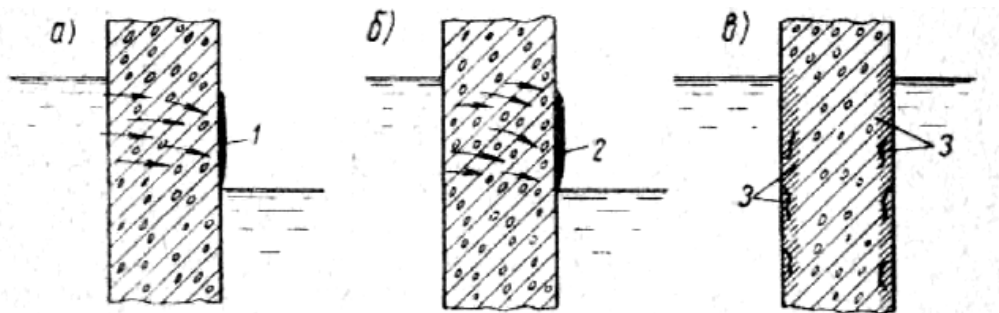


Рис. 2.4. Схема основних видів корозії бетону у водних розчинах [21]:

а – корозія першого виду – вилуговування; б – корозія другого виду – вилуговування та хімічна дія; в – корозія третього виду – кристалізація солей;

1 – відклади вапна ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) і вуглекислого кальцію (CaCO_3); 2 – відклади продуктів обмінних реакцій; 3 – нагромадження продуктів корозії в тілі бетону

При дії водних розчинів рідко трапляється корозія суто одного виду, відокремлена від інших, але, як правило, спостерігається переважання певного виду.

Основні види корозії бетону:

- у водних розчинах;
- газова корозія;
- органогенна корозія;

- електрокорозія (електроліз);
- лужна корозія (у випадку порушення вимог норм із застосування реакційно активного заповнювача).

Для залізобетонних конструкцій характерне руйнування бетону (захисного шару) внаслідок розвитку корозії арматури в бетоні.

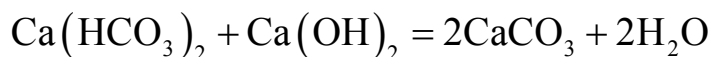
2.3. Корозія бетону при дії водних розчинів

2.3.1. Корозія бетону I виду при дії водних розчинів

Особливості корозії I виду. Корозія I виду відбувається в разі фільтрації через бетон або омивання поверхні бетону низькомінералізованими водами.

Розчинність продуктів гідратації цементу у воді зумовлює корозію бетону за рахунок розчинення й виведення з бетонної матриці сполук, які визначають міцність кристалізаційних контактів у цементному камені. Найбільш високорозчинним компонентом цементного каменю на основі портландцементу є гідроксид кальцію ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Наявність солей у розчині, який фільтрується через конструкцію (або омиває її), має великий вплив на розчинність $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Однойменні йони Ca^{2+} , OH^- знижують, а побічні, такі як SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ , підвищують розчинність гідроксиду кальцію.

Жорсткість води характеризується вмістом розчинних двовуглекислих солей кальцію та магнію $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2, \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]$, який визначає бікарбонатну лужність або тимчасову жорсткість води. Тимчасова жорсткість води позитивно впливає на стійкість бетону. Двовуглекислі солі кальцію і магнію реагують з вапном бетону й утворюють важкорозчинні карбонати кальцію або магнію



Вода з низьким вмістом солей кальцію агресивна до бетону, оскільки здатна розчиняти компоненти цементного каменю. Таким чином, чим менший вміст солей, чим нижча тимчасова жорсткість води, тим вища її агресивність.

Процес корозії I виду. Від початку формування бетону в порах цементного каменю міститься певна кількість води (порова вода), яка є насиченим розчином вапна ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) концентрацією приблизно 1,3 г/л. У середовищі порової води з такою концентрацією СаО основні сполуки цементного каменю (гідросилікати й гідроалюмінати кальцію) є стійкими.

В умовах корозійного впливу низькомінералізованого водного середовища (фільтрація або омивання) концентрація гідроксиду кальцію в поровій воді знижується. На першому етапі для відновлення концентрації СаО в поровій воді буде розчинятися вільний гідроксид кальцію (майже 15 % маси цементу). Після розчинення значної його частини почнеться гідроліз гідросилікатів і гідроалюмінатів кальцію (компонентів, що визначають міцність цементного каменю) з виділенням кальцію.

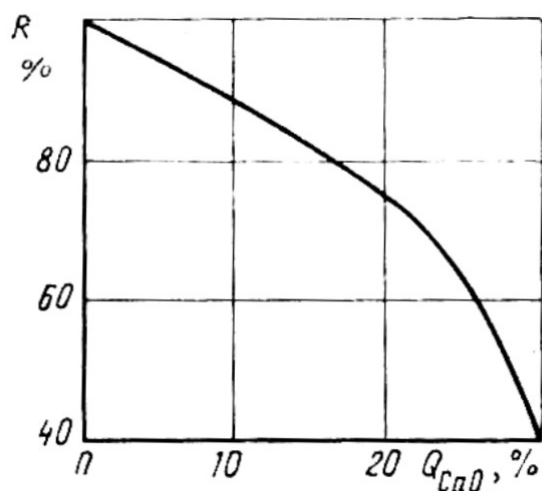


Рис. 2.5. Зниження міцності цементного розчину залежно від кількості вилученого з цементного каменю вапна

При подальшому зниженні концентрації $\text{Ca}(\text{OH})_2$ силікати повністю руйнуються, а у твердій фазі залишається тільки гель кремнекислоти ($\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (аморфна маса). Однак ще задовго до цього цементний камінь, а значить і бетон, остаточно втрачають механічну міцність і руйнуються.

Залежність втрати міцності бетону (R) від кількості вилученого з цементного каменю вапна (Q_{CaO}) наведено на рис. 2.5.

Реагуючи з CO_2 повітря винесений $\text{Ca}(\text{OH})_2$ відкладається як CaCO_3 у вигляді білого нальоту або утворень, подібних до сталагмітів і сталактитів. Сліди корозії I виду найбільш помітні на ділянках висихання води, що контактувала з бетоном (фільтрувала, омивала, проходила через стики, тріщини). Приклади проявів корозії I виду бетону наведені на рис. 2.6. Часто трапляється в тунельних обробках, конструкціях гребель, дренажних колекторах тощо.

Ступінь небезпеки процесів вилуговування визначається умовами взаємодії бетону конструкції й води. Найбільш небезпечними є умови, у яких відбувається фільтрація води через тіло бетону під напором. Ланкою, що обмежує процес вилуговування, є дифузія вапна з глибинних шарів цементного каменю до каналів, тріщин або пор, якими рухається фільтруюча вода.



Рис. 2.6. Приклади проявів корозії бетону I виду

У деяких випадках корозійні процеси, пов'язані з перенесенням $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і CaCO_3 з глибини до поверхні бетону, мають позитивний характер: солі кальцію відкладаються не на зовнішній (безнапірній) поверхні, а в товщі бетону – процес кольматації пор (закупорювання). Необхідна умова – мінімальна швидкість фільтрації води з інтенсивним випаровуванням у порах бетону (низька вологість та підвищена температура зовнішньої поверхні).

Інтенсивність фільтрації води через бетон протягом тривалого часу не є сталою: відбувається або її поступове уповільнення, або зростання. У результаті «розмивання» шляхів фільтрації кількість фільтруючої води при однаковому тиску буде збільшуватись.

Прогнозування терміну служби та підвищення стійкості бетону при корозії I виду. Правильна оцінка стійкості та довговічності бетону можлива з урахуванням:

- фізичного фактора (щільність бетону);
- хімічного фактора (ступінь зв'язування гідроксиду кальцію, основність мінералів).

Прогноз терміну служби бетонних та залізобетонних конструкцій у разі фільтрації води під напором та кількісна оцінки інтенсивності корозії І виду виконуються таким чином.

Термін служби конструкції (тривалість агресивного впливу води до досягнення величиною втрати вапна певних граничних значень)

$$\tau = \frac{Q_{\text{CaO}}}{v_{\text{об}} C_{\text{CaO}}},$$

де Q_{CaO} – кількість вапна, яка може бути вилучена з одиниці об'єму бетону;

$v_{\text{об}}$ – кількість води, що фільтрує за одиницю часу через одиницю об'єму бетону (об'ємна швидкість води, $\text{см}^3/(\text{см}^3 \cdot \text{с})$);

C_{CaO} – середня концентрація вапна у воді за час служби конструкції.

Кількість вапна, яка може бути видалена з одиниці об'єму бетону, обчислюється за формулою

$$Q_{\text{CaO}} = k p C,$$

де k – заданий допустимий відсоток вилуговування вапна, приймається на основі кривої (див. рис. 2.5). У випадку оцінки довговічності конструкції за критерієм нормальної роботи $k = 0,1$ (10 %), за критерієм руйнування $k = 0,3$ (30 %);

p – вміст СаО в цементі. Для більшості цементів усереднено приймається 0,6;

C – вміст цементу в одиниці об'єму бетону (кг/л , кг/м^3).

Величина $v_{\text{об}}$ визначається за виразом

$$v_{\text{об}} = K_{\text{ф}} \frac{H}{L},$$

де $K_{\text{ф}}$ – коефіцієнт фільтрації, см/с .

H – напір водяного стовпа, м;

L – товщина конструкції, м.

Ця методика дає наближену оцінку, але дозволяє оцінювати (висувати) вимоги до водонепроникності бетону споруд для забезпечення їх довговічності.

Основні заходи підвищення стійкості бетону при корозії I виду:

- збільшення щільності бетону;
- застосування цементів, стійких до розчинної дії води (пуцоланового, шлакопортландцементу);
- введення гідралічних мінеральних домішок (активний SiO_2) у пуцоланових цементах до 20–30 %. Мінеральні домішки не тільки змінюють мінералогічний склад цементного каменю (зниження основності гідросилікатів кальцію), але й підвищують його щільність.

2.3.2. Корозія бетону II виду при дії водних розчинів

Загальна характеристика процесів корозії бетону II виду. Корозія II виду пов'язана з розвитком обмінних реакцій між кислотами чи солями середовища та складовими цементного каменю. Її викликають органічні та неорганічні кислоти, магнезіальні та хлористі солі, феноли, формальдегіди та інші речовини.

У разі корозії II виду руйнування цементного каменю відбувається в поверхневому шарі бетону, що контактує з агресивним середовищем, причому сусідні (глибші) шари майже повністю зберігаються (на відміну від корозії I виду, де відбувається поступове вилугування продуктів гідролізу цементу).

Новоутворення, не маючи в'язучих властивостей, міцності, стійкості у водному розчині, достатньої щільності, розчиняються або змиваються механічно, оголюючи глибші шари бетону (рис. 2.7, 2.8).

У випадку, якщо шар продуктів реакції (відпрацьований шар) достатньо щільний та міцний і *не видаляється середовищем*, інтенсивність подальшого корозійного процесу може знижуватись.

Кінетика корозії II виду в разі дії кислот при дифузійному процесі масоперенесення (за відсутності напору) визначається найменшою швидкістю процесів: зовнішньої дифузії (швидкість обміну агресивного середовища – підходу агресивної речовини до поверхні конструкції), внутрішньої дифузії (проникнення агресивної речовини через відпрацьований шар в цементний камінь бетону) і хімічної реакції.

Швидкість внутрішньої дифузії значною мірою визначається складом і структурою продуктів корозії, які залежать від виду й концентрації кислоти.

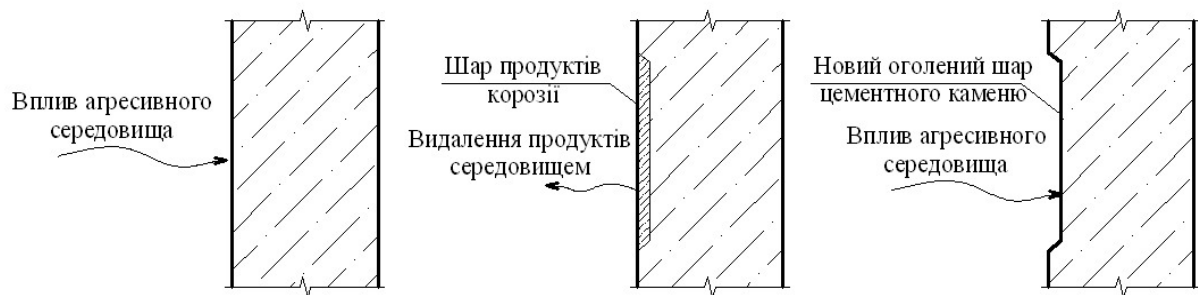


Рис. 2.7. Принципова схема процесу корозії II виду

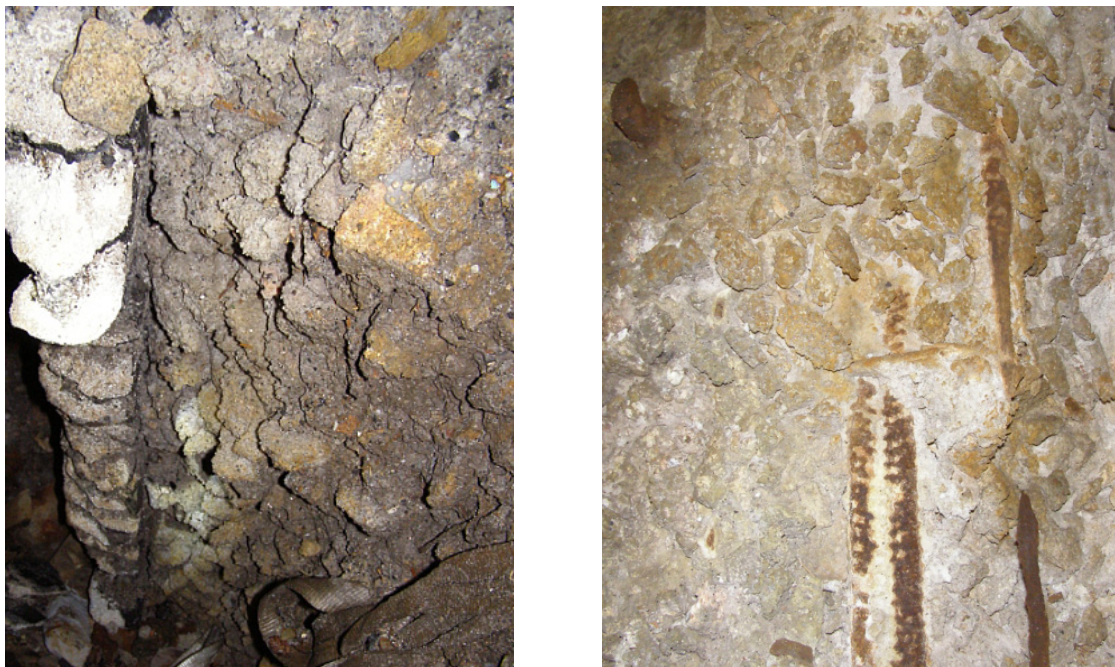


Рис. 2.8. Наслідки впливу агресивних середовищ та пошкодження бетону за механізмом корозії II виду

У початковий період часу, поки шар продуктів корозії незначний, процес корозії перебуває в кінетичній фазі, тобто лімітується швидкістю хімічної реакції. У міру збільшення товщини відпрацьованого шару швидкість корозії уповільнюється, процес переходить у дифузійну фазу, тобто обмежувальним фактором є дифузія агресивних іонів через відпрацьований шар продуктів корозії до непошкодженого бетону.

Якщо продукти реакції цементного каменю з кислим агресивним середовищем розчиняються й виносяться рухомим розчином, то швидкість корозії визначається швидкістю притоку агресивного середовища й розміром поверхні контакту середовища й цементного каменю, які в цьому випадку є обмежувальними факторами швидкості корозії.

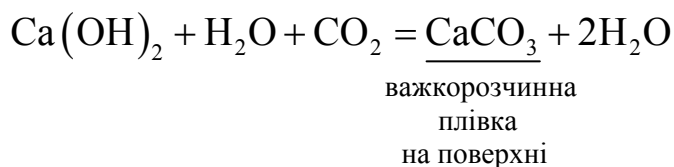
Основні агресивні середовища, що спричиняють корозію бетону II виду. Найчастіше трапляється корозія II виду при дії вуглекислоти, що міститься в більшості природних вод. Сірчиста (H_2SO_3) та сірчана (H_2SO_4) кислоти можуть міститися в торф'яних водах. Велика кількість кислот значної концентрації може бути у викидах промислових підприємств і забруднених ними ґрунтах та ґрунтових водах.

Наприклад, кислотні дощі утворюються в результаті реакції між водою й такими забруднюючими речовинами, як діоксид сірки (SO_2) і різні оксиди азоту (NO_x). Ці речовини викидаються в атмосферу автомобільним транспортом, у результаті діяльності металургійних підприємств і електростанцій, а також внаслідок спалювання вугілля й деревини. Вступаючи в реакцію з водою атмосфери, згадані забруднювачі перетворюються в розчини кислот – сірчаної, сірчистої, азотистої та азотної, які разом з атмосферними опадами взаємодіють з матеріалом конструкції.

Природні надходження в атмосферу оксидів азоту пов'язані основним чином з електричними розрядами, при яких утвориться NO, згодом – NO_2 . Значна частина оксидів азоту природного походження переробляється в ґрунті мікроорганізмами, тобто включена в біохімічний кругообіг. Магnezіальні й хлористі солі можуть бути наявними в ґрунтових водах, значна кількість – у морській воді.

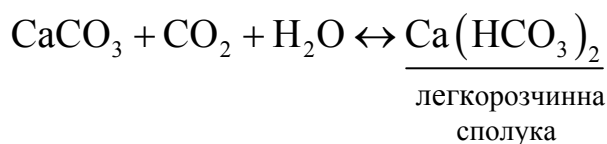
Дія вуглекислих вод. Вуглекислота є в значній кількості природних водних середовищ. Виділення CO_2 пов'язане з мікробіологічними процесами гниття рослинних залишків, що відбуваються на різній глибині. У воді, що не містить солей, при $t = 15^\circ\text{C}$ розчинюється 0,59 мг/л вуглекислоти, що надає воді слабокислотних властивостей ($\text{pH} = 5,7$).

Розчинена у воді вуглекислота (помірної концентрації¹) перебуває з вуглекислим кальцієм (CaCO_3) у рівновазі за схемою



Утворена карбонатна плівка позитивно впливає на стійкість поверхневого шару цементного каменю до вилуговування (проявів корозії I виду).

Зі зростанням концентрації CO_2 (надмірна концентрація CO_2 – агресивне середовище) у розчині відбувається розчинення вуглекислого кальцію – збільшення концентрації бікарбонату кальцію

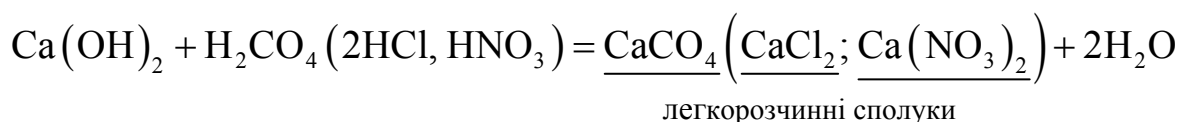


Таким чином, продукт реакції розчиняється й видаляється з поверхні бетону водним середовищем, оголюючи глибші шари цементного каменю. Далі процес послідовно повторюється – поверхневий шар втрачається.

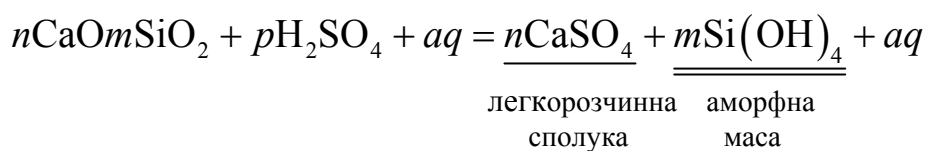
Крім того, руйнуючи карбонатну плівку CaCO_3 , що служить захистом від вилуговування цементного каменю, вода з агресивним CO_2 значно збільшує інтенсивність корозії I виду.

Дія кислот на цементний камінь. При дії кислот цементний камінь повністю руйнується, продукти реакції частково розчиняються, а частково залишаються на місці реакції у вигляді аморфних мас.

Схематична послідовність реакцій

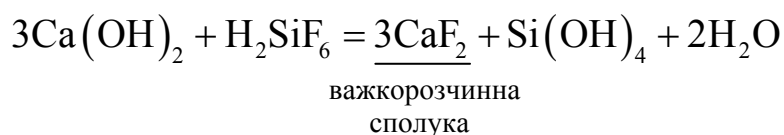


¹ Тут використано відносні поняття «помірної» та «надмірної» концентрації, ступінь агресивності середовища залежить від фактичної концентрації агресивного компонента й встановлюється за вказівками нормативного документа.



Кислоти взаємодіють насамперед із вільним гідроксидом кальцію, а потім із $\text{Ca}(\text{OH})_2$, отриманим внаслідок гідролізу (розкладення) гідросилікатів та гідроалюмінатів кальцію з утворенням кальцієвих солей.

Стійкість (швидкість руйнування) бетону в кислих середовищах великою мірою залежить від розчинності та щільності шару утворених у результаті реакцій сполук: чим більшою є розчинність продуктів реакцій і чим інтенсивніше вони видаляються з поверхні, тим швидше руйнується цементний камінь. Наприклад, оцтовокислий кальцій добре розчиняється у воді, тому оцтова кислота, яка є відносно слабкою, досить агресивно діє на бетон. Щавлева кислота, взаємодіючи з $\text{Ca}(\text{OH})_2$, утворює важкорозчинний щавлевовислий кальцій, тому діє менш агресивно. Це явище використовується як один зі способів підвищення стійкості бетону в такому агресивному середовищі – флюатування. Поверхню бетону конструкції обробляють слабким розчином кремнієфтористоводневої кислоти (H_2SiF_6). У поверхнево-му шарі відбувається взаємодія за такою схемою:



Розчинність CaF_2 дуже мала, і разом з ущільненням внаслідок втрати гідратної води гелем $\text{Si}(\text{OH})_4$ утворюється стійка (антикорозійна) плівка.

Залежно від складу й структури продуктів корозії кислоти поділяють на три групи:

I. Кислоти, у результаті дії яких на цементний камінь бетону утворюється шар продуктів корозії (відпрацьований шар), що складається з гелів кремнекислоти ($\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), гідроксиду заліза, гідроксиду алюмінію та незначних включень солей кальцію. До I групи належить соляна, азотна кислота та ін.

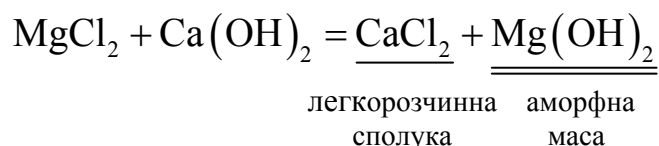
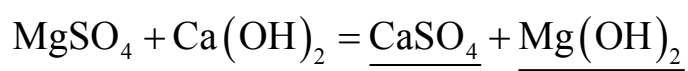
II. Кислоти, які при невеликих концентраціях утворюють шар продуктів корозії, характерний для кислот I груп, а при високих

концентраціях – шар, який складається з тих самих гелів, але із значним вмістом солей кальцію у твердій фазі, що підвищує щільність шару продуктів корозії й знижує швидкість корозії. До цієї групи відносять фосфорну, сірчану, сірчисту кислоти.

III. Кислоти, які утворюють у шарі продуктів корозії ті самі гелі, але ущільнені нерозчинними солями кальцію. Щавлева, фтористоводнева, кремнефтористоводнева кислоти.

Дія розчинів магнезіальних солей. Значна кількість магнезіальних солей (MgSO_4 ; MgCl_2) міститься в морській воді, а в деяких випадках і в ґрунтових водах.

Основні реакції



При малих концентраціях MgCl_2 реакції з $\text{Ca}(\text{OH})_2$ відбуваються на поверхні бетону (швидкість дифузії $\text{Ca}(\text{OH})_2$ з внутрішніх шарів бетону достатня для компенсації витраченого на реакцію із солями). Виділення $\text{Mg}(\text{OH})_2$ приводить до утворення плівки та деякого ущільнення поверхні – уповільнення подальшого проникнення агресивної речовини.

У разі тривалої взаємодії з такими розчинами у внутрішніх шарах бетону розвивається корозія I виду (винесення $\text{Ca}(\text{OH})_2$). При значних концентраціях MgCl_2 кількості $\text{Ca}(\text{OH})_2$ для нейтралізації недостатньо – розчин дифундує вглиб бетону, викликаючи його об'ємне пошкодження.

При дії MgSO_4 залежно від концентрації, поверхні взаємодії та кількості розчину можливе відкладення гіпсу у формі осаду $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (корозія III виду – збільшення об'єму продуктів реакцій; накопичення відкладів обмежується внаслідок високої розчинності гіпсу в морській воді) та утворення у твердій фазі $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – аморфних мас.

Заходи захисту бетону при корозії II виду:

- вибір в'язучого (спеціальні цементи, полімербетони);
- підвищення щільності бетону;
- влаштування ізоляційних покриттів та футеровок.

2.3.3. Корозія бетону III виду при дії водних розчинів

Особливості корозії бетону III виду. Основна ознака: накопичення в порах і капілярах бетону солей з подальшою їх кристалізацією – збільшення об'єму твердої фази – виникнення значних напружень розтягу в стінках пор та капілярів – руйнування структурних елементів – зниження міцності, утворення тріщин та руйнування бетону (рис. 2.9).

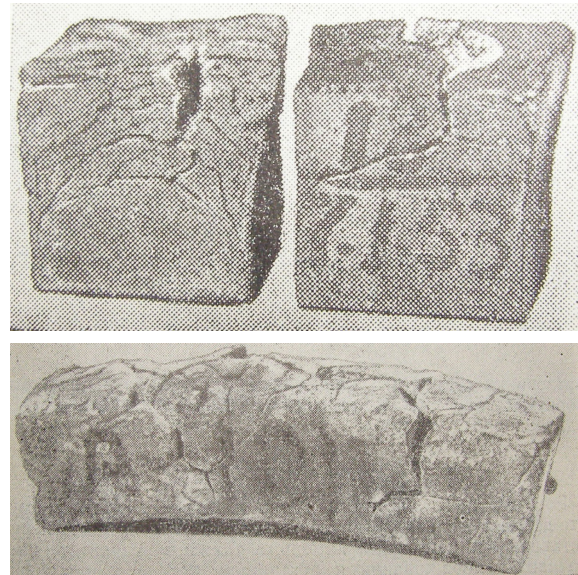


Рис. 2.9. Пошкодження зразків бетону внаслідок корозії III виду

Утворення солей відбувається:

- а) у результаті хімічних реакцій агресивного середовища зі складовими цементного каменю (сульфатна корозія, рис. 2.10, а);
- б) внаслідок принесення ззовні та виділення з розчинів під час поступового випаровування води (сольова корозія, рис. 2.10, б).

У разі повільного перебігу корозійних процесів, що супроводжується поступовим заповненням пор і пустот у цементному камені кристалічними новоутвореннями, може спостерігатися деяке підвищення міцності бетону, і це може ускладнювати виявлення корозії на початкових стадіях.

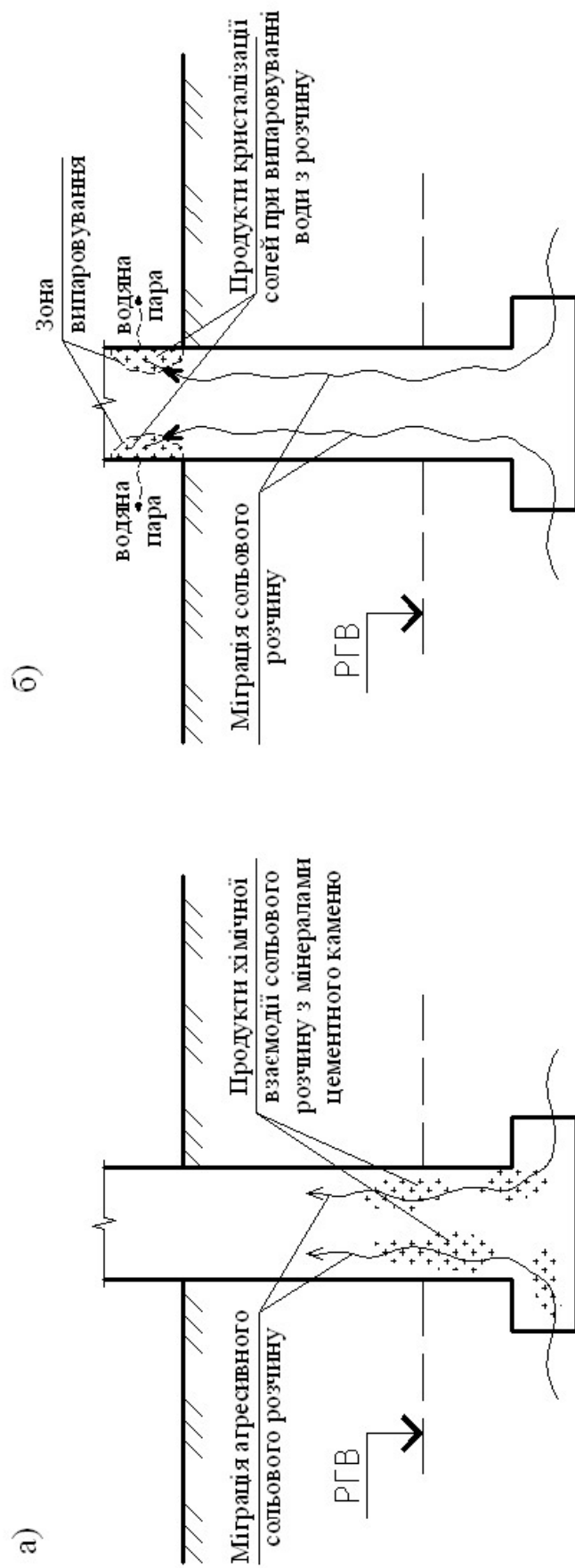


Рис. 2.10. Основні механізми корозії ІІІ виду:

а – сульфатна корозія; б – сольова корозія

Тільки після виникнення значних розтягувальних зусиль у стінках пор та капілярів з продовженням зростання кристалів відбувається руйнування структурних елементів цементного каменю – різкий спад міцності.

Корозія III виду може виникати в таких умовах роботи конструкцій:

а) постійне занурення в агресивний розчин – переміщення агресивного компонента в порах здійснюється за рахунок дифузії (корозія відбувається за рахунок хімічної взаємодії речовин середовища з компонентами цементного каменю);

б) постійне часткове занурення й періодичне насичення агресивним розчином – основний вплив на рух розчинів у порах має характеристика поверхні випаровування (хімічний вплив агресивного середовища може не мати суттєвого значення для швидкості корозійного процесу).

Інтенсивність корозійного процесу залежить від кінетики проникнення агресивного компонента в бетон, що при частковому зануренні визначається інтенсивністю випаровування води та капілярною проникністю бетону.

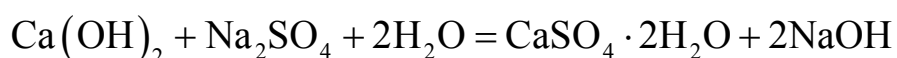
В умовах періодичного насичення розчином і висушування, а також у разі часткового занурення можливе утворення в порах бетону більш концентрованих розчинів солей, що посилює їхню фізико-хімічну взаємодію з цементним каменем (ступінь агресивності).

Механізми перебігу корозії III виду

Сульфатна корозія. Найбільш поширеним типом корозії III виду є сульфатна корозія, оскільки сульфати містяться в промислових та в більшості природних вод. У природних водах найчастіше трапляються CaSO_4 , Na_2SO_4 , MgSO_4 .

Аніон SO_4^{2-} – головний реагуючий компонент агресивного сульфатного середовища.

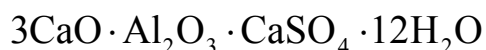
Різновидами сульфатної корозії є гіпсова та сульфоалюмінатна корозія. При дії на бетон водних розчинів зі значним вмістом Na_2SO_4 , K_2SO_4 виникає переважно гіпсова корозія з відкладенням у порах та капілярах бетону двоводного гіпсу $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$:



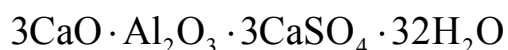
Іони SO_4^{2-} , проникаючи вглиб структури, взаємодіють з гідроалюмінатами кальцію, утворюючи гідросульфоалюмінати кальцію (ГСАК), і виникає сульфоалюмінатна корозія.

Залежно від умов і кількості сульфат-іона у водному розчині можливе утворення двох модифікацій:

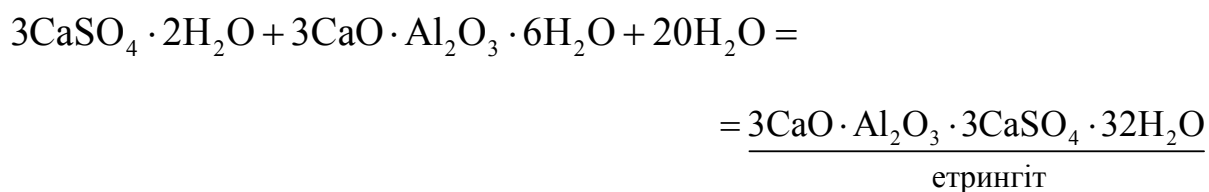
- моноссульфатний гідросульфоалюмінат



- трисульфатний гідросульфоалюмінат



Значний вплив на розвиток корозії має утворення трисульфатного гідросульфоалюмінату (ГСАК-3) – еtringіту, що відбувається за такою схемою:



Утворення еtringіту викликає збільшення продуктів реакції у 2,06 раза порівняно з об'ємом вихідних речовин, або в 5,1 раза порівняно з об'ємом трикальцієвого алюмінату (C_3A).

Необхідно звернути увагу, що еtringіт утворюється тільки за наявності чотири- або трикальцієвого алюмінату, стійкого при концентрації $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в навколишньому водному розчині відповідно не нижче ніж 1,08 і 0,40...0,46 г/л (на CaO). При нижчих концентраціях $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в розчині вони розкладаються, утворюючи двокальцієвий гідроалюмінат. При цьому виключається й утворення еtringіту. Цим пояснюється захисна дія активних мінеральних домішок – зниження концентрації CaO з 1,2...1,3 до 0,6...0,8 г/л.

Сольова корозія. Як вказувалося вище, сольова корозія може виникати внаслідок утворення в порах бетону солей, виділених з принесених іззовні розчинів у разі поступового випаровування води.

Необхідною передумовою виникнення сольової корозії є наявність поверхні випаровування сольового розчину (рис. 2.11).

У разі нагромадження солі в порах може створюватись кристалізаційний тиск, який за певних умов перевищує міцність матеріалу на розтяг, що призводить до виникнення тріщин і руйнування матеріалу.

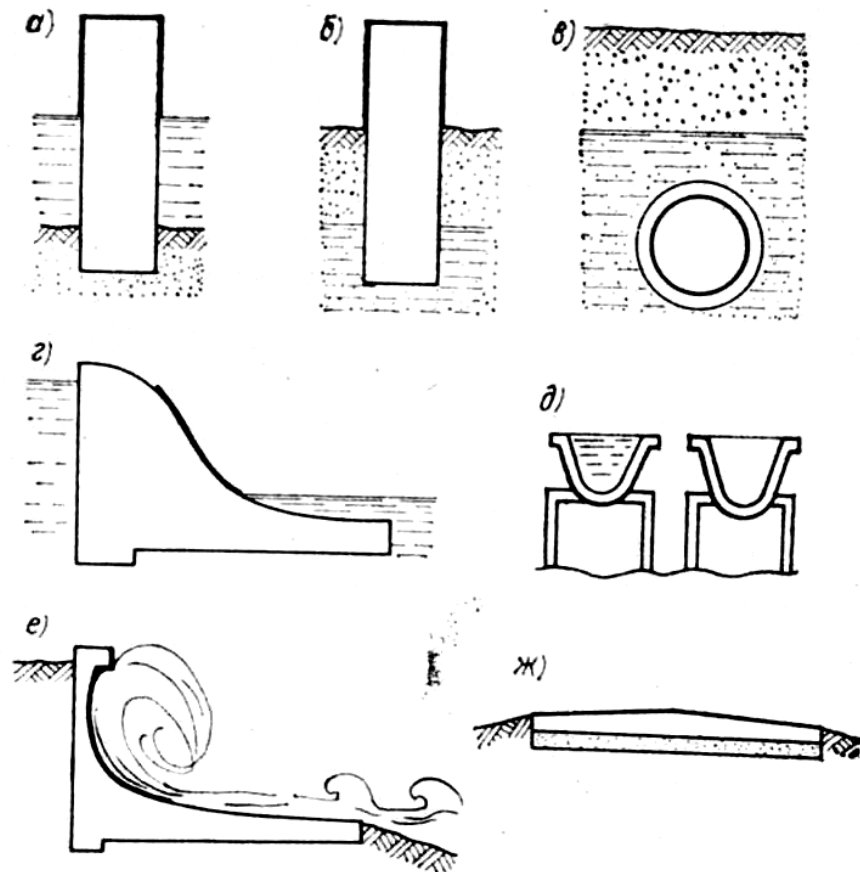


Рис. 2.11. Умови корозії конструкцій за наявності поверхні випаровування:

- а* – часткове занурення конструкції в агресивний розчин; *б* – те саме, але між поверхнями є ізоляція; *в* – постійна напірна дія розчину з однієї сторони з випаровуванням в замкнутому об'ємі з іншої; *г* – те саме, але поверхня випаровування відкрита; *д* – періодичне почергове насичення розчином і висихання; *е, ж* – періодичне зволоження поверхні й висихання

Основною причиною руйнування бетону при сольовій корозії вважається збільшення об'єму солей при фазовому переході від безводних чи маловодних форм до форм, що містять значні кількості кристалізаційної води (табл. 2.1). Тобто небезпечною для стійкості бетону є не просто кристалізація солі, а утворення кристалогідратів зі збільшенням об'єму твердої фази.

Наприклад, пори бетону заповнилися безводним сульфатом натрію (Na_2SO_4) при температурі вище ніж $32,3^\circ\text{C}$. Подальше зволоження відкладених солей при нижчій температурі призведе до їх переходу в кристалогідрат $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ зі збільшенням об'єму більш ніж у 3 рази порівняно з об'ємом вихідної безводної солі.

Таблиця 2.1

Збільшення об'єму при утворенні кристалогідратів

Вихідна сіль	Кристалогідрат	Температура переходу, $^\circ\text{C}$	Збільшення об'єму, %
NaCl	$\text{Na}_2\text{Cl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,15	130
Na_2SO_4	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	32,3	311
$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	73	145
$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	47	11
Na_2CO_3	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	33	148

На інтенсивність сольової корозії (утворення солей при випаровуванні з розчинів) мають вплив такі фактори:

а) площа поверхні конструкції, що розташована на повітрі (площа висихання);

б) відстань від рівня агресивного розчину до відкритої поверхні;

в) зовнішні умови (температура та вологість повітря).

Особливості корозійного процесу залежать від співвідношення вологопровідності бетону та інтенсивності випаровування на відкритій поверхні.

Для прогнозування терміну служби або встановлення причин пошкодження конструкції необхідно правильно оцінити механізм взаємодії конструкції із середовищем. На прикладі рис. 2.12 видно, що міграція одних і тих самих розчинів через бетон конструкції може спричинювати пошкодження (руйнування) за різними механізмами залежно від умов середовища (наприклад, вологості ϕ).

Схема рис. 2.12, а: вологопровідність бетону більша ніж інтенсивність випаровування (висока вологість середовища $\phi \sim 90\%$). Розчин до поверхні випаровування надходить без зміни концентрації — усі солі виділяються на поверхні бетону після випаровування води.

У випадку хімічної агресивності солей до бетону можлива корозія I або II виду. Сольова корозія не виникає.

Схема рис. 2.12, б: інтенсивність випаровування висока, випаровування починається вглибині бетону (низька вологість середовища $\phi \sim 40\%$). Випаровування починається вглибині, у разі перенасичення розчинів солі будуть виділятися з розчину на деякій відстані від відкритої поверхні, поступово накопичуватись і руйнувати верхневий шар бетону.

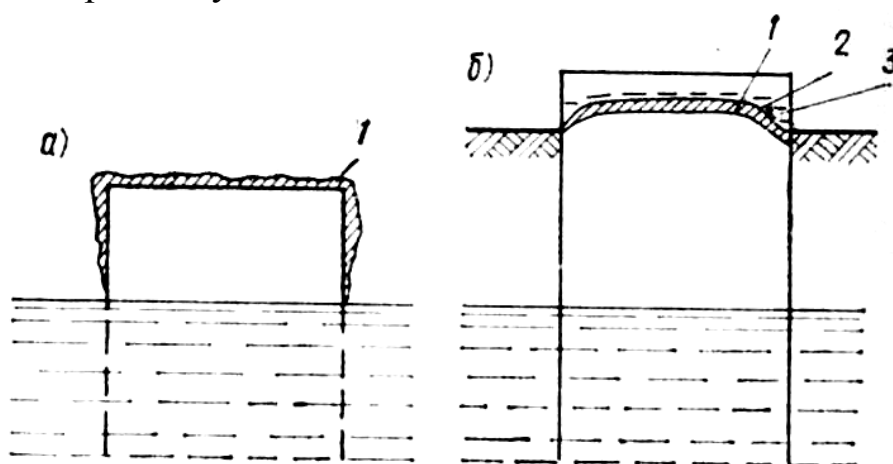


Рис. 2.12. Схеми корозійних процесів при міграції сольових розчинів:

1 – відклади солей; 2 – фронт випаровування; 3 – тріщини

Лужна корозія заповнювачів. За механізмом корозії III виду відбувається також корозія бетону в результаті взаємодії лугів цементу із заповнювачами деяких порід, що містять форми активного аморфного кремнезему (SiO_2): опал, халцедон, вулканічне скло та ін.

Наслідком такої взаємодії є збільшення об'єму продуктів реакцій.

Основні заходи запобігання лужній корозії: контроль вмісту активного кремнезему в заповнювачах і лугів у цементі, введення в склад цементу активних мінеральних домішок (10...15 %), обмеження застосування корозійно небезпечних заповнювачів.

Заходи з підвищення стійкості бетону при корозії III виду:

1. Використання сульфатостійких цементів з обмеженим вмістом трикальцієвого алюмінату C_3A та $\text{C}_3\text{A} + \text{C}_4\text{AF}$. Захід ефективний для випадку утворення солей (етрингіту) внаслідок хімічної взаємодії речовин середовища з компонентами цементного каменю. За наявності умов для перебігу сольової корозії (утворення солей під час

випаровування з розчинів) використання сульфатостійких цементів як засобу захисту є неефективним.

2. Улаштування гідроізоляційних прошарків на шляху можливого руху сольових розчинів. Захід дозволяє зупинити міграцію розчинів до поверхні випаровування.

3. Підвищення щільності бетону (зниження В/Ц, зменшення пористості підбором гранулометричного складу, ефективне ущільнення).

2.4. Газова корозія бетону

Особливості газової корозії бетонних та залізобетонних конструкцій. За суттю елементарних процесів корозія бетону в газових середовищах не відрізняється від корозії в рідинах, оскільки хімічні реакції між кислими газами й мінералами цементного каменю відбуваються в плівках води. Газ повинен розчинитись, перш ніж зможе вступити в реакцію. Тобто в умовному елементарному об'ємі, що включає порову рідину з розчиненим агресивним газом і цементний камінь, відбуваються процеси, подібні до корозії у водних розчинах (рис. 2.13).

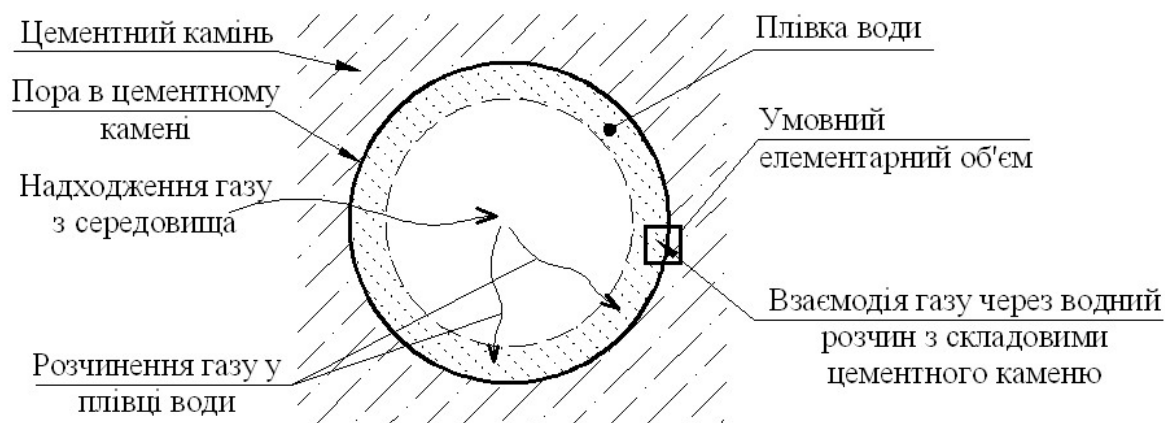


Рис. 2.13. Схема взаємодії при газовій корозії бетону

За відсутності води хімічна взаємодія цементного каменю з газами практично не відбувається, але на практиці в повітрі практично завжди наявна водяна пара певної концентрації (тиску). При підвищеній відносній вологості повітря агресивні гази розчиняються

й утворюють розчини, які хімічно взаємодіють з основними мінералами цементного каменю.

Зі збільшенням вологості газового середовища й цементного каменю швидкість хімічної взаємодії газів з бетоном збільшується: у поровій воді розчиняється більша кількість газу, проте одночасно із заповненням пор і капілярів вологою зменшується проникність бетону для газу. Це сповільнює переміщення агресивної речовини всередину бетону, а значить і швидкість корозійного процесу.

Заміна дифузії газу на дифузію в рідкій фазі може знизити швидкість корозії бетону. Подібна залежність швидкості корозії бетону від вологості спостерігається при карбонізації бетону під час взаємодії з вуглекислим газом. При дії газів, що утворюють сильні кислоти (сірчану, соляну), з підвищенням вологості середовища швидкість корозії бетону, як правило, збільшується.

В агресивних газових середовищах з невисокою концентрацією газів швидкості корозійних процесів у бетонах невисокі. Проте взаємодію бетону з газами необхідно враховувати при прогнозуванні довговічності залізобетонних конструкцій за ознакою збереження арматури.

В умовах високої вологості середовища й можливості виносу утворених солей з бетону, наприклад при періодичному омиванні конструкції або утворенні конденсату на поверхні бетону, газову корозію важко відрізнити від корозії II і III виду в рідких середовищах, що призводить до повного розкладання основних мінералів цементного каменю з утворенням кислих солей і пошаровим руйнуванням бетону.

Ступінь агресивності газових середовищ. Величина агресивного впливу на бетонні й залізобетонні конструкції визначається для газових середовищ видом і концентрацією газів, розчинністю їх у воді, вологістю й температурою середовища.

Ступені агресивного впливу газоподібних середовищ на конструкції з бетону та залізобетону та групи агресивних газів залежно від їх виду й концентрації встановлюються ДСТУ Б В.2.6-145:2010 й наведено в табл. 2.2 і 2.3.

Оцінюючи ступінь агресивності атмосфери при нормальній експлуатації споруд, у багатьох випадках можна виходити з допустимого за санітарними нормами вмісту в повітрі деяких газів – гранично

допустимі концентрації (ГДК). За таких умов (дотримання норм ГДК) руйнівний вплив газової корозії на конструкції промислових підприємств виявляється тільки протягом достатньо тривалого часу.

Таблиця 2.2

Класифікація агресивних газових середовищ

Вологісний режим приміщень / Зона вологості (згідно з ДБН В.2.6-31)	Група газів	Ступінь агресивного впливу газоподібних середовищ на конструкції	
		з бетону	із залізобетону
Сухий / Суха ($W < 60 \%$)	A	Неагресивний	Неагресивний
	B		Те саме
	C		Слабоагресивний
	D		Середньоагресивний
Нормальний / Нормальна ($W = 61 \dots 75 \%$)	A	Неагресивний	Неагресивний
	B	Те саме	Слабоагресивний
	C	»	Середньоагресивний
	D	Слабоагресивний	Сильноагресивний
Вологий або мокрий / Волога ($W > 75 \%$)	A	Неагресивний	Слабоагресивний
	B	Те саме	Середньоагресивний
	C	Слабоагресивний	Сильноагресивний
	D	Середньоагресивний	Те саме

Таблиця 2.3

Групи агресивних газів залежно від їх виду й концентрації

Назва	Концентрація, мг/м^3 , для груп газів			
	A	B	C	D
Вуглекислий газ	До 2 000	Понад 2 000	—	—
Аміак	До 0,2	Понад 0,2 до 20	Понад 20	—
Сірчаний ангідрид	До 0,5	» 0,5 » 10	Понад 10 до 200	Понад 200 до 1000
Фтористий водень	До 0,05	» 0,05 » 5	» 5 » 10	» 10 » 100

Назва	Концентрація, мг/м ³ , для груп газів			
	А	В	С	Д
Сірководень	До 0,01	» 0,01 » 5	» 5 » 100	Понад 100
Оксиди азоту	До 0,1	» 0,1 » 5	» 5 » 25	Понад 25 до 100
Хлор	До 0,1	» 0,1 » 1	» 1 » 5	» 5 » 10
Хлористий водень	До 0,05	» 0,05 » 5	» 5 » 10	» 10 » 100

Проте варто враховувати, що норми ГДК, як правило, поширюються на місця перебування та робочі місця обслуговуючого персоналу. Тому в будівлях та спорудах може бути достатньо велика кількість ділянок, де відповідальні конструкції експлуатуються в газових середовищах підвищених концентрацій (з перевищенням норм ГДК). Наприклад, під покриттями промислових цехів концентрації агресивних газів можуть у декілька разів перевищувати ГДК. Особлива увага приділяється вентиляційним та димовим трубам, через які викидаються газоподібні продукти.

Для індустріальних районів варто враховувати розташування споруди відносно джерела виділення газів, напрямок переважаючих вітрів, відстань від джерела та вид агресивного впливу.

Ступінь хімічної агресивності повітряного середовища потрібно оцінювати окремо для бетону й для арматури. Газоповітряне середовище звичайно більш агресивне стосовно залізобетонних конструкцій.

У підземних умовах, окремих спорудах або на територіях деяких промислових підприємств підвищення вмісту агресивних газів у повітрі досягає таких значень, що може виявитися небезпечним не тільки для арматури в бетоні, але й для самого бетону. Характерний приклад – газова корозія трубопроводів та колекторів системи водовідведення, які експлуатуються при практично 100 %-й вологості та значних концентраціях газів (рис. 2.14).

Відповідно до ДСТУ Б В.2.6-145:2010 газове середовище колектора системи водовідведення (при типових концентраціях найбільш агресивного газу – сірководню до 35 мг/м³) в умовах підвищеної вологості за ступенем агресивного впливу на конструкцію із залізобетону є сильноагресивним (див. табл. 2.1, 2.2). За деякими даними

втрати бетонних обробок колекторів системи водовідведення внаслідок газової корозії можуть становити близько 10 мм/рік, а в деяких випадках і до 20 мм/рік.

З підвищенням температури ступінь агресивного впливу середовища збільшується.



Рис. 2.14. Газова корозія бетону трубопроводу системи водовідведення

Механізми дії агресивних газів стосовно бетонних та залізобетонних конструкцій. Під час взаємодії газів з бетоном утворюються солі кальцію. Найбільш істотно на властивості нейтралізованого бетону впливають розчинність і гігроскопічність утворених солей, об'єм новоутворень відносно вихідних мінералів, агресивність солі до сталевих арматур.

За властивостями утворених під час взаємодії солей газів поділяють на три групи.

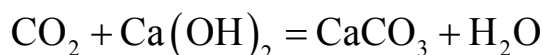
Перша група: газів, які утворюють практично нерозчинні й малорозчинні солі кальцію (як правило, не містять кристалізаційної води або містять незначну її кількість).

Об'єм твердих фаз у цементному камені в більшості випадків незначно збільшується, відбувається певне ущільнення структури цементного каменю й зменшення його проникності. При великих концентраціях газів може спостерігатися незначне поверхневе пошкодження бетону. Мала розчинність цих солей практично виключає їх дифузію вглиб бетону.

Пошкодження залізобетонних конструкцій при дії газів першої групи настає внаслідок корозії арматури після нейтралізації захисного шару бетону.

До газів цієї групи належать двоокис вуглецю (CO_2), фтористий водень (HF), фтористий кремній (SiF_4), пари щавлевої кислоти.

Характерний приклад – карбонізація бетону вуглекислим газом (CO_2):



Наслідок – втрата бетоном здатності пасивувати сталь, яка переходить в активний стан і починає кородувати. Середня швидкість карбонізації становить 2 мм/рік.

Найбільша швидкість карбонізації бетону спостерігається за відносної вологості повітря 50–60 %, коли плівкової вологи в порах достатньо для реакції і в той же час пори не заповнені водою. За відносної вологості повітря 25 % карбонізація практично припиняється через недостатню кількість вологи в бетоні. Те саме маємо, якщо відносна вологість близька до 100 %, коли в мікропорах відбувається капілярна конденсація водяної пари і їх дифузійна проникність знижується на кілька порядків.

Характерною рисою дії CO_2 на бетон є те, що на відміну від впливу деяких інших кислих газів і рідин не виникає руйнування структури бетону, хоча при карбонізації об'єм твердої фази може збільшуватися на 17 % відносно початкового об'єму $\text{Ca}(\text{OH})_2$, що приводить до деякого ущільнення структури бетону.

Друга група: гази, які утворюють слабозчинні солі з вмістом значної кількості кристалізаційної води.

Внаслідок відносно невеликої розчинності та ущільнення структури бетону продуктами взаємодій, дифузія солей із зони реакції вглибину бетону незначна.

Значне збільшення об'єму при утворенні кристалогідратів викликає розтріскування й руйнування поверхневого шару бетону (рис. 2.15). Спостерігається добре виражене пошарове руйнування бетону (лущення).

До другої групи належать сірчистий і сірчаний ангідрид, сірководень (SO_2 , SO_3 , H_2S). При дії цих газів основним продуктом реакції

є гіпс (збільшення об'єму у 2,2 раза порівняно з об'ємом $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при дії SO_2).

Залізобетонні конструкції в присутності газів другої групи пошкоджуються також внаслідок корозії сталевих арматур після нейтралізації бетону захисного шару. Зі збільшенням вологості середовища швидкість корозійного процесу зростає.



Рис. 2.15. Пошкодження поверхневого шару бетону (лушення)

Третя група: гази, які утворюють добре розчинні гігроскопічні солі.

За підвищеної вологості повітря гігроскопічні солі, поглинаючи водяну пару, утворюють розчини, які за рахунок капілярного всмоктування й дифузії здатні проникати вглиб бетону. Утворені солі можуть бути агресивними або нейтральними до арматури, тому гази цієї групи поділяють на дві підгрупи:

а) гази, що утворюють солі, здатні вже в малій концентрації викликати корозію сталі в рідкій фазі бетону, яка має лужну реакцію (до нейтралізації захисного шару). До них належать галогеновмісні гази – хлористий водень, хлор, двоокис хлору, а також пари бромоводню та йоду, монохлороцтової кислоти.

б) гази, які дають добре розчинні кальцієві солі, не викликають корозії сталі в лужному середовищі бетону – окисли азоту, пари азотної кислоти та деякі інші.

При достатній кількості вологи газова корозія переходить у рідинну з повним розкладанням основних з'єднань цементного каменю (гідросилікатів і гідроалюмінатів кальцію) та пошаровим руйнуванням бетону.

При дії HCl та накопиченні в зоні розташування арматури хлор-іонів відбувається руйнування бетону захисного шару внаслідок внутрішнього тиску продуктів корозії арматури на бетон.

Захист від агресивних газових середовищ. Як захист від агресивних газових середовищ можуть застосовуватися такі заходи:

- підбір матеріалів, стійких до відповідних впливів;
- використання ізоляції.

2.5. Органогенна корозія бетону

Особливості органогенної корозії бетону. Крім неорганічних корозійних середовищ, велику руйнівну дію на бетон і залізобетонні конструкції мають тваринні й рослинні мікро- і макроорганізми та їхні похідні – органогенні агресивні середовища. Таке руйнування матеріалів відносять до корозії біогенного походження й називають біопшкодженнями (біодеструкцією) або органогенною корозією.

Виходячи з умов розвитку процесів біокорозії, викликаних життєдіяльністю біологічних організмів, варто розрізняти два основних випадки, які необхідно враховувати й при розробці заходів захисту конструкцій.

У першому біоорганізми – тварини, рослини, найчастіше мікроорганізми – перебувають у безпосередньому контакті із зовнішньою або внутрішньою (для пористих матеріалів) поверхнею конструкції й у процесі метаболізму взаємодіють з матеріалом, що спричинює зниження міцності або погіршення інших експлуатаційних якостей матеріалу, тобто відбувається пошкодження матеріалу та скорочення термінів його експлуатаційної придатності.

У другому випадку біоорганізми безпосередньо з цією конструкцією не пов'язані, але є джерелом речовин, агресивних до матеріалу конструкції. Як правило, бетон конструкцій руйнується внаслідок хімічних реакцій між цементним каменем і продуктами життєдіяльності біологічних організмів, чому значно сприяє пориста структура бетону.

В окремих випадках взаємодія біологічних організмів та матеріалів будівельних конструкцій може мати позитивні наслідки. Розвиток на поверхні конструкцій у процесі експлуатації обростань з рослинних і тваринних організмів (на морських спорудах) може виконувати функцію захисту від шкідливих впливів середовища, перешкоджаючи доступу до поверхні бетону агресивних компонентів морської води та знижуючи інтенсивність температурних впливів на бетон.

Для конкретизації джерел деструкції запропоновано таку класифікацію пошкоджень: бактеріодеструкція (пошкодження матеріалу бактеріями), мікодеструкція (грибами), альгодеструкція (водоростями), ліхенодеструкція (лишайниками), гербодеструкція (вищими рослинами).

Інтенсивність процесів біопошкодження залежить від факторів, які впливають на масу, рід, вид та інтенсивність життєдіяльності організмів. Кінетика біокорозії визначається швидкістю розвитку біомаси, що продукує кислоту, і безпосередньо кінетикою кислотної корозії.

Агресивні мікробіологічні впливи. Для оцінки умов, сприятливих для життєдіяльності та характеру впливу на матеріал конструкції, мікроорганізми (бактерії) класифікують:

1. За участю зовнішніх продуктів у їхній життєдіяльності:

а) автотрофні – не потребують для свого розвитку органічних речовин (тіонові);

б) гетеротрофні – використовують для синтезу кліткових компонентів органічні сполуки;

в) аеробні – для розвитку бактерій потрібен доступ вільного кисню (тіонові);

г) анаеробні – розвиваються й за відсутності кисню (сульфатредукуючі).

Анаеробна корозія завдає величезних збитків нафтогазовій промисловості (трубопроводи, нафтопромислове обладнання, споруди для

зберігання й транспортування нафтопродуктів), морським спорудам і т. д. Основні збудники анаеробної корозії – сульфатредуючі бактерії, відповідальні за відновлення сульфатів до сірководню. Тіонові бактерії розвиваються тільки в умовах аерації, тобто належать до аеробних. За деякими оцінками, насичення ґрунтів різноманітними відходами життєдіяльності людини призводить до активного розвитку колоній мікроорганізмів на значних глибинах – загроза корозії для підземних елементів споруд.

2. За механізмом дії:

а) сульфат-редуючі – відновлюють сульфати з мінералів та органічних речовин до сірководню (H_2S). Для повністю занурених елементів вода, мінералізована H_2S , не має значної агресивності, більш небезпечними є газоповітряні середовища з великими концентраціями;

б) тіонові – окиснюють сполуки сірки (H_2S) до сірчаної кислоти;

в) нітрифікуючі – окиснення сполук азоту (аміаку) до азотної кислоти;

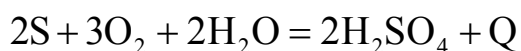
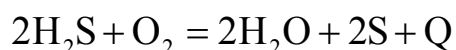
г) денітрифікуючі – аміак;

д) вуглеводоокисні – розкладають частину органічної речовини до H_2O та CO_2 .

З виділенням у процесі життєдіяльності мікроорганізмами мінеральних (H_2SO_4 , HNO_3 , H_2S , H_2SO_3) або органічних кислот (винної, лимонної, молочної, оцтової та ін.) розвивається корозія бетону II виду.

Характерним прикладом органогенної корозії є механізм біопошкодження бетонних каналізаційних колекторів (рис. 2.16). У присутності органічних речовин за анаеробних умов у стічних водах розвиваються сульфатредуючі бактерії, що відновлюють сірку з різних її сполук до сірководню. Утворений сірководень виділяється з води й розчиняється в плівці конденсату на поверхні склепіння колектора. Тут в умовах достатньої аерації перетворюється тіоновими бактеріями в сірчану кислоту, що викликає руйнування цементного каменю.

Реакції відбуваються за такими схемами:



Залежно від концентрації сірководню, що в спорудах системи водовідведення становить від одиниць до сотень міліграмів на кубометр повітря, утворюється кислота різної концентрації. На найбільш небезпечних ділянках концентрація сірчаної кислоти досягає 5 %, а рН вологи на поверхні конструкції має значення 1–2. У таких умовах бетон руйнується зі швидкістю, що досягає 1...2 см/рік.

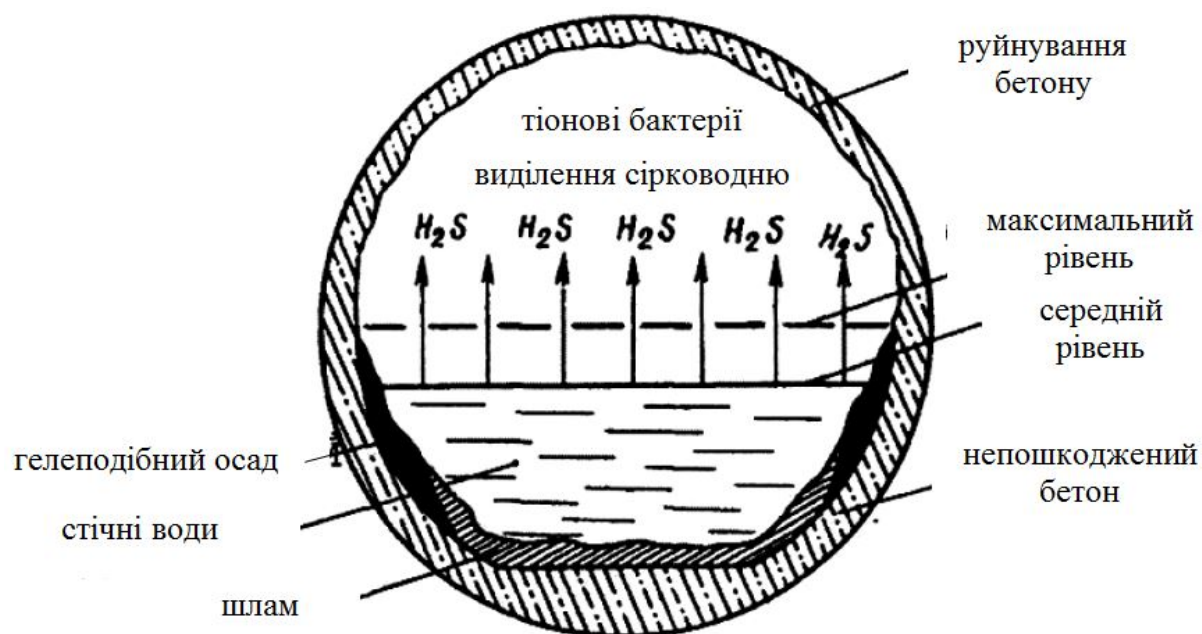


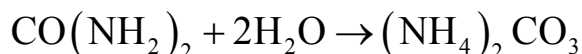
Рис. 2.16. Схема мікробіологічної корозії бетону каналізаційного колектора [29]

Наслідки пошкодження бетону трубопроводу системи водовідведення сумісним впливом мікробіологічної та газової корозії були наведені вище на рис. 2.14.

Мікробіологічні процеси, що призводять до корозії бетону, можуть виникати в промислових спорудах за умов накопичення в поверхневому шарі бетону органічних продуктів, які використовуються в технологічному процесі (наприклад, цукор, жири, білкова продукція і т. д.) і є поживним середовищем для мікроорганізмів. На хлібопекарських підприємствах може спостерігатись органогенна корозія, викликана осіданням на поверхні будівельних конструкцій борошняного пилу, що адсорбує вологу.

Інтенсивному впливу органічних сполук піддаються конструкції об'єктів сільськогосподарського призначення та переробної галузі. Наприклад, за наявності в середовищі експлуатації конструкції

сечовини ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), яка під впливом гнилісних бактерій гідролізується з утворенням аміачних солей



Розкладаючись, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ дає аміак та вуглекислоту:



Агресивні впливи органічного походження. Агресивним впливом на бетон конструкцій характеризується життєдіяльність багатьох організмів.

Плісєневі гриби. Пошкодження бетону плісєневими грибами (рис. 2.17) характерні для внутрішніх поверхонь в умовах підвищеної вологості – часткове руйнування поверхонь бетону внаслідок виділення грибами органічних кислот (лимонної, щавлевої), а також механічної дії грибів у капілярах бетону.

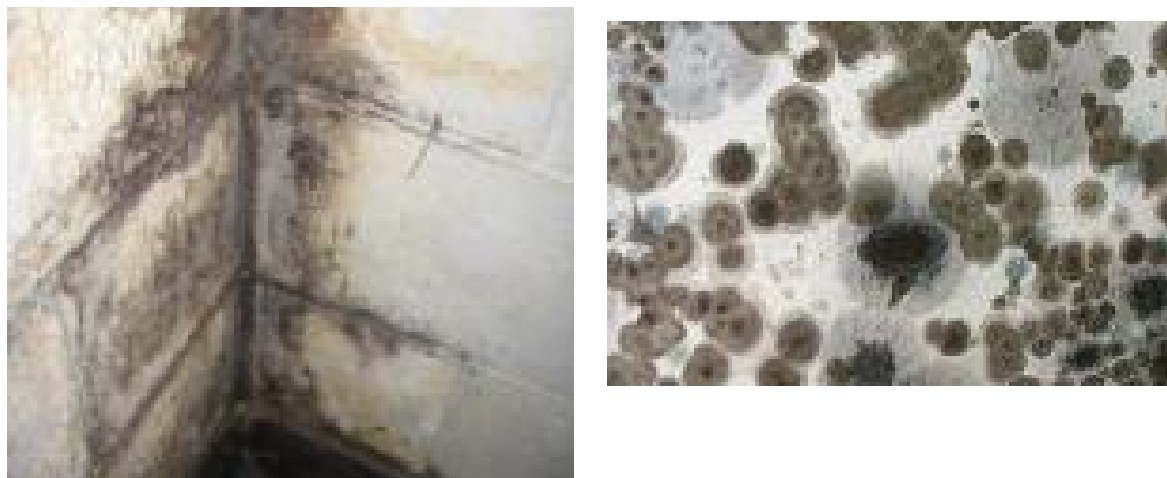


Рис. 2.17. Ураження поверхні конструкції плісєневими грибами

Молюски та водорості. Морські гідротехнічні споруди із залізо-бетону піддаються інтенсивному обростанню з поверхневим руйнуванням. Молюски та водорості, виділяючи органічні кислоти та впливаючи механічно, «вкорінюються» в бетон на глибину до 70 мм, утворюючи сітку каналів. При цьому зростає проникність та

знижується міцність поверхневого шару або, в разі значного діаметра каналів (до 10 мм), втрачається частина робочого перерізу елемента.

Певні кліматичні умови сприятливі для життєдіяльності окремих видів молюсків – каменеточців (рис. 2.18). Каменеточці – група морських двостулкових молюсків, здатних проточувати ходи у твердих породах. Мають міцну, складної форми раковину, покриту шипами та ребрами, завдяки якій вони здатні механічним тертям свердлити основу. Можуть заподіювати значної шкоди конструкціям прибережних гідротехнічних споруд.

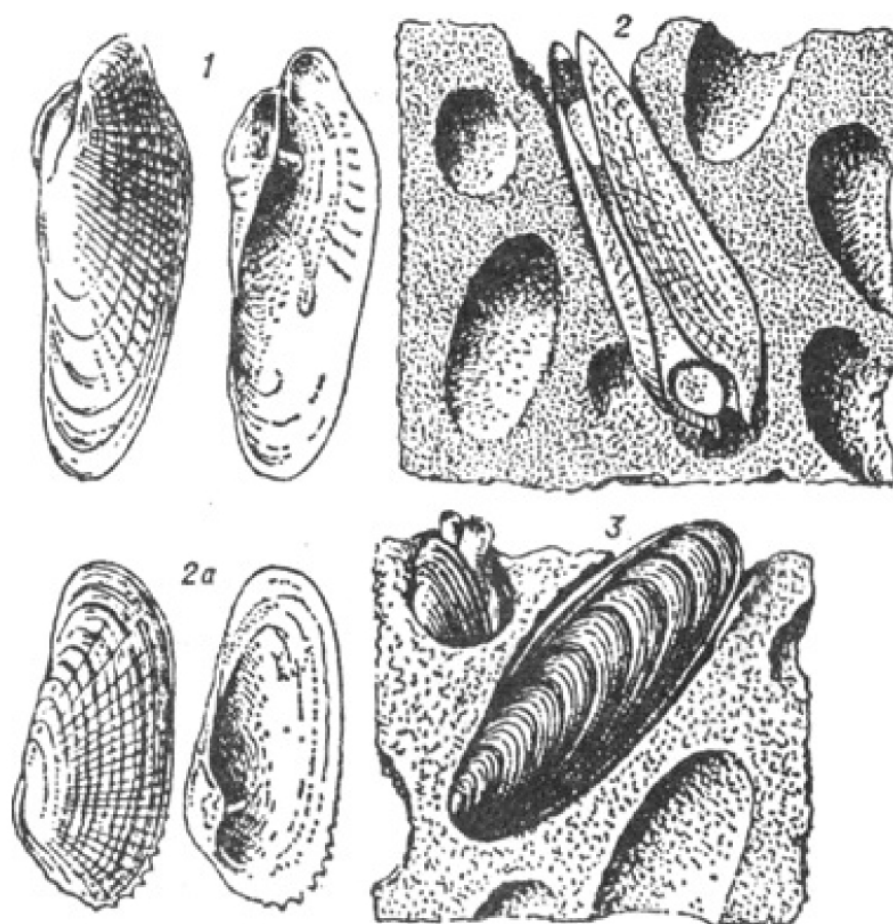


Рис. 2.18. Пошкодження бетону морських гідротехнічних споруд
молюсками-каменеточцями

Пошкодження бетону конструкцій водоростями може спостерігатись на гідротехнічних та інших спорудах. Наприклад, інтенсивно обростати водоростями може внутрішня поверхня градижень (рис. 2.19), оскільки умови експлуатації, як правило, сприятливі для

життєдіяльності багатьох їх видів. Винятком є експлуатація з випуском димного газу.

Продукти обміну речовин водоростей осідають як на поверхні бетону, так і на поверхні захисного полімерного покриття. Інколи може спостерігатися таке явище: при технологічних паузах водорості без вологи гинуть і, висихаючи, зменшуються в об'ємі, їх висока адгезія до поверхні викликає високий рівень дотичних напружень у поверхневому шарі бетону (покриття) та можливе відшарування (рис. 2.20).



Рис. 2.19. Обростання внутрішньої поверхні градирні водоростями



Рис. 2.20. Відшарування поверхневого шару цементного каменю внаслідок впливу водоростей

Лишайники. Лишайники (рис. 2.21) складаються з гриба й водорості, що утворюють разом єдине вегетативне тіло. Автотрофність водоростей забезпечує життєдіяльність лишайників без наявності органічних речовин при переробці вуглекислоти атмосфери.



Рис. 2.21. Лишайники на поверхні конструкції

Лишайники, проникаючи в матеріал на 1...10 мм, створюють великий тиск на стінки тріщин. При високій вологості інтенсивно всмоктують, при низькій – легко втрачають атмосферну вологу, періодично змінюючи свій об'єм.

Нерівномірність поширення лишайників на поверхні матеріалу викликає нерівномірне розігрівання ділянок, що призводить до температурних напружень і розтріскування поверхневого шару.

Захист бетону конструкцій від органічної корозії. Заходи захисту бетону конструкцій від органічної корозії здійснюються за такими напрямками.

1. Використання хімічного захисту у вигляді речовин-біоцидів, здатних запобігати розвитку, пригнічувати життєдіяльність або знищувати організми, які викликають пошкодження матеріалів.

Для захисту від бактерій застосовують бактерициди, від грибів – фунгіциди, водоростей – алгіциди, молюсків – молюскоциди, вищих рослин – гербіциди.

Захист конструкцій виконують такими способами:

- а) періодичною обробкою поверхні бетону розчинами препаратів-біоцидів;
- б) глибоким просоченням захисними засобами;
- в) введенням до складу бетону біоцидних добавок під час виготовлення конструкції.

2. Зміна умов розвитку мікроорганізмів (зниження вологості середовища й бетону, зокрема усунення конденсації вологи, протікання, виключення речовин для живлення мікроорганізмів, у тому числі вентиляцією споруд при виділенні сірководню, обробка стічних вод окисниками, зміна температурного режиму, підвищення вмісту кисню в стічних водах).

3. Використання засобів первинного й вторинного захисту від корозії II виду:

а) застосування для виготовлення бетону компонентів, стійких у відповідних агресивних середовищах;

б) зниження проникності бетону для бактерій, спор, грибів та збільшення його міцності (стійкості до механічної дії грибів у капілярах бетону);

в) нанесення на поверхню конструкції кислотостійких ізоляційних покриттів.

4. Запобігання можливості пошкодження підземних споруд (комунікаційних колекторів, колекторів стічних вод) коріннями рослин через видалення трав'янистих рослин, чагарників і дерев із зони розташування підземних споруд.

Ступені агресивного впливу біологічно активних середовищ встановлюються ДСТУ Б В.2.6-145:2010. Ступінь агресивного впливу на бетонні та залізобетонні конструкції грибів та тіонових бактерій залежить також від проникності бетону й знижується з підвищенням марки бетону за водонепроникністю.

За деякими даними, з багатьох існуючих методів захисту трубопроводів системи водовідведення від органічної корозії найбільш екологічно обґрунтованими є методи, пов'язані з аерацією стічних вод. При цьому створюються аеробні умови, за яких утворення сірководню стає неможливим.

Натурні випробування бетонів на різних цементних в'язучих у середовищах з високою концентрацією сірководню показали, що руйнування цементних бетонів, навіть особливо низької проникності, є досить швидким. Застосування в таких умовах біоцидних добавок, що пригнічували життєдіяльність тіонових бактерій, також не дало достатнього ефекту. Бажані результати було отримано в умовах застосування як захисту непроникних хімічно стійких полімерних матеріалів у вигляді плівок, товстошарових покриттів або конструкційних хімічно стійких матеріалів.

2.6. Руйнування бетону залізобетонних конструкцій внаслідок корозії арматури

2.6.1. Особливості пошкодження залізобетонної конструкції при корозії арматури

Як згадувалося вище, за деякими статистичними даними, корозія сталевий арматури з руйнуванням захисного шару бетону становить майже 60 % пошкоджень залізобетонних конструкцій.

Загальна схема механізму пошкодження залізобетонної конструкції в результаті корозії арматури наведена на рис. 2.22.

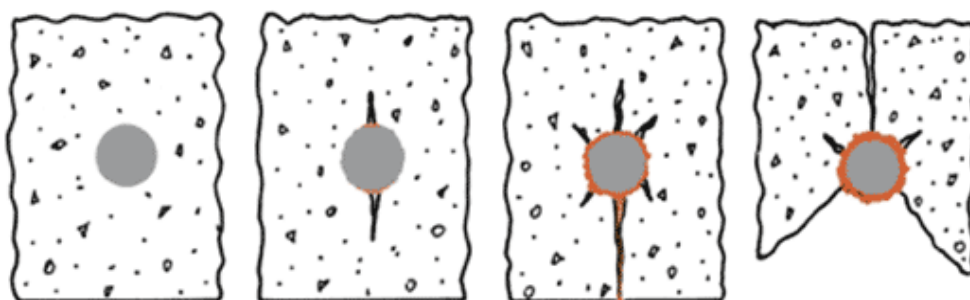


Рис. 2.22. Руйнування бетону захисного шару внаслідок корозії арматури

Характер пошкодження залізобетонної конструкції при корозії арматури зумовлюється такими процесами.

1. У ході корозійного процесу на поверхні арматурного стержня з'являються продукти корозії, що мають більший об'єм (приблизно у 3–4 рази) порівняно з початковим об'ємом сталі.

Оскільки арматура в залізобетонній конструкції з усіх сторін щільно оточена бетоном, розташування продуктів корозії зі збільшеним об'ємом викликає появу напружень розтягу в цементному камені й розривів структури (тріщин) при певному рівні напружень (міцність цементного каменю на розтяг є незначною). З накопиченням достатньої кількості продуктів корозії арматури вздовж арматурних стержнів утворюються характерні тріщини (рис. 2.23).

2. Поява тріщин вздовж арматурних стержнів прискорює корозію арматури (спрощується доступ до поверхні арматури вологи та агресивних речовин). Подальше накопичення продуктів корозії арматури призводить до повного руйнування (відриву) бетону захисного шару та оголення арматури (рис. 2.24).

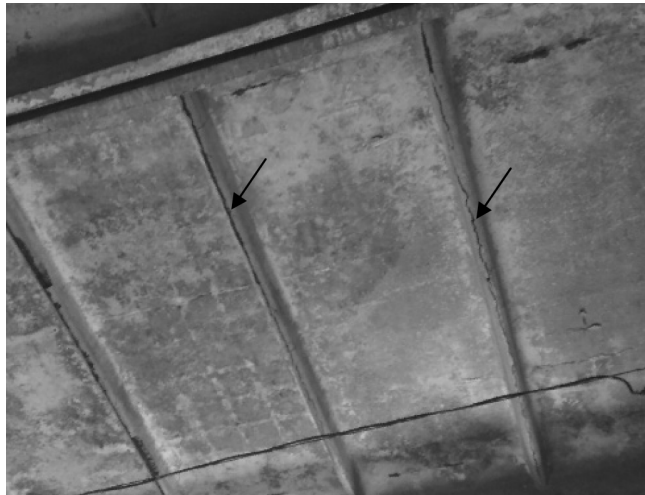


Рис. 2.23. Тріщини вздовж арматурних стержнів, викликані корозією арматури



Рис. 2.24. Руйнування бетону захисного шару та оголення арматури

3. Інтенсифікація корозії арматури (у сприятливих процесу корозії умовах^{*}) – зменшення площі перерізу арматури – зниження несучої здатності конструкції.

^{*} Далі буде показано, що однією з необхідних умов для корозії арматури є наявність плівки води на поверхні металу. Повністю оголені арматурні стержні в певних умовах можуть швидко висихати, що уповільнює процес корозії.

У більшості випадків інтенсивність пошкодження залізобетонних конструкцій внаслідок корозії арматури може зумовлюватися комплексом причин, що включає несприятливі зовнішні умови, недостатньо надійні проектні рішення, дефекти матеріалів та неякісне виконання робіт.

Характер корозійного пошкодження арматури в бетоні. Залежно від умов перебігу корозійного процесу, характеристик сталі та агресивного середовища може спостерігатися суцільна й місцева корозія металу (арматурної сталі).

Характерні види корозії металу наведено на рис. 2.25.

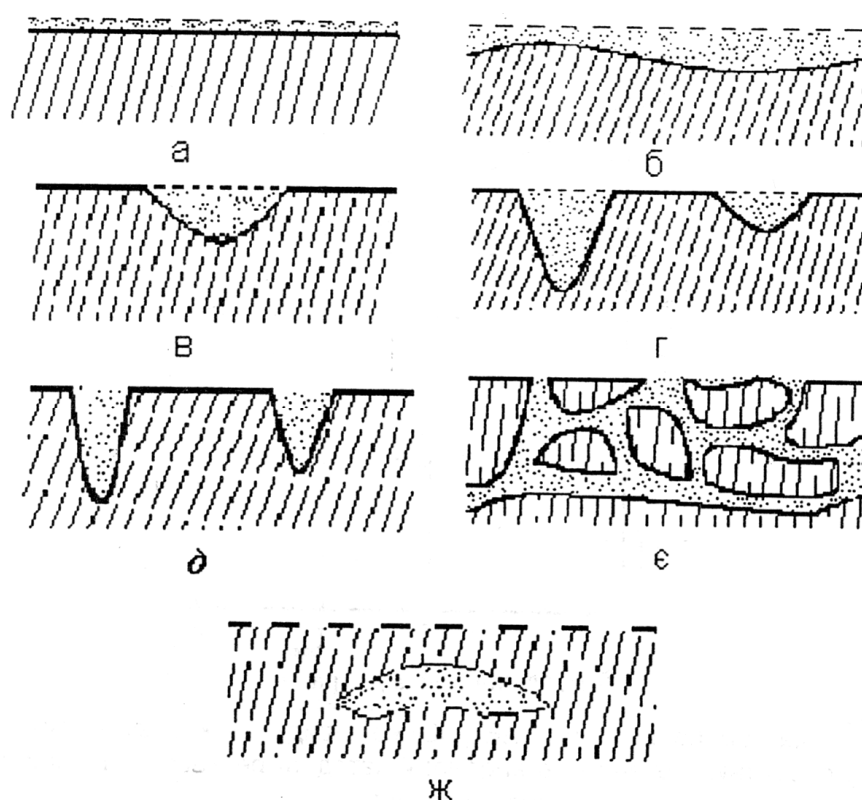


Рис. 2.25. Види корозії металу:

а – суцільна рівномірна; б – суцільна нерівномірна; в, г – виразки;
д – точки (пітинги); е – міжкристалічна; ж – підповерхнева

Руйнування арматури в бетоні має характер рівномірного зменшення площі перерізу по довжині стержня при його розташуванні в непасивуючому бетоні. Виразкова корозія арматури на окремих ділянках поверхні може відбуватися в разі нерівномірного проникнення в бетон хлоридів. Остання більш небезпечна, оскільки при ній ло-

кальне зменшення перерізу арматури відбувається значно швидше, ніж при рівномірній корозії. Крім того, місцеве зменшення перерізу арматури важко вчасно виявити – невелика кількість продуктів корозії не руйнує бетон захисного шару.

Загальна рівномірна корозія м'яких низьковуглецевих сталей у напруженому стані не змінює їх механічних характеристик, а місцева – дещо знижує. Корозія високоміцних сталей супроводжується зниженням їх пластичності й може призводити до крихкого руйнування.

Високоміцна стержнева арматура при одночасній дії напружень розтягу та певних агресивних середовищ може піддаватися корозійному розтріскуванню (розвиток тріщин, що починаються з поверхні й орієнтовані перпендикулярно напрямку розтягу).

Корозійна стійкість арматурних сталей оцінюється за такими показниками:

- втрата маси (зменшення діаметра);
- зниження пластичності сталі;
- зниження розривного зусилля;
- глибина враження.

2.6.2. Механізм корозії арматури в бетоні

За характером перебігу корозійного процесу руйнування металу може відбуватися за двома механізмами – хімічним та електрохімічним.

Хімічне руйнування відбувається при контакті металів із «сухими» газами (як правило, в умовах високої температури) або неелектролітами.

Електрохімічне руйнування металів спостерігається при дії на метали й сплави води, розчинів електролітів та «вологих» газів.

В умовах нормальної температури та вологості звичайні будівельні маловуглецеві та низьколеговані сталі піддаються електрохімічній корозії. Хімічна корозія трапляється достатньо рідко.

Електрохімічна корозія. Найчастіше корозія арматури в бетоні відбувається за електрохімічним механізмом, загальна схема якого наведена на рис. 2.26.

Для дії механізму електрохімічної корозії заліза в бетоні необхідне виконання таких умов:

1) наявність різниці потенціалів між окремими ділянками поверхні металу – виникнення гальванічних елементів анод–катод (електрохімічна неоднорідність поверхні). Перша умова, як правило, завжди виконується. Арматурні сталі ха-

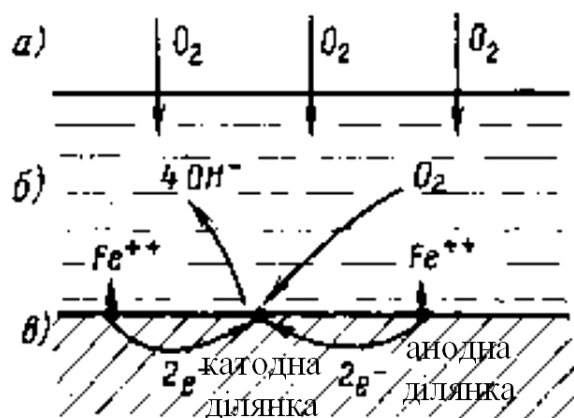


Рис. 2.26. Схема процесу електрохімічної корозії заліза:

а – повітря; б – плівка води; в – залізо

рактеризуються певною неоднорідністю окремих структурних елементів, наявністю мікрodefектів, крім того, середовище, що контактує з поверхнею металу, багатокомпонентне (бетон, що оточує арматуру). При взаємодії з такими поверхнями розчинів електролітів виникає значна кількість мікроелементів, які складаються з анода та катода – гальванічних пар.

Крім мікроелементів арматурної сталі в залізобетонній конструкції виникають концентровані пари

різної аерації, де гальванічний елемент утворюється внаслідок нерівномірного омивання поверхні металу киснем повітря (аерації). З підвищенням концентрації кисню потенціал електрода набуває більших додатних значень, а ділянки, до яких доступ кисню менший («водяні мішки», наприклад) – більших від’ємних значень. Ці ділянки з від’ємним потенціалом стають анодами відносно елемента (арматурного стержня). Чим значніша різниця аерації анодних та катодних ділянок, тим інтенсивніше анодні будуть руйнуватися (кородувати);

2) наявність електролітичного зв’язку між анодними та катодними ділянками. Крім хімічно зв’язаної під час гідратації цементу води, бетон, як правило, вміщує фізично зв’язану воду (з розчиненими в ній речовинами), що може виконувати функцію розчину електроліту – провідника між анодними та катодними ділянками поверхні сталі. Кількість фізично зв’язаної води залежить як від особливостей бетону, так і від середовища та умов його взаємодії з конструкцією. В умовах тривалого занурення у воду відбувається практично повне насичення капілярно-пористої структури бетону. У разі односторон-

нього контакту без напору (капілярний підсос води) ступінь насичення структури менший.

Висота капілярного підняття води перебуває у зворотній залежності від перерізу капіляра. Тиск насиченої пари над меніском води в капілярах з радіусом більше ніж $1 \cdot 10^{-5}$ см (макрокапілярах) практично дорівнює тиску пари над плоскою поверхнею, тому такі капіляри воду не всмоктують і можуть заповнюватися тільки під напором води або при конденсації внаслідок утворення точки роси.

Вміст води в бетоні під час експлуатації в повітряно-вологих умовах залежить від відносної вологості. При 100 %-й вологості водовміст бетону наближається до такого при капілярному підсосі, зі зменшенням вологості – знижується. Існує певна критична вологість повітря, нижче якої плівки вологи не зможуть забезпечувати переміщення йонів між катодними та анодними ділянками поверхні (відносна вологість повітря 50...60 %, якщо бетон не містить гігроскопічних речовин – хлористих солей, які знижують цю величину).

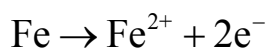
Переважно в бетоні достатньо вологи, необхідної для перебігу процесу корозії сталі;

3) активний стан поверхні на анодних ділянках, де метал розчинюється за реакцією



На анодних ділянках іони металу переходять у розчин і гідратуються, звільнюючи надлишкові електрони, які, залишаючись у металі, рухаються до катодних ділянок.

Анодний процес при корозії арматурної сталі в бетоні є реакцією окиснення заліза: перехід іонів двовалентного заліза у водний розчин з вивільненням двох електронів:



4) наявність достатньої кількості деполяризатора, необхідного для асиміляції на катодних ділянках поверхні металу надлишкових електронів (поглинання електронів атомами або йонами розчину).

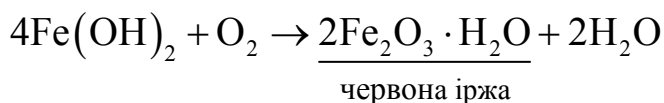
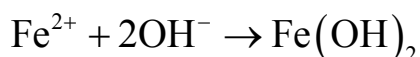
Корозія арматури в бетоні відбувається з кисневою деполяризацією за схемою



Недостатня кількість кисню може обмежувати процес корозії сталі тільки за умов практично повного насичення бетону водою, коли дифузія кисню значно уповільнюється. У бетонах високої щільності (при $V/C < 0,5$) спостерігається уповільнення корозії при зростанні відносної вологості повітря більше ніж 80...85 %.

Переважно порова структура бетону здатна пропустити достатню кількість кисню для підтримки процесу корозії арматури.

Залежно від умов перебігу корозії на поверхні сталі утворюються різні продукти взаємодії заліза з киснем повітря й водою: $Fe(OH)_2$, $Fe(OH)_3$, $Fe(OH)$, $Fe_3O_4 \cdot H_2O$, Fe_2O_3 .



Корозія арматури в бетоні, як правило, лімітується третьою умовою. Відсутність її пояснюється пасивністю сталі в лужному середовищі, тобто нездатністю до розчинення за наведеною реакцією.

Пасивність визначається як стан підвищеної корозійної стійкості металу внаслідок утворення на поверхні металу щільної окисної або сольової плівки продуктів його реакції із середовищем у початковий період. Плівка запобігає проникненню агресивного середовища; швидкість корозійного процесу уповільнюється, а деколи й повністю припиняється.

На поверхні арматурних стержнів, що перебувають у лужному середовищі цементного каменю, утворюється щільний шар продуктів (оксиди γFe_2O_3 або Fe_3O_4), який перешкоджає безпосередній взаємодії металу й електроліту.

Електрокорозія. У випадку перебування конструкцій у зоні блукаючих струмів може спостерігатись їхня електрокорозія.

Процес електрокорозії можна розглядати як процес електролізу, у якому одним з електродів є арматура конструкції, а іншим – земля, електропровідним середовищем слугує бетон конструкції і прилеглий ґрунт. У випадку якщо арматура стає анодом, відбувається процес розчинення металу – корозійне руйнування, що супроводжується розтріскуванням бетону захисного шару.

Найбільш інтенсивно руйнування такого роду спостерігаються в цехах електролізу й на електрифікованому транспорті, де постійний струм перетікає з арматури через бетон у землю – фундаменти й підземні частини опор контактної мережі.

Засобом захисту в таких випадках є ізоляція конструкції, але внаслідок різних дефектів повністю уникнути потрапляння струму на конструкцію часто не вдається.

2.6.3. Захисна дія бетону відносно арматури

Висока довговічність залізобетонних конструкцій великою мірою залежить від здатності цементного бетону захищати сталеву арматуру від корозії – пасивувати сталь. Крім того, захисний шар щільного бетону значно ускладнює доступ до арматурної сталі вологи й кисню повітря або кислих газів, які зумовлюють перебіг процесу корозії.

Для збереження пасивності сталі в бетоні необхідним є її постійний контакт з поровою рідиною, лужність якої повинна мати водневий показник $\text{pH} \geq 11,8$ (насичений розчин $\text{Ca}(\text{OH})_2$). У бетоні, що набрав міцності, величина pH порової рідини (насиченого розчину $\text{Ca}(\text{OH})_2$) становить 12,0–12,5.

У звичайному щільному бетоні нормального твердіння на портландцементі існує значний запас гідроксиду кальцію (10...15 % маси цементу); крім того, зберігається «клінкерний фонд» – зерна цементу, що не повністю прореагували й можуть поповнювати запас $\text{Ca}(\text{OH})_2$ у разі його втрати з якоїсь причини.

Корозія арматури виникає внаслідок того, що її поверхня залишається активною з різних причин, неповністю пасивується під час

виготовлення конструкції або втрачає пасивність у процесі експлуатації.

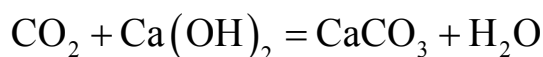
Причини депасивації арматури:

- руйнування бетону захисного шару під дією зовнішніх впливів (корозійні процеси, циклічні впливи, механічні впливи);
- втрата бетоном здатності пасивувати сталь (зниження рН порової рідини, надходження хлор-іонів).

Зниження рН пов'язане зі зменшенням концентрації $\text{Ca}(\text{OH})_2$, що може відбуватися під час вилуговування (вимивання) фільтруючою водою або нейтралізації бетону кислими рідинами та газами.

Найбільш характерний та поширений процес нейтралізації бетону захисного шару – карбонізація бетону наземних конструкцій вуглекислим газом.

За термін служби конструкції при карбонізації бетону захисного шару приймається час, протягом якого фронт взаємодії гідроксиду кальцію ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) з вуглекислим газом (CO_2) досягне глибини розташування арматури.



У промислових середовищах карбонізація може супроводжуватися нейтралізацією іншими кислими газами (SO_2 , H_2S та ін).

Тривалість пасивуючої здатності бетону при його карбонізації залежить від таких факторів:

- товщина захисного шару бетону. Карбонізація бетону має пошаровий характер, тобто поки CO_2 не нейтралізує шар одиничної товщини, глибше процес проникати не буде. Таким чином, чим більшою є товщина захисного шару, тим тривалішим є період нейтралізації бетону до глибини розташування арматури;
- ефективний коефіцієнт дифузії CO_2 . Характеризує проникність бетону для газу: чим менша проникність, тим довший час пасивується арматура;
- концентрація вуглекислого газу. До структури бетону надходить не CO_2 , а повітря: чим більше в одиниці об'єму повітря CO_2 , тим швидше буде відбуватися процес взаємодії;
- вологість повітря. Найбільша швидкість карбонізації бетону спостерігається при відносній вологості повітря 50...60 %, коли плів-

кової вологи в порах достатньо для здійснення реакції і водночас мікрокапілярні пори не заповнені водою – є можливість для міграції CO_2 ;

– температура середовища.

Для більшості середовищ експлуатації залізобетонних конструкцій необхідний термін служби досягається призначенням необхідної товщини бетону захисного шару та його щільності (непроникності). Вимоги, що встановлюються ДСТУ Б В.2.6-145:2010, наведено в табл. 2.4.

Для ефективної роботи захисного шару не менше значення, ніж щільність бетону має його монолітність, тобто відсутність тріщин (усадкового, температурного, силового походження).

Таблиця 2.4

Вимоги до захисного шару бетону залізобетонних конструкцій, що експлуатуються при дії газоподібних агресивних середовищ

Концентрація вуглекислого газу в повітрі, мг/м^3	Товщина захисного шару, мм	Максимально допустима величина коефіцієнта дифузії $D \times 10^4$, $\text{см}^2/\text{с}$, вуглекислого газу в бетоні залізобетонних конструкцій з терміном експлуатації, років		
		20	50	100
До 600	10	1,14	0,45	0,23
	15	2,57	1,03	0,51
	20	4,57	1,83	0,91
Від 600 до 6 000	10	0,26	0,10	0,05
	15	0,46	0,18	0,09
	20	0,71	0,28	0,14

Тріщини в бетоні, полегшуючи доступ зовнішнього середовища до поверхні арматури, сприяють виникненню й розвитку її корозії. Відбувається локальна депасивація в результаті порушення контакту сталі з бетоном і зміни умов, за яких забезпечується стійкість плівок, що пасивують сталь. Залежно від агресивності середовища нормативні документи регламентують допустимі величини розкриття тріщин.

Проте рН середовища не може однозначно характеризувати стан сталі в бетоні. У випадку надходження в об'єм бетону активуючих іонів (хлор-іони, сульфат-іони та ін.) корозія арматури може

відбуватися навіть у пасивуючому бетоні (з достатньою величиною рН). Така дія йонів-активаторів пояснюється їх здатністю, адсорбуючись на поверхні сталі, витіснити кисень, який бере участь в утворенні пасивуючої плівки.

За незначної кількості хлоридів, уведених у бетон у складі деяких добавок, порушення пасивності сталі не виникає. Хлориди зв'язуються й осаджуються в структурі цементного каменю при утворенні з алюмінатами цементу слаботорозчинних комплексних солей – гідрохлоралюмінатів.

Метод захисту при більших концентраціях добавок (що містять хлористі солі) або можливості надходження ззовні – уведення у бетон добавок-інгібіторів корозії, що зв'язують іони хлору у важкорозчинні сполуки.

Додатковий захист. Пасивування поверхні арматури, що досягається утворенням окисних плівок у лужному середовищі бетону, може бути підсилене уведенням до складу бетону добавок-пасиваторів: нітриту натрію, хромату калію, тринатрійфосфату та ін. у кількості 2...5 % від маси цементу.

Для захисту арматури від корозії в малоцільних бетонах можуть застосовуватись антикорозійні обмазки. Їх наносять на арматуру тонким (декілька міліметрів) щільним шаром до бетонування. Застосовуються обмазки на основі полістиролу із заповнювачем, на основі цементу й бітуму, цементно-латексні тощо.

За механізмом дії обмазки умовно поділяються на неактивні та хімічно активні. Неактивні обмежуються тільки бар'єрною функцією (бітумні, полістирольні), характеризуються непроникністю та еластичністю. Хімічно активні обмазки виконують бар'єрну функцію, підвищують лужність рідкої фази та пасивують метал (цементно-латексні, цементно-бітумні, які додатково містять добавки-пасиватори). Перевага хімічно активних обмазок – незначне пошкодження нанесеного покриття не приводить до зниження антикорозійних властивостей.

Контрольні завдання та запитання

1. Як можна охарактеризувати умови експлуатації конструкцій?
2. Як оцінюється ступінь агресивності впливу середовища на конструкцію?
3. У чому полягає суть поняття «провідний агресивний вплив»?
4. Якими є особливості пошкодження бетону конструкцій за механізмом корозії I виду у водних розчинах? корозії II виду у водних розчинах? корозії III виду у водних розчинах?
5. У чому полягає суть газової корозії бетону? Особливості її впливу на експлуатаційну придатність конструкцій.
6. У чому полягає суть органічної корозії бетону? Засоби захисту конструкцій.
7. Чим зумовлене пошкодження залізобетонних конструкцій у разі корозії арматури?
8. У чому полягає захисна дія бетону відносно арматури?

Оцінка експлуатаційної придатності конструкцій та проектування їх ремонту й відновлення

3.1. Діагностика технічного стану конструкцій будівель та споруд

3.1.1. Завдання діагностики технічного стану конструкцій будівель та споруд

Діагностика – процес встановлення технічного стану споруди (будівлі), що визначається сукупністю якісних та кількісних показників, які характеризують експлуатаційну придатність споруди (будівлі) та її конструктивних елементів порівняно з гранично допустимими значеннями.

Основною метою діагностики будівельних конструкцій будівель (споруд) є визначення відповідності між їх реальним технічним станом, фактичною несучою здатністю, експлуатаційною придатністю та їх розрахунковими схемами, комплексом вимог, що встановлюються нормативними документами, при цьому враховується можливість змін властивостей та технічних параметрів у процесі експлуатації.

Діагностика технічного стану будівельних конструкцій будівель та споруд здійснюється шляхом об'єднання взаємодоповнюючих процедур з обстеження, розрахункових та аналітичних процедур.

Обстеження конструкцій споруд – найважливіша частина комплексу робіт з діагностики їх технічного стану. У ході обстеження отримують якісні та кількісні показники експлуатаційної придатності споруди (будівлі), їх конструктивних елементів шляхом візуального огляду, інструментального контролю та лабораторних досліджень.

Встановлюються фактичні показники якості конструкцій і матеріалів: міцності, стійкості, проникності, опору теплопередачі та ін. Тобто в ході обстеження встановлюють *дійсну* несучу здатність та експлуатаційну придатність несучих конструкцій будівель та споруд.

Завдання експертів – оцінка фактичного стану конструкцій. Без такої інформації неможливе прийняття рішень щодо можливості подальшої експлуатації чи вибору принципових рішень відновлення задовільного технічного стану.

Останнім часом зростання обсягів робіт з обстеження зумовлено такими факторами:

1. Загострення проблеми забезпечення надійної та безпечної експлуатації будівель і споруд. Прискорення процесу погіршення експлуатаційної придатності конструкцій внаслідок недостатнього фінансування робіт та заходів з утримання конструкцій та інженерних систем.

2. Виконання реконструкції будівель та споруд, їх модернізації або перепрофілювання.

3. Наслідки техногенних аварій та стихійних лих.

Оцінка технічного стану конструкцій будівель та споруд здійснюється на підставі нормативно-технічної документації, будівельних норм і правил, законодавчих документів, які регламентують порядок, послідовність і обсяги робіт, а також визначають класифікаційні ознаки технічного стану будівельних конструкцій, виконаних з різних будівельних матеріалів.

Оцінка технічного стану виконується шляхом зіставлення даних натурних випробувань та результатів перевірних розрахунків контрольованих параметрів з їх проектними або встановленими нормативними документами значеннями.

Залежно від резервів міцності, тріщиностійкості, деформативності, наявності дефектів і пошкоджень конструкція може бути віднесена до одного з таких станів: *нормальний, задовільний, непридатний до нормальної експлуатації, аварійний*.

Технічний стан споруди (будівлі) залежить від стану її окремих конструкцій і характеризується одним із наведених визначень.

Оцінка технічного стану конструкцій будівель та споруд здійснюється під час:

- планових обстежень і паспортизації об'єктів;
- проектування ремонту та реконструкції об'єктів;

- виявлення пошкоджень та деформацій конструкцій у процесі експлуатації;
- приймального контролю виконаних ремонтних робіт або робіт з реконструкції.

За результатами діагностики будівель та споруд встановлюють склад і обсяги ремонтно-відновлювальних, будівельно-монтажних і спеціальних видів робіт, що повинні бути виконані під час проектування та безпосереднього виконання ремонту, відновлення або реконструкції об'єктів.

3.1.2. Класифікація обстежень будівельних конструкцій

Залежно від мети діагностики та завдань, які вирішуються, обстеження конструкцій будівель та споруд класифікують:

1. За періодичністю проведення:

- *систематичні (планові)* обстеження конструкцій передбачені правилами й нормами технічної експлуатації споруд, положеннями про проведення планово-запобіжних ремонтів. У кожній галузі на окремих об'єктах можуть застосовуватися свої технологічні регламенти, які встановлюють періодичність таких обстежень (моніторингу технічного стану). Чим жорсткіші умови експлуатації об'єкта, тим частіше такі обстеження проводяться для вчасного виявлення пошкоджень;

- *позачергові (позапланові)* або непередбачені обстеження виконуються після виникнення надзвичайних ситуацій у результаті стихійних лих, техногенних аварій, пожеж. Також проводяться перед розробкою проекту реконструкції, зміни технологічного процесу.

Після інтенсивного впливу (непроектного) необхідно встановити придатність окремих конструкцій або будівель чи споруд в цілому до подальшої експлуатації (рис. 3.1).

Для конструкції будівель, у яких буде виконуватися реконструкція або змінюватися технологічний процес, можуть змінитися розрахункові схеми, зрости навантаження та схема їх прикладення (рис. 3.2). Це при тому, що конструкції експлуатувалися тривалий час і їх експлуатаційна придатність (несуча здатність) погіршилася. У такому випадку отримане під час обстеження фактичне значення несучої здатності дозволяє оцінити необхідність та потрібні параметри підсилення конструкцій.

Також обстеження можуть виконуватися не тільки на об'єктах, що тривалий час експлуатувались, але й на новому будівництві, безпосередньо в процесі зведення будівель та споруд (рис. 3.3). При непроектній роботі конструкції (руйнування конструкцій, тріщини, надмірні деформації) за результатами обстежень встановлюють причини та винуватця виникнення ситуації (проектна організація, виконавець робіт, виробник конструкцій та матеріалів) з метою пошуку шляхів вирішення проблеми та відшкодування збитків.



Рис. 3.1. Пошкодження конструкцій будівель і споруд
внаслідок виникнення надзвичайних ситуацій:

стихійні лиха (*а* – повені, *б* – землетруси); *в* – пожежі;

г – вибухи під час техногенних аварій, терористичних атак та військових дій

Необхідність обстежень конструкцій може бути викликана також виявленням явних дефектів, пошкоджень та деформацій, що унеможливорює подальшу експлуатацію, а також наявністю ознак руйнування.

2. За обсягом проведених робіт обстеження поділяються на загальні (суцільні) або комплексні, а також часткові або вибіркові.

Загальному обстеженню піддається споруда в цілому: конструкції, інженерне устаткування, захисно-декоративні покриття, основи, а також усі конструкції одного типу в межах споруди. Оскільки загальне обстеження характеризується високими трудовитратами, вартістю та тривалістю, воно виконується тільки в окремих випадках на дуже відповідальних об'єктах (конструкції енергоблоків АЕС і т. д.).

а



б



в



Рис. 3.2. Збільшення навантажень на існуючі конструкції будівлі під час її реконструкції:
виконання надбудови (*а, б*); підвішування до балки покриття кран-балки (*в*)

Під час *вибіркового обстеження* діагностуються окремі конструкції (статистично обґрунтована вибірка). У більшості випадків на об'єктах різного призначення здійснюється саме вибіркове обстеження, що дозволяє значно скоротити витрати праці, часу та коштів на його виконання.

Переважна кількість будівель і споруд складається з певної кількості груп однотипних конструкцій (плит перекриття, колон, балок, перемичок, фундаментів і т. д.). Основна маса конструкцій одного типу перебуває в майже однаковому технічному стані: подібне середовище експлуатації, вік, характеристики матеріалів, виробник. Тому можна припустити, що, вибравши із загальної сукупності однотипних конструкцій (наприклад, 100 шт.) певну статистично обґрунтовану кількість (наприклад, 7 шт.) і визначивши їхні характеристики, можна з певною достовірністю (наприклад, 95 %) судити про характеристики всіх конструкцій сукупності (100 шт.). Звичайно, у таку сукупність не включають конструкції, які за своїм технічним станом явно відрізняються від решти конструкцій типу (наявність значних дефектів та пошкоджень).



Рис. 3.3. Тріщини в конструкція на стадії зведення будівель, викликані порушеннями проектних та технологічних вимог

3. За повнотою інформації та призначенням обстеження поділяються на попередні, інструментальні й спеціальні.

Попереднє обстеження – основним засобом виконання є візуальний огляд.

Інструментальне обстеження (використання комплексу методів контролю якості та міцності матеріалів конструкцій; проведення експрес-хіманалізів агресивного середовища). Як правило, кожна організація (лабораторія), яка займається питаннями діагностики технічного стану конструкцій, має певний набір інструментів та обладнання для оцінки характеристик їх матеріалів за стандартизованими методиками, який є достатнім для вирішення переважної більшості завдань в ході обстеження конструкцій.

Спеціальне обстеження – застосування спеціальної апаратури (геолокація, вібродіагностика) і нестандартних (нетрадиційних) методів випробувань (еніообстеження).

В окремих випадках під час діагностики технічного стану конструкцій виникають завдання, для вирішення яких необхідне застосування спеціального обладнання та методик. Цими питаннями займаються спеціалізовані організації, які можуть залучатися до проведення обстеження на умовах субпідряду.

3.1.3. Етапи діагностики технічного стану

Діагностика технічного стану виконується кількома етапами. Перелік та повнота виконання окремих робіт на кожному етапі визначаються фахівцями, що виконують обстеження, з урахуванням мети та завдань діагностики будівлі або споруди.

1. Попереднє обстеження (рекогносцирувальне):

- збір і аналіз технічної документації (проектної, будівельної, експлуатаційної). Оцінка технічного стану конструкцій виконується зіставленням їх фактичних характеристик та матеріалів з проектними, призначеними відповідно до нормативних документів. Для виконання такого зіставлення необхідно ознайомитися з проектною документацією. Також у процесі зведення об'єкта в проект могли вноситися зміни, що відображено у відповідній документації. Крім того, під час експлуатації об'єкта могли виконуватися роботи з реконструкції, відновлення після виникнення надзвичайних ситуацій тощо, що вказується в експлуатаційній документації;

- уточнення об'ємно-планувального й конструктивного рішення споруд і окремих конструкцій. Деякі об'єкти могли бути зведені з такими порушеннями, як невідповідності проекту відстаней між осями або висотними відмітками. Набагато поширенішими є невідповідності проектним конструктивним рішенням. Серед них неузгоджена заміна марок або типорозмірів конструктивних елементів, їх видів (ребристі, пустотні плити перекриття), невідповідність проекту вузлів з'єднань конструкцій. Приклади порушення конструктивного рішення наведені на рис. 3.4;

- виявлення найбільш ушкоджених і аварійних ділянок і конструкцій. Як уже згадувалося, переважно виконується вибіркове обсте-

ження, для якого формуються сукупності однотипних конструкцій. При цьому в окрему групу необхідно виділити найбільш пошкоджені та аварійні ділянки й конструкції, для яких обстеження виконується за окремою, «жорсткішою» процедурою (збільшення ділянок контролю або контроль кожної конструкції, застосування додаткових методів обстеження та ін.);

а



б



Рис. 3.4. Приклади порушення конструктивного рішення:

а – виконання кладки стіни з різних матеріалів без перев'язування та опирання перемички на такий фрагмент; *б* – монтаж замість плити покриття довжиною 12 м двох плит довжиною 6 м з неправомірним їх опиранням по центру прольоту приміщення

– складання програми основних обстежень. Діагностика технічного стану будівлі або споруди, їх обстеження здійснюється з певною метою (підтвердження придатності до експлуатації; необхідності відновлення тощо). Програма обстежень повинна включати перелік завдань та шляхи їх вирішення. Відповідно, виконання програми дасть можливість досягти поставленої мети.

2. Основне обстеження (інструментальне):

– уточнення розмірів, схем опирання конструкцій та типу вузлів їх з'єднань, навантажень, якості й міцності матеріалів. Для оцінки фактичної несучої здатності конструкції, наприклад вільнообпертої залізобетонної балки, необхідно уточнити її геометричні параметри (переріз, прогін), міцність бетону, параметри армування (площа арматури, величина захисного шару бетону). Причому вказані

параметри можуть відхилятися як в одну, так і в іншу сторону порівняно з проектом. Тобто фактична несуча здатність може бути заниженою (частіше) або завищеною (інколи).

Також важливим моментом є уточнення фактичних навантажень та схем їх прикладення: збільшений переріз конструкції – більша власна вага; товщий шар утеплювача або звукоізоляції, його водонасичення; наявність непередбаченого зосередженого навантаження від технологічного обладнання тощо;

- виявлення, вимірювання й фотофіксація дефектів і пошкоджень конструкцій (тріщин, сколів, корозійного ураження). Фіксується стан конструкції (показниками якого є величина дефектів та пошкоджень) на момент обстеження. Це питання є особливо важливим, якщо обстеження здійснюється з метою оцінки впливу на стан будівлі (споруди) якихось тривалих процесів. Наприклад, нове будівництво неподалік існуючої будівлі (споруди);

- вимірювання деформацій (прогинів, нахилів, перекосів, зрушень, осідання фундаментів і т. д.).

3. Додаткове обстеження (спеціальне):

- уточнення результатів попередніх і основних обстежень. Якщо після виконання передбачених програмою попереднього та основного обстеження отримано недостатньо інформації (однозначної) для вирішення поставлених завдань або виявлені нові обставини, признаються додаткові випробування для уточнення отриманих результатів;

- тривалі спостереження за деформаціями конструкцій, температурно-вологісним режимом і т. д. Як уже згадувалося, обстеження може здійснюватися з метою оцінки впливу на стан будівлі (споруди) певних тривалих процесів (нове будівництво неподалік з існуючою будівлею (спорудою)).

З метою вивчення впливу середовища на стан конструкції для прогнозування її терміну служби можуть протягом тривалого часу відслідковуватися зміни температурно-вологісного режиму, концентрації агресивних газів або водних розчинів;

- випробування конструкцій пробним навантаженням. У випадку недостатності отриманої в результаті проведення інструментального обстеження інформації для встановлення фактичної розрахункової схеми та оцінки несучої здатності використовується випробування

пробним навантаженням (рис. 3.5). На конструкцію передається навантаження (шар піску або розкладені за певною схемою штучні вантажі), збільшене порівняно з розрахунковим шляхом урахування коефіцієнта безпеки (1,3...1,6 за ДСТУ Б В.2.6-7-95 [14]). Далі за допомогою приладів фіксують показники роботи конструкції (прогини, деформації та напруження в бетоні та арматурі). Якщо результати в умовах завищеного навантаження задовольняють вимоги норм, то конструкція придатна до експлуатації.



Рис. 3.5. Випробування конструкції перекриття пробним навантаженням

Цей вид випробувань досить трудомісткий та затратний, тому для звичайних будівель та споруд застосовується рідко. А для таких унікальних споруд, як, наприклад, мости випробування пробним навантаженням – це загальноприйнята практика;

– уточнення даних інженерно-геологічних та гідрогеологічних вишукувань. Деформації будівлі (споруди) можуть бути викликані неоднорідною основою (грунтовим масивом) та складними інженерно-геологічними умовами (схили, карсти, підземні виробки, просідаючі ґрунти і т. д.). Включення більш деформативного або більш жорсткого порівняно із загальним масивом ґрунту призводить до нерівномірного осідання будівлі, її деформування й тріщин у конструкціях (рис. 3.6).

Таким чином, за наявності в конструкціях певної картини тріщин, такі неоднорідності основи можуть бути передбачені, але повинні бути встановлені випробуваннями.

Поширеною причиною деформування будівель та утворення в них тріщин є зміна характеристик ґрунтів основи, наприклад зміна механічних характеристик лесових ґрунтів внаслідок значного підняття ґрунтових вод, що потребує встановлення їх фактичного рівня. Також уточнення фактичного рівня ґрунтових вод та їх хімічного складу важливе для оцінки зміни агресивності середовища експлуатації підземних споруд (фундаментів).

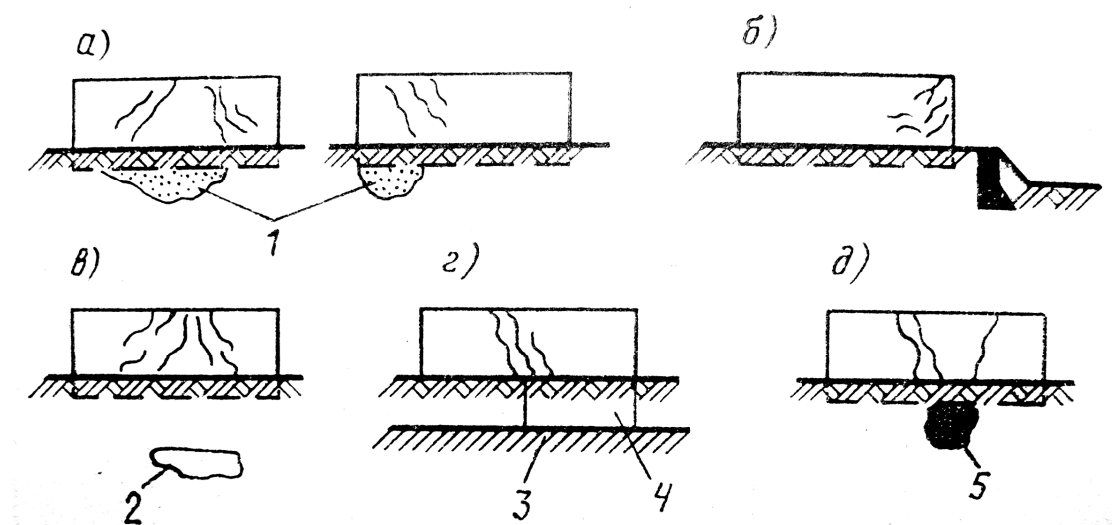


Рис. 3.6. Нерівномірне осідання будівлі:

a – розташування слабких ґрунтів під частиною будівлі; *б* – зсув відкосу або підпірної стінки; *в* – пустоти в основі; *з, 4* – підвал під частиною будівлі; *д, 5* – жорстке включення значних розмірів; *1* – слабкі ґрунти; *2* – карст; *3* – щільний ґрунт

4. Складання висновку (звіту):

- про несучу здатність конструкцій на основі аналізу даних обстежень і розрахунків з урахуванням фактичної міцності матеріалів, навантажень, розрахункових схем;
- про причини виявлених дефектів і пошкоджень конструкцій;
- про придатність конструкцій до подальшої експлуатації, рекомендації з їх відновлення, підсилення або заміни.

3.1.4. Організація робіт з діагностики технічного стану

Залежно від цілей і характеру розв'язуваних задач під час обстеження конструкцій до їх проведення залучаються служби експлуатації споруд, фахівці проектних і науково-дослідних інститутів.

У разі проведення обстежень з метою відновлення конструкцій до виконання попередніх обстежень рекомендується залучати представників підрядних організацій для можливості оперативного вирішення питань, пов'язаних з вибором методів виконання загальнобудівельних і спеціальних робіт, застосуванням певних матеріалів і механізмів, встановленням обсягу й черговості робіт для узгодження технічних рішень на стадії проектування.

Роботам з обстеження конструкцій передують збір вихідних даних і ознайомлення з проектно-технічною документацією.

У ході ознайомлення з об'єктом діагностики вирішують такі питання:

- а) намічають склад робіт з натурного обстеження;
- б) визначаються з організацією безпечного доступу до конструкцій, виготовлення риштування. Доступ до конструкцій необхідно організовувати з урахуванням особливостей об'єкта та режиму його експлуатації. На рис. 3.7 наведено схему відбору проб бетону (кернів) з бетонного склепіння залізничного тунелю. Особливість виконання робіт полягала в періодичному русі рухомого складу – жорстке обмеження часових проміжків на відбір кернів (40...60 хв). При цьому час відбору керна з урахуванням допоміжних операцій становить 20...30 хв. Встановлення риштувань на залізничній платформі дозволило виключити витрати часу на їх монтаж/демонтаж;
- в) погоджують із замовником терміни тимчасової зупинки устаткування й можливості його використання в процесі обстеження. Працююче технологічне обладнання може заважати доступу до окремих конструкцій та становити певну загрозу для експертів, які проводять обстеження.
- г) складають завдання на очищення конструкцій, розкриття покрівлі, відкриття шурфів, відбір контрольних зразків тощо.

Складається робоча програма обстеження, що повинна включати:

- мету й завдання обстежень;

- склад робіт з обстеження;
- методику проведення робіт і перелік необхідних приладів, інструментів, матеріалів;
- вказівки про способи доступу до конструкцій;
- схеми встановлення приладів і пристроїв;
- календарний план виконання робіт;
- заходи з охорони праці.

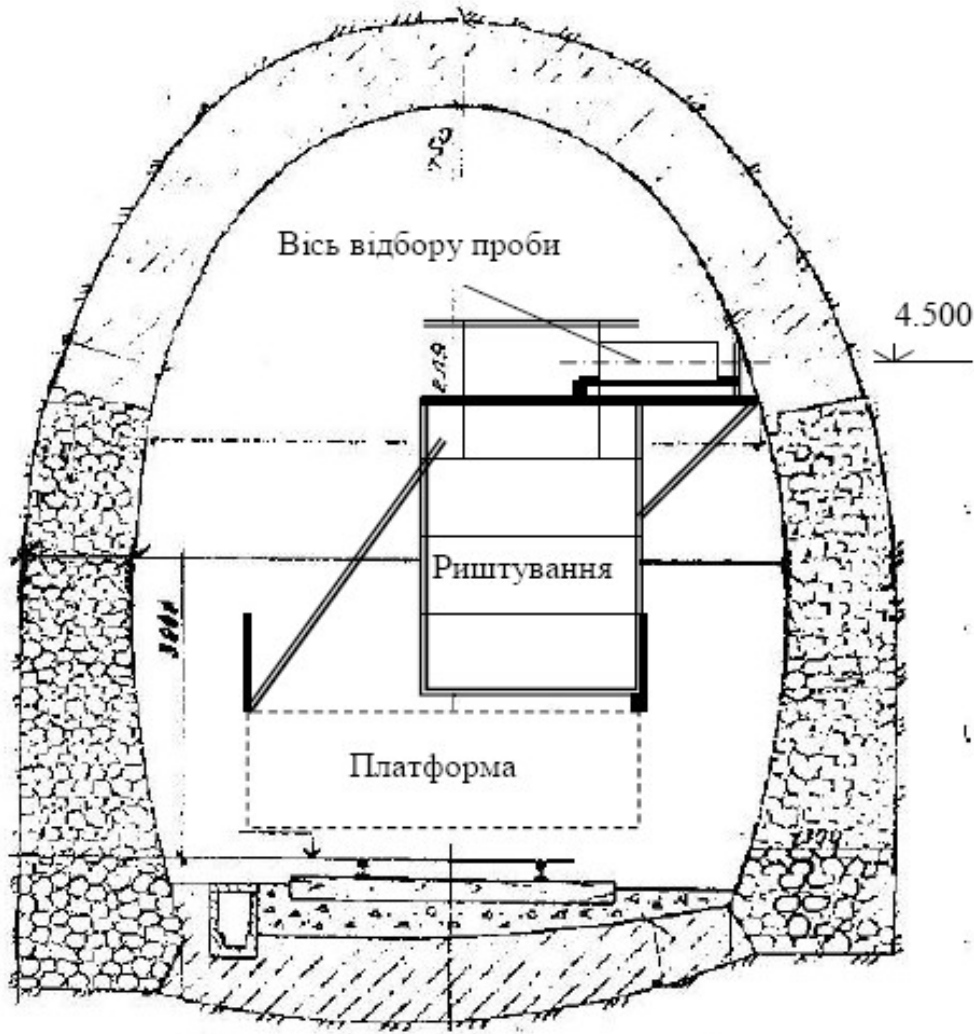


Рис. 3.7. Схема відбору проб бетону з бетонного склепіння залізничного тунелю

У разі виконання обстежень в умовах діючих підприємств особи, що здійснюють обстеження, повинні бути проінструктовані та ознайомлені з правилами безпеки життєдіяльності, що діють на цьому об'єкті.

Після закінчення підготовчих робіт складають протокол узгодження умов безпечного виконання робіт на діючому підприємстві, підписаний відповідальними представниками підприємства-замовника та організації-виконавця й затверджений керівниками підрозділів обох організацій.

У разі непрацездатного або аварійного стану несучих конструкцій необхідно дати вказівку про обмеження навантаження, повне розвантаження конструкції, а також терміново виконати надійні тимчасові кріплення за розробленим у терміновому порядку проектом, затвердженим головним інженером підприємства.

3.2. Засоби діагностики технічного стану

Методи обстежень за впливом на експлуатаційну придатність конструкцій під час виконання робіт поділяють на неруйнівні (частково руйнівні) та руйнівні.

Неруйнівні методи обстежень не призводять до пошкодження та зниження експлуатаційної придатності окремих елементів чи конструкцій у цілому. Якщо випробування певними методами призводить до місцевого пошкодження поверхневого шару бетону, але все-таки не впливає на експлуатаційну придатність конструкції – їх можна віднести до частково руйнівних.

Комплекс таких випробувань включає:

- визначення геометричних параметрів споруд (конструкцій);
- вимірювання деформацій елементів;
- визначення міцнісних та структурних властивостей матеріалів;
- визначення параметрів армування (товщина захисного шару, діаметр та крок розташування арматури);
- проведення експрес-хіманалізів. Найпоширенішим експрес-хіманалізом є визначення глибини карбонізації бетону колориметричним методом. Глибина карбонізації (зміна рН) контролюється розчином індикатора – фенолфталеїну, що наноситься на свіжий відкол бетону. У некарбонізованій зоні індикатор набуває яскраво-малинового забарвлення, у карбонізованій – залишається безбарвним. Через хвилину після нанесення розчину індикатора вимірюють відстань від поверхні зразка до межі яскраво зафарбованої зони (рис. 3.8);

– визначення динамічних параметрів конструкцій споруд (амплітуди коливань, частоти).

Крім мінімального впливу на конструкцію, неруйнівні методи характеризуються відносно низькою трудомісткістю та вартістю виконання робіт. Проте їх недоліком може бути недостатньо висока достовірність результатів. Особливо якщо мова йде про методи, які передбачають взаємодію з поверхневим шаром бетону, – характеристики поверхні можуть значно відрізнятися від характеристик масиву бетону конструкції. Це застереження найбільш характерне для конструкцій з тривалим терміном експлуатації. Під час обстеження несучих конструкцій одне з основних завдань – отримання достовірних даних для виконання розрахунків. Тому в окремих випадках розрахунки, виконані на основі цих даних, можуть не зовсім точно відображати фактичний стан конструкції.



Рис. 3.8. Визначення глибини карбонізації бетону колориметричним методом

У разі *руйнівних методів обстежень* здійснюється відбір зразків матеріалів або окремих елементів конструкцій, на яких виконуються лабораторні дослідження властивостей матеріалів. Руйнівні методи характеризуються високою достовірністю результатів, але за рахунок високої трудомісткості та ймовірності пошкодження конструктивних елементів їх застосування обмежене.

3.2.1. Неруйнівні методи обстежень

Контроль деформацій конструкцій:

1. Геодезичні методи. Застосовують для оцінки переміщень елементів будівель та споруд – осідань, кренів. Прилади: нівелір, теодоліт.

2. Гідростатичне нівелювання (рис. 3.9).

3. Механічні методи контролю місцевих деформацій – прогинів, деформацій від діючих напружень, а також усадки, повзучості. Прилади: прогиноміри, індикатори, тензометри (рис. 3.10).

4. Вимірювання тріщин. Спостереження за поведінкою тріщин – зміною ширини розкриття здійснюється:

– за встановленими маяками (для кам'яної кладки та невідповідальних бетонних споруд, рис. 3.11);

– за щілиномірами (рис. 3.12) – утворюють фіксовані точки для зняття відліку на берегах тріщин (для відповідальних споруд).

Для вимірювання ширини розкриття тріщин можуть використовуватися: мікроскопи, мікрометри, трафарети, щупи (рис. 3.13). Глибину розкриття можна визначити за слідом на поверхні керну, щупами або ультразвуковим методом.

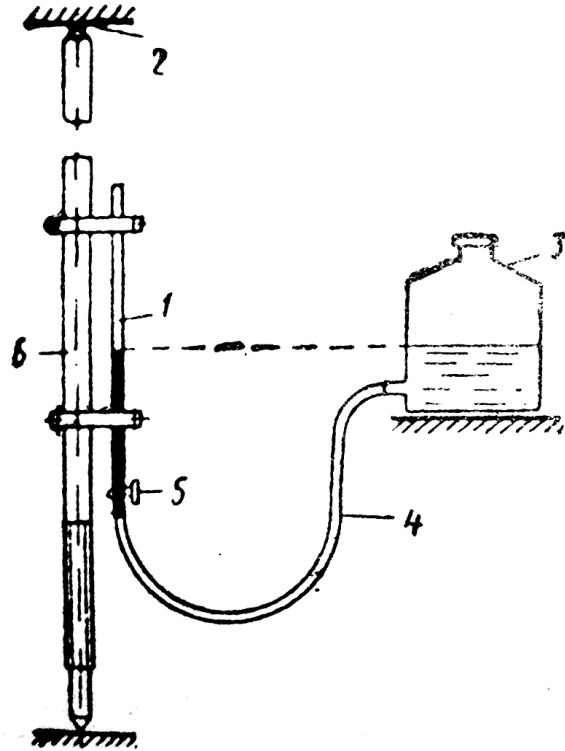


Рис. 3.9. Схема вимірювання прогинів перекриття гідростатичним рівнем:

1 – градуйована трубка; 2 – точка вимірювання; 3 – посудина з водою; 4 – шланг; 5 – кран; 6 – телескопічна стійка

Механічні методи контролю міцності матеріалів конструкцій. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю виконується за ДСТУ Б В.2.7-220:2009 [17].

Міцність бетону визначають за попередньо встановленими кореляційними (взаємопов'язуючими) залежностями між міцністю бетонних зразків та побічними (непрямими) показниками.

1. *Метод пружного відскоку* – міцність встановлюється за кореляційною (тарувальною) залежністю між висотою відскоку бойка та міцністю бетону (склерометри, молоток Шмідта (рис. 3.14)).

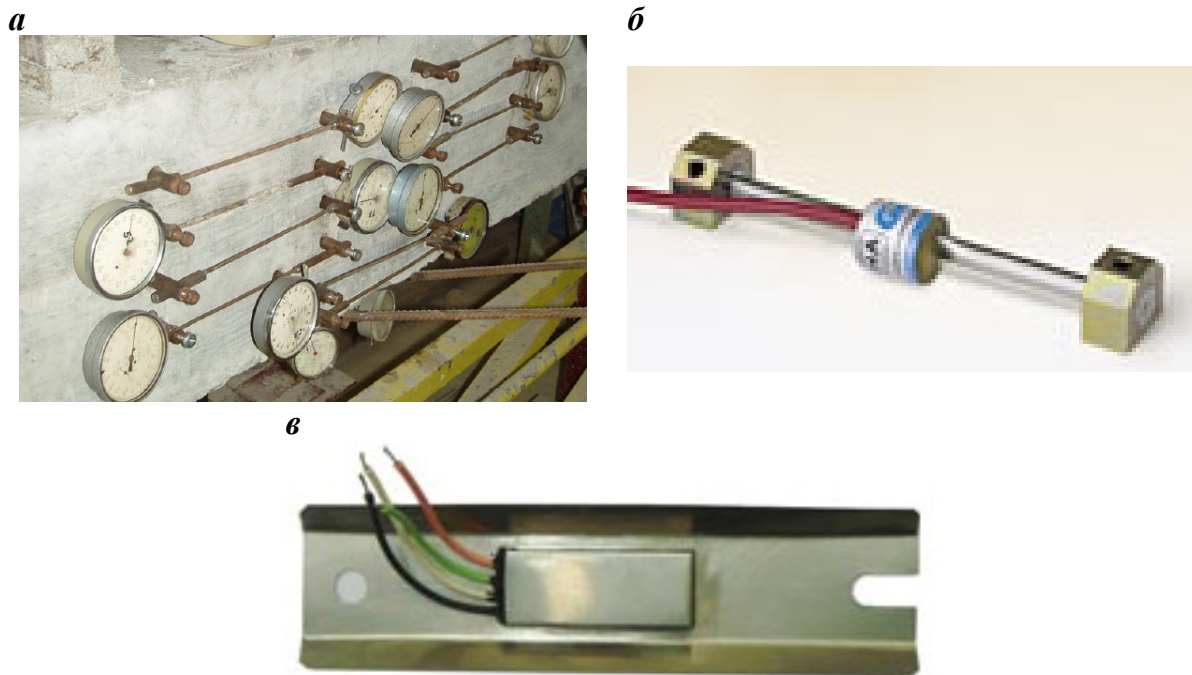


Рис. 3.10. Механічні (а) та струнні (б) тензометри, тензорезисторні датчики (в) для вимірювання деформацій та напружень матеріалу конструкцій

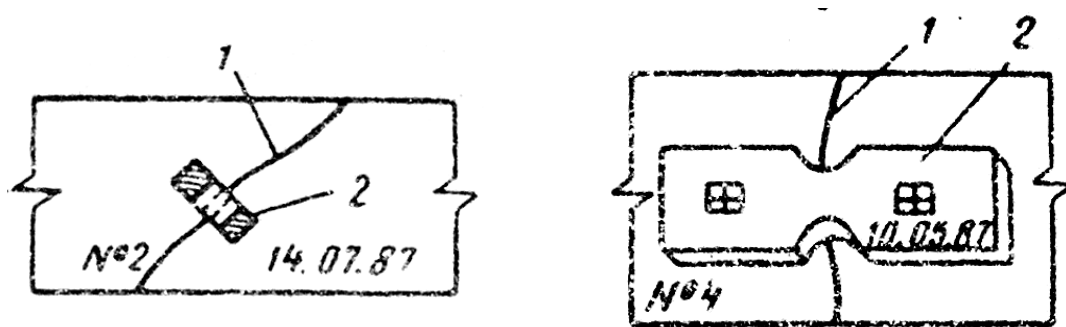


Рис. 3.11. Маяки для спостереження за тріщинами в конструкціях:
1 – тріщина; 2 – маяк

2. *Метод пластичної деформації* – міцність встановлюється за кореляційною залежністю між діаметром відбитка після удару по поверхні та міцністю бетону (молоток Кашкарова, молоток ХПС (рис. 3.15)). Приклад кореляційної залежності «діаметр відбитка – міцність» наведено на рис. 3.16.

3. Ударно-імпульсний метод. Багатопараметричний метод контролю міцності, який реалізується в сучасних приладах (рис. 3.17). Контроль міцності бетону здійснюється одночасно за ударним імпульсом та відскоком, що дозволяє підвищити достовірність результатів та скоротити кількість ударів у серії для отримання заданої точності.

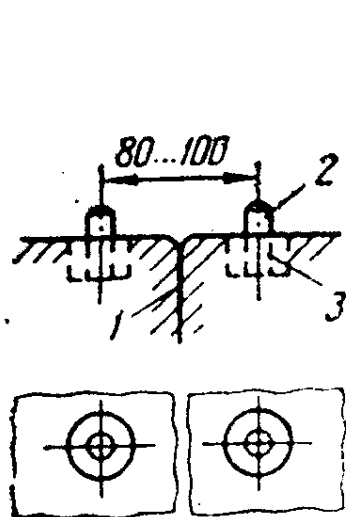


Рис. 3.12. Щілиномір для спостереження за тріщинами в конструкціях:
1 – тріщина; 2 – репер; 3 – анкер

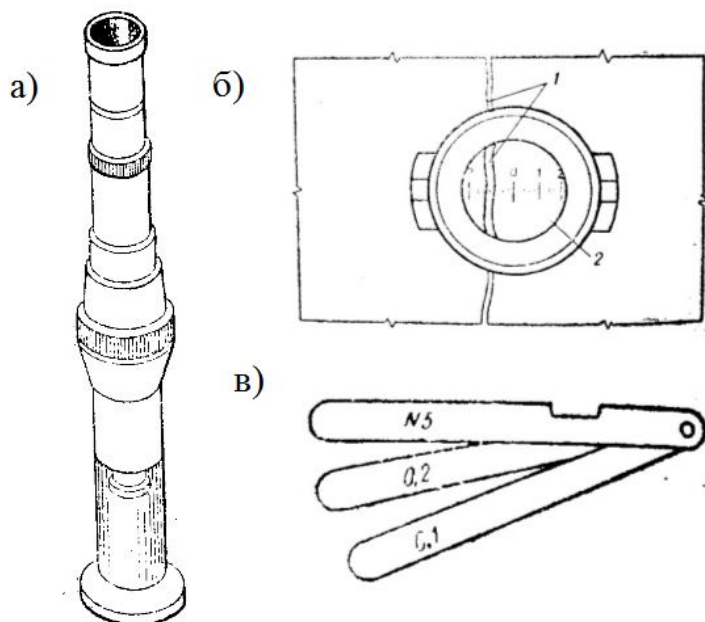


Рис. 3.13. Прилади для вимірювання ширини розкриття тріщин:
а – мікроскоп; б – градуїрована лупа; в – щупи;
1 – тріщина; 2 – шкала лупи



Рис. 3.14. Прилад для визначення міцності бетону методом пружного відскоку

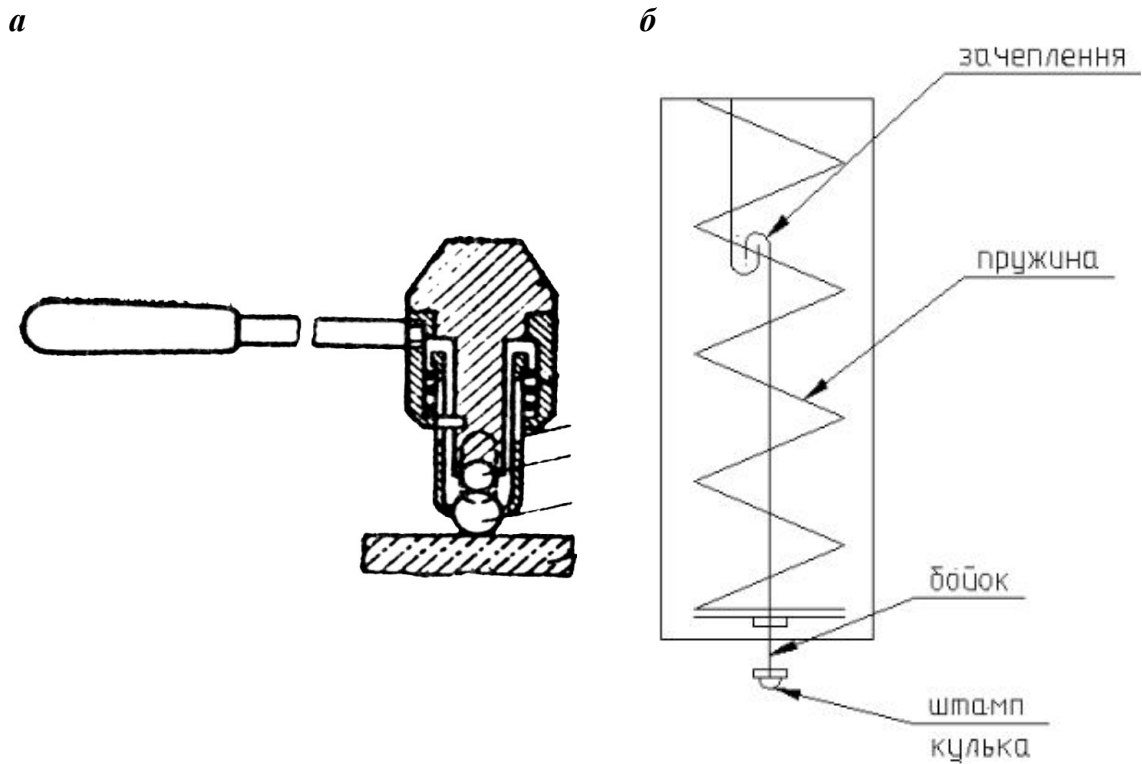


Рис. 3.15. Схеми приладів для визначення міцності бетону
методом пластичної деформації:
а – молоток Кашкарова; *б* – молоток ХПС

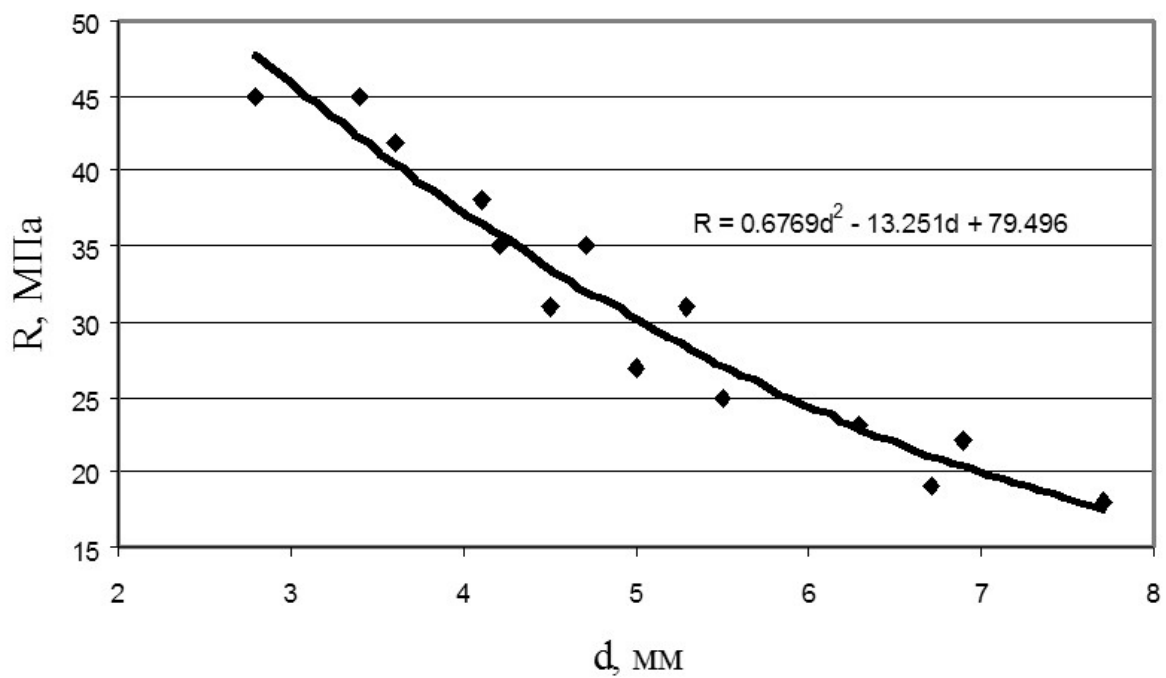


Рис. 3.16. Приклад кореляційної залежності для приладу типу ХПС

4. *Метод відриву зі сколюванням* – міцність встановлюється за кореляційною залежністю між умовним зусиллям, необхідним для виривання анкерного пристрою з поверхні бетону, та міцністю бетону (рис. 3.18).



Рис. 3.17. Прилад для визначення міцності бетону ударно-імпульсним методом

а



б



Рис. 3.18. Визначення міцності бетону методом відриву зі сколюванням:
а – прилад ГПНС-4; *б* – зона контролю міцності

5. *Метод відриву* – міцність встановлюється за кореляційною залежністю між умовним зусиллям, необхідним для відриву приклеєного до поверхні сталюого диска, та міцністю бетону.

6. *Метод сколювання ребра.*

Методи контролю якості матеріалу конструкцій:

1. *Ультразвуковий метод.* Дозволяє оцінити однорідність, міцність, щільність, наявність пустот, глибину розкриття тріщин. Величина характеристики встановлюється за кореляційним відношенням із швидкістю проходження ультразвуку через матеріал.

Метод пов'язує швидкість поширення ультразвукових коливань в бетоні з його міцністю. Швидкість поширення коливань залежить від щільності бетону, тому для цього методу побічною характеристикою міцності є щільність бетону.

Ультразвукові вимірювання в бетоні виконують способами наскрізного або поверхневого прозвучування (рис. 3.19) приладами, призначеними для вимірювання часу поширення ультразвуку в бетоні.

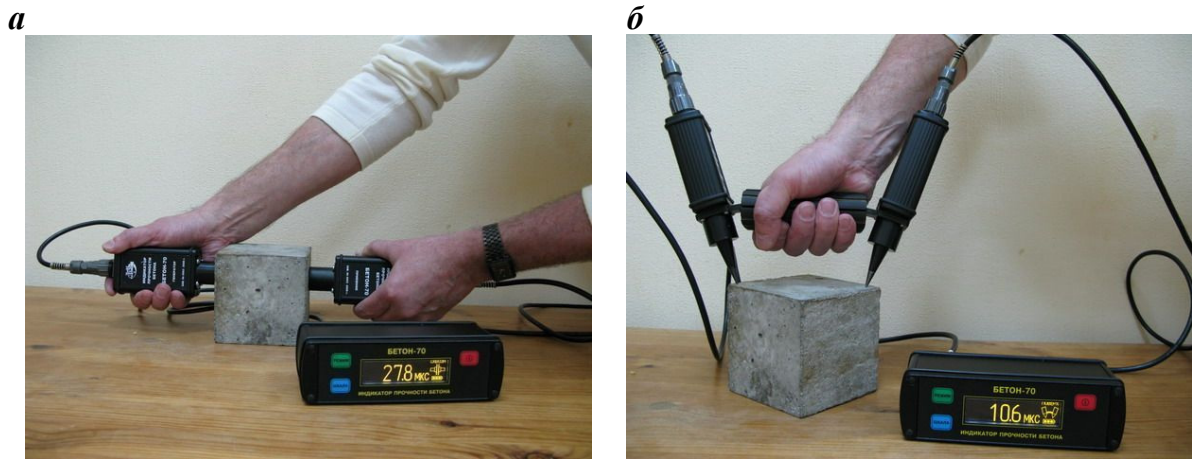


Рис. 3.19. Схеми прозвучування
під час проведення ультразвукового контролю міцності бетону:
а – наскрізне; б – поверхнєве

Приклад кореляційної залежності «швидкість поширення ультразвуку – міцність бетону» наведений на рис. 3.20.

2. *Радіометричні та радіаційні методи.* Виявлення пустот, тріщин. Найбільш поширений рентгенівський метод.

3. *Магнітний метод* (на основі методу електромагнітної індукції). Застосовується для визначення параметрів армування залізобетонних конструкцій: кроку розташування та діаметра арматурних стержнів, товщини захисного шару бетону (рис. 3.21).

4. *Визначення водопроникності бетону прискореним методом* (за повітропроникністю) (рис. 3.22).

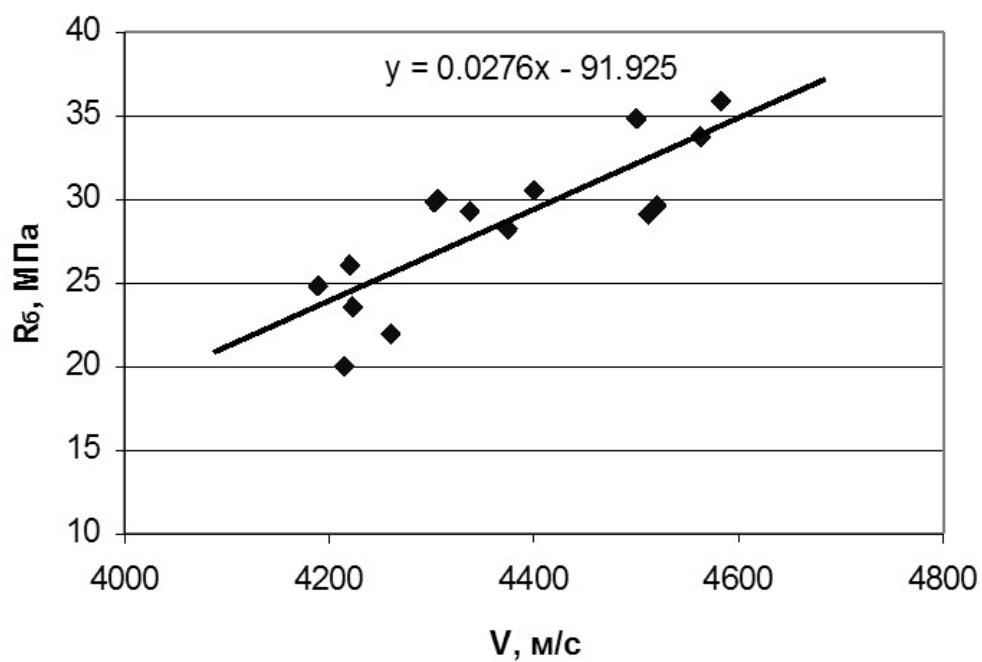


Рис. 3.20. Приклад кореляційної залежності «швидкість—міцність»



Рис. 3.21. Прилади для визначення параметрів армування залізобетонних конструкцій магнітним методом



Рис. 3.22. Прилад ВВ-2 для визначення водопроникності за повітропроникністю бетону

Методи контролю санітарно-гігієнічних параметрів конст-рукцій:

1. *Контроль вологісного режиму конструкцій (вологоміри).*
2. *Контроль теплозахисних якостей (тепловізори, вимірювачі теплопровідності).*

Спеціальні методи обстежень:

1. *Геолокація* – неруйнівний метод виявлення та дослідження підповерхневих ґрунтових середовищ методом радіолокаційного зондування.

2. *Вібраційна діагностика* – метод діагностування технічних систем, що базується на аналізі параметрів вібрації, що виникає внаслідок впливу збуджувача. Далі отримані датчиками фактичні параметри вібрації елементів споруди, зумовлені структурою досліджуваного об'єкта, порівнюються з роботою моделі. У випадку невідповідності параметрів вібрації окремих елементів споруди в них передбачаються несправності й виконується натурне обстеження.

3.2.2. Руйнівні методи обстежень

1. *Визначення характеристик бетону (міцність, водонепроникність) за зразками-кернами.* Процес відбору керна з бетонної конструкції та зображення відібраних зразків-кernів наведені на рис. 3.23.



Рис. 3.23. Відбір зразків-кernів з бетонної конструкції

Відібрані зразки матеріалу дозволяють визначити характеристики матеріалу конструкції прямими методами (рис. 3.24, 3.25) та оцінити параметри його структури.

2. *Визначення характеристик арматури (розривне зусилля, пластичність) за відібраними з конструкції зразками.* Для прикладу: у конструкціях, які піддавалися впливу пожежі (рис. 3.26, а), могли змінитися характеристики арматури, що могло б вплинути на несучу здатність конструкції. Для оцінки величини цих змін з допустимих ділянок конструкції відбирають фрагменти арматурних стержнів, які випробовують у лабораторії розривною машиною (рис. 3.26, б).



Рис. 3.24. Встановлення міцності бетону випробуванням зразків-кernів на лабораторному пресі

3. *Визначення параметрів армування конструкцій виконанням контрольного розкриття бетону захисного шару* (рис. 3.27).



Рис. 3.25. Лабораторні установки для визначення водонепроникності бетону за методом «мокрої плями»

а



б

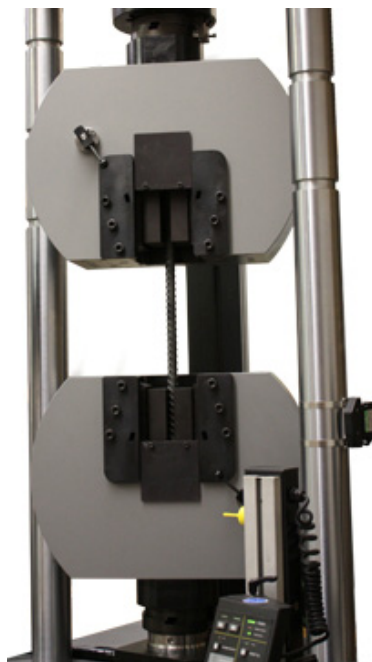


Рис. 3.26. Зона відбору контрольних зразків арматури конструкції, що піддавалася впливу пожежі (*а*), та випробування зразків лабораторною розривною машиною (*б*)

Виконання контрольного розкриття арматури для визначення параметрів армування конструкції є найбільш надійним способом, оскільки дає прямий результат (порівняно з магнітним методом, для прикладу).



Рис. 3.27. Контрольне розкриття арматури для визначення параметрів армування конструкції

Виконання контрольного розкриття арматури може по-різному впливати на експлуатаційну придатність конструкції: якщо розкриття в розтягнутій зоні конструкції – вплив мінімальний, якщо в стиснутій – може бути значним.

3.3. Проектування ремонту та підсилення конструкцій будівель та споруд

3.3.1. Завдання, що вирішуються в ході проектування ремонту та підсилення конструкцій

Ремонт конструкцій – це усунення дефектів, пошкоджень, тобто заходи збереження конструкцій від передчасної втрати експлуатаційної придатності (передчасного зносу), а також (у разі капітального ремонту) заміна та відновлення окремих частин конструкцій (які не визначали несучу здатність).

Наявні в конструкціях дефекти та пошкодження (руйнування антикорозійних покриттів, оголення арматури і т. д.) не викликають

втрати несучої здатності або руйнування на теперішній момент (вимоги нормативних документів забезпечуються), але призводять до значного скорочення терміну служби конструкції. Прискорюється погіршення експлуатаційних якостей, зокрема корозійне пошкодження бетону призводить до зниження міцності, а корозія арматури спричиняє зменшення робочого перерізу стержнів.

Таким чином, усунення дефектів та пошкоджень (виконання або відновлення антикорозійних покриттів, захисного шару бетону) дозволяє утримувати показники роботи конструкції на сталому рівні й не допускати принаймні значного (різкого) їх погіршення.

Підсилення конструкцій – це роботи з відновлення або збільшення несучої здатності, тріщиностійкості, зменшення деформативності, покращення інших показників їх якості.

Дефекти та пошкодження конструкцій призводять до порушення вимог нормативних документів до несучої здатності або інших показників. Наприклад, виконати захист арматурних стержнів конструкції, які значно прокородували й зменшили площу перерізу, уже буде недостатньо, оскільки зменшилася несуча здатність конструкції. Для її відновлення (збільшення) необхідно відновити (наростити) площу перерізу арматури або здійснити інші заходи, тобто підсилити конструкцію.

У деяких випадках (реконструкція, зміна функціонального призначення) виникає необхідність саме збільшення несучої здатності порівняно з початковою (проектною).

Рішення про підсилення конструкцій приймається після проведення перевірних розрахунків за умови, якщо інші способи забезпечення надійної експлуатації (такі, як перерозподіл та зниження навантажень, використання розвантажувальних елементів) неможливі або недоцільні.

Для скорочення обсягів робіт з ремонту й підсилення повинні виявлятися й використовуватися резерви несучої здатності конструкцій шляхом:

- а) уточнення зусиль, що діють у найбільш напружених елементах, з урахуванням їх просторової роботи, фактичних умов з'єднання, встановлених значень навантажень та впливів;
- б) уточнення характеристик міцності матеріалу конструкцій;
- в) врахування фактичних розмірів перерізів елементів.

З цією ж метою одночасно з ремонтом і підсиленням вживаються заходи для покращення умов роботи несучих конструкцій:

а) зменшення навантажень, що діють на будівлю або окремі елементи (наприклад, зміна конфігурації покрівлі для зменшення можливості формування снігових мішків та ін.);

б) зменшення навантажень від ваги огорожувальних конструкцій шляхом їх заміни більш ефективними.

Обґрунтований вибір способів і прийняття надійних технічних рішень з ремонту та підсилення конструкцій, а також необхідного обсягу й складу робіт здійснюється на основі даних, отриманих під час обстеження та інженерних вишукувань, і висновку про категорію технічного стану.

Якщо збільшення навантажень на конструкцію не планується, то:

– у разі *нормального* технічного стану (I категорія) відсутня необхідність у ремонтних роботах;

– разі *задовільного* технічного стану (II категорія) існує необхідність відновлення захисних покриттів конструкції та їх дрібний ремонт;

– у разі *непридатного до нормальної експлуатації* технічного стану (III категорія) необхідно виконати ремонт чи підсилення конструкції у звичайному режимі експлуатації (якщо є потреба, обмежити експлуатацію);

– у разі *аварійного* технічного стану (IV категорія) необхідно виконати ремонт чи підсилення конструкції, попередньо вживши заходів проти її обвалення.

3.3.2. Способи ремонту й підсилення конструкцій

Способи ремонту й підсилення конструкцій умовно поділяються на чотири групи.

1. Ремонт конструкцій:

– захист від атмосферної та ґрунтової вологи. Виконання гідроізоляції та гідрофобізації конструкцій;

– відновлення антикорозійного захисту конструкцій;

– відновлення теплозахисних функцій зовнішніх стін будівель. Неефективне виконання теплозахисних функцій огорожувальними конструкціями будівель може призводити до конденсації в них

водяної пари – водонасичення – руйнування матеріалу внаслідок морозної деструкції;

- відновлення робочого перерізу конструкції без зміни її форми та геометричних розмірів. У більшості випадків виконується відновлення бетону захисного шару, зруйнованого внаслідок корозії арматури. Також відновлюються поверхні, де втрати матеріалу викликані корозійними та температурними впливами, морозною деструкцією;

- відновлення гідроізоляційних функцій покриттів будівель. Пошкодження конструкцій покриття будівель (плити, балки, ферми та ін.) внаслідок експлуатації пошкодженої або неякісно виконаної покрівлі – досить поширене явище;

- збільшення міцності існуючих конструкцій за рахунок просочування та ін'єкції ремонтних матеріалів. Цей спосіб певною мірою можна відносити й до підсилення конструкцій. На ринку є полімерні композиції, просочення якими бетону дозволяє значно збільшити його міцність (за деякими даними з 20 МПа до 90 МПа). Для певних конструктивних елементів просочення бетону дозволить значно збільшити їх несучу здатність;

- поліпшення естетичного вигляду окремих елементів і будівель у цілому. Закриття тріщин, відновлення бетону захисного шару, відновлення оздоблювальних покриттів.

2. Збільшення несучої здатності:

- без зміни розрахункової схеми – шляхом підсилення послабленого перерізу або частини елемента;

- зі зміною розрахункової схеми:

- а) шляхом зміни місця передачі навантаження;

- б) підвищення ступеня статичної невизначеності (уведення додаткових зв'язків, що забезпечують нерозрізність та просторову роботу);

- в) зі зміною напруженого стану за рахунок влаштування додаткових затяжок, розпірок, обойм.

3. Розвантаження залізобетонних та кам'яних конструкцій шляхом передачі навантаження на інші конструкції.

4. Заміна конструкцій:

- розбирання існуючих аварійних конструкцій з подальшим встановленням нових;

- влаштування нових конструкцій з подальшим розбиранням існуючих;

- влаштування нових елементів без розбирання існуючих.

3.3.3. Загальні вимоги до проектування ремонту та підсилення конструкцій

Ремонт і підсилення будівельних конструкцій будівель та споруд виконуються на підставі проектної документації, розробленої спеціалізованою проектною організацією.

Під час розробки проектної документації враховуються вимоги з технології та організації будівельного виробництва, вимоги охорони праці та охорони навколишнього середовища, а також особливі вимоги, пов'язані зі специфікою та умовами виконання робіт на певному об'єкті.

Спосіб ремонту чи підсилення вибирається на основі техніко-економічного порівняння варіантів з урахуванням:

- необхідного ступеня збільшення (відновлення) несучої здатності;
- можливості реалізації прийнятого способу в конкретних виробничих умовах (пожежо- і вибухонебезпека, хімічна агресивність середовища тощо);
- обмежень, що накладаються діючим на об'єкті технологічним процесом;
- ступеня надійності й довговічності конструкцій;
- перспектив подальшої експлуатації (розвитку виробництва);
- місцевих умов і досвіду проектування та будівництва.

Крім того, вибираючи спосіб підсилення конструкцій, необхідно враховувати такі обставини, що можуть значно ускладнити проведення робіт:

- неможливість зупинення існуючого на об'єкті технологічного процесу;
- необхідність влаштування риштувань для встановлення елементів підсилення (можливі складності з їх розташуванням);
- необхідність демонтажу фрагментів огорожувальних конструкцій та покриттів (стіни, покрівлі);
- необхідність тимчасового виключення з роботи основних несучих конструкцій і контролю за їх напружено-деформованим станом.

Розробку проекту ремонту або підсилення конструкцій виконують на основі таких вихідних даних:

1. Характер та обсяги дефектів та пошкоджень.
2. Проектні параметри конструкцій та фактичні дані про розміри перерізу, параметри армування, міцність бетону.

3. Величини фактичних і проектних навантажень, умови роботи конструкцій (порівнюються проектні та фактичні дані).

4. Інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови майданчика.

5. Відомості про зони та ділянки, де раніше виконувалося підсилення конструкцій (матеріали проекту, виконавчої та експлуатаційної документації).

6. Результати перевірних розрахунків (з урахуванням діючих навантажень та умов експлуатації, фактичних параметрів конструкцій та міцності матеріалів, виявлених дефектів та пошкоджень). Конструкції, які не задовольняють вимоги перевірних розрахунків, підлягають підсиленню.

Розробляючи проект підсилення конструкцій будівель і споруд, у робочих кресленнях необхідно відобразити такі питання виконання робіт:

- послідовність виконання робіт з підсилення конструкції в цілому та її окремих елементів, якщо ця послідовність впливає на напружено-деформований стан конструкції;

- взаємозв'язок робіт з виконання підсилення з технологічним процесом (обмеження навантажень і впливів) і умовами їх проведення (наприклад, температурний режим);

- заходи щодо забезпечення міцності й стійкості конструкції на всіх етапах виконання робіт, включаючи вказівки про влаштування тимчасових опор і розкріплень і вимоги до величини монтажних навантажень і впливів;

- заходи щодо забезпечення безпечного виконання робіт з ремонту, підсилення й реконструкції в умовах діючого виробництва, особливо на об'єктах, що перебувають у аварійному стані;

- перелік робіт і операцій, які необхідно приймати за актами на приховані роботи і які потребують проміжного контролю.

Розробляючи проект підсилення конструкцій, що експлуатуються в умовах накопичення пошкоджень або в умовах, що сприяють такому накопиченню, необхідно зазначити граничний термін реалізації (впровадження) проекту, після якого проектні рішення повинні бути уточнені чи переглянуті. Крім того, часовий проміжок між завершенням та реалізацією проекту не повинен перевищувати встановленого проектом терміну.

Контрольні завдання та запитання

1. Якими є основні завдання діагностики технічного стану будівель і споруд?
2. Як класифікуються обстеження? Мета проведення обстежень будівель і споруд?
3. На які етапи поділено процес діагностики технічного стану?
4. Якими є основні завдання організації робіт з діагностики технічного стану?
5. Які методи обстежень належать до неруйнівних? Переваги та недоліки.
6. Які методи обстежень належать до руйнівних? Переваги та недоліки.
7. Які завдання проектування ремонту та підсилення конструкцій?

Технології відновлення бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкцій

4.1. Інженерна підготовка ремонту конструкцій будівель та споруд

Особливості виконання робіт в умовах діючих транспортних або промислових об'єктів вимагають особливого підходу до інженерної підготовки виробництва, максимального врахування всіх факторів, що мають істотний вплив на технологію й організацію будівельних процесів.

Інженерна підготовка виробництва являє собою комплекс підготовчих заходів організаційного, технічного, технологічного і планово-економічного характеру, що передують початку виконання основних робіт і забезпечують своєчасне проектування і здійснення відновлення об'єкта у встановлений термін.

Комплексне рішення й ув'язування всіх підготовчих заходів і робіт, чітке визначення їхньої структури і змісту створюють необхідні передумови для їх безперервного й ефективного виконання.

Головне завдання інженерної підготовки – створення необхідних сприятливих умов для планомірного розгортання основних будівельних робіт з високими техніко-економічними показниками ефективності.

Крім того, підготовка робіт з відновлення експлуатаційної придатності об'єкта повинна забезпечувати мінімальну тривалість зупинки основного, діючого на об'єкті технологічного процесу, а за можливості – проходити без порушення ритму експлуатації об'єкта.

З урахуванням особливостей транспортних споруд, ускладнення підготовки ремонтних робіт викликане необхідністю детального

опрацювання технології та організації виконання специфічних робіт з ремонту та підсилення в умовах експлуатованих об'єктів.

До згаданих особливостей можна віднести такі:

- роботи виконуються в діючих цехах, у стиснутих умовах, незручних для розташування обладнання, риштувань, використання засобів механізації;

- роботи виконуються за жорстким часовим графіком, пов'язаним з діючим технологічним процесом (рух рухомого складу на залізничних спорудах – роботи на окремих ділянках можливі тільки у відведені часові «вікна»);

- виникає необхідність у виконанні багатьох додаткових операцій (демонтаж існуючих конструкцій, демонтаж та перенесення інженерних мереж та обладнання).

Процес інженерної підготовки умовно можна розділити на організаційний та підготовчий етапи.

Організаційний етап. Замовник, проектна та генпідрядна організації виконують організаційно-технологічні заходи, що передують початку підготовчих робіт на об'єкті ремонту.

Замовник вирішує такі питання:

- узгодження, затвердження у встановленому порядку й передача генпідряднику розробленої проектно-кошторисної документації;

- укладання договорів з генпідрядною організацією та забезпечення фінансування;

- узгодження послідовності надання фронтів робіт виконавцю (часткове припинення експлуатації на певних ділянках об'єкта в певні часові проміжки);

- забезпечення майданчика проведення робіт електроенергією (та іншими ресурсами).

Проектна організація розробляє проект організації робіт (ПОР). Обов'язково враховуються дані передпроектного обстеження об'єкта, надані замовником дані про доцільність етапів виконання робіт, можливу послідовність робіт, терміни зупинки виробництва чи зупинки комунікацій.

Усі організаційно-технологічні рішення, прийняті в проекті, генпроектувальник погоджує із замовником, генпідрядною і в разі потреби із субпідрядними організаціями (наявність чи необхідна кількість певного обладнання та виконавців).

Генпідрядна організація:

- укладає договори на виконання робіт із субпідрядними організаціями. Субпідрядна організація повинна приступити до виконання своєї частини робіт в чітко відведений час, що дозволить забезпечити чітке виконання календарного плану. Для цього пошук субпідрядників та укладання з ними договорів необхідно здійснити заздалегідь;

- розміщує замовлення на виготовлення, постачання й комплектацію необхідних конструкцій, виробів і матеріалів. Для відновлення об'єктів можуть застосовуватися матеріали та вироби, які виготовляються за спеціальними замовленнями, що вимагає певного часу. Під час реконструкції діючих об'єктів монтажні роботи часто виконуються «з коліс», що потребує дотримання чіткого графіка постачання конструкцій. Також узгодження потребує транспортування великогабаритних конструкцій (мостових балок);

- розробляє проекти виконання робіт (ПВР).

Документи ПОР і ПВР розробляються, як правило, на реконструкцію об'єктів. При великих обсягах робіт можуть розроблятися і на ремонт.

Підготовчий етап. На підготовчому етапі виконуються заходи і роботи, пов'язані безпосередньо з підготовкою будівельного майданчика й ділянок ремонту та відновлення. Підготовчі роботи поділяють на позамайданчикові та внутрішньомайданчикові.

Позамайданчикові роботи виконуються за межами об'єкта реконструкції або ремонту й включають (у разі потреби):

- будівництво під'їзних шляхів. Оскільки об'єкт перебуває в експлуатації (наприклад, мостовий перехід), значно ускладнюється доставка та стоянка вантажопідйомних механізмів та інших засобів механізації, допоміжного обладнання. У такому випадку може знадобитися улаштування тимчасових під'їзних шляхів та майданчиків (рис. 4.1);

- прокладення комунікацій. Наприклад, у разі необхідності забезпечення майданчика електроенергією (використання автономних джерел неефективне) влаштовуються тимчасові мережі;

- влаштування проміжних баз складування матеріалів. Одна з особливостей виконання ремонту конструкцій – відносно невелика витрата матеріалу за одиницю часу (на поверхню конструкції наносяться відносно тонкі шари матеріалу). Тому в разі віддалення

майданчика від основної бази організації-виконавця необхідно створити умови (температура, вологість) для зберігання необхідної кількості матеріалу поблизу місця виконання робіт.



Рис. 4.1. Будівництво тимчасових під'їзних шляхів під час реконструкції мостового переходу

Внутрішньомайданчикові підготовчі роботи здійснюються на території об'єкта, що буде ремонтуватися чи реконструюватися, і включають:

– відключення, демонтаж, захист, перенесення існуючих інженерних мереж і устаткування. У багатьох випадках існуючі інженерні мережі та устаткування обмежують доступ до конструкцій та значно ускладнюють (унеможливлюють) виконання робіт з їх відновлення (рис. 4.2). У таких випадках здійснюється їх демонтаж;



Рис. 4.2. Інженерні мережі та обладнання, що обмежують доступ до конструкцій

– влаштування тимчасових інженерних мереж. Забезпечення доступу до конструкцій може привести до необхідності демонтажу та виведення з експлуатації фрагменту інженерної мережі. Для безперервного функціонування технологічного процесу необхідно компенсувати цей фрагмент тимчасовою мережею;

– влаштування тимчасових огорожень. Вирішуються питання охорони праці – огороження небезпечних зон у місці виконання робіт для мінімізації загрози для працівників, які здійснюють відновлення конструкцій і не «призвичаїлись» до існуючого на об'єкті технологічного процесу (робота обладнання, рух транспорту тощо).

З іншого боку, постійні працівники об'єкта повинні бути убезпечені від загроз, що можуть бути викликані виконанням будівельних робіт з відновлення конструкцій.

4.2. Технологічні операції з підготування поверхонь до ремонту

4.2.1. Підготовка бетонних поверхонь

Завдання підготовки бетонної поверхні до ремонту. Незалежно від запланованих ремонтно-будівельних заходів, якість і структура матеріалу основи – характеристики, що визначають міцне зчеплення ремонтного матеріалу з основою.

Бетон у площині контакту з ремонтним матеріалом повинен бути однорідним, мати неушкоджену зовнішню поверхню, а також достатню міцність.

До поверхні бетону можуть висуватися вимоги за такими показниками:

- шорсткість зовнішньої поверхні;
- частота розташування й величина дефектів поверхні (раковин і пор);
- міцність на відрив;
- ступінь карбонізації;
- допустимий вміст хлоридів;
- вологість і температура бетонної поверхні;

- допустимі вібрації (залізобетонні конструкції мостів, фундаменти під обладнання).

Вимоги до бетонної основи конструкції встановлюються для кожного окремого випадку залежно від технології ремонту та матеріалу.

Підготовчі роботи включають:

- очищення зовнішньої поверхні бетону (видалення забруднень, залишків покриттів);
- видалення шарів бетону з пониженою міцністю;
- очищення поверхні арматури від продуктів корозії (іржі);
- забезпечення необхідної вологості та температури поверхні.

Методи підготовки бетонної поверхні перед ремонтом. Для виконання робіт з підготовки поверхні перед ремонтом застосовують такі групи методів:

- а) механічні (водоструменева (рис. 4.3), піскоструминна обробка (рис. 4.4), фрезування (рис. 4.5), обробка ручним (електро-, пневмо-) інструментом (рис. 4.6, 4.7);

- б) термічні – обробка вогневим пальником (рис. 4.8);

- в) хімічні – обробка речовинами, що руйнують поверхневий шар.

Найбільш поширені методи підготовки бетонної поверхні перед ремонтом наведено в табл. 4.1 [35].

Вибір методу підготовки бетонної поверхні. Вибір найбільш доцільного методу залежить від таких факторів:

- а) стану зовнішньої поверхні бетону, ступеня її забруднення, наявності залишків попередніх захисних шарів;

- б) вимог до поверхні відповідно до передбачуваних ремонтно-будівельних заходів. Перед використанням на поверхні проникаючої гідроізоляції не допускаються «сухі» способи, що призводять до значного пилоутворення й закупорки (заполіровування) капілярних пор (піскоструминна обробка).

У разі нанесення на поверхню тонкошарового покриття виконується обробка дисковою фрезою (зашліфовує поверхню), товстошарового покриття – фрезою барабанного типу (створює рельєф глибиною декілька міліметрів);

- в) можливого негативного впливу на навколишнє середовище, особливостей утилізації відходів. Наприклад, такий ефективний спосіб підготовки бетонної поверхні, як піскоструминний у деяких випадках не може бути застосований через значне пиловиділення (житлова забудова, промислові зони, що не допускають запилення).



Рис. 4.3. Обробка поверхні бетону водним струменем



4.4. Піскоструминна обробка поверхні



Рис. 4.5. Обробка бетонних поверхонь фрезуванням [22]



Рис. 4.6. Обробка поверхні бетону ручним інструментом [22]



Рис. 4.7. Обробка поверхні бетону ручним електро-, пневмоінструментом



Рис. 4.8. Термічний спосіб підготовки поверхні бетону перед ремонтом [22]

Ефективність прийнятого методу встановлюють, виконавши обробку невеликої ділянки поверхні й порівнявши отриману якість обробки з необхідною.

Оскільки використання кожного методу підготовки поверхні пов'язане тією чи іншою мірою з порушенням і пошкодженням структури бетону, рекомендується послідовне застосування декількох методів, від більш інтенсивного впливу до менш інтенсивного. З цієї ж причини глибина поверхневого шару бетону, що видаляється за одну робочу операцію, не повинна перевищувати визначеної дослідним шляхом величини. Після видалення поверхневого шару бетону механічними способами на отриманій поверхні залишається заповнювач з мікротріщинами й цементний камінь з пошкодженою структурою – відбувається формування ослабленої площини безпосередньо під зоною контакту ремонтного матеріалу з бетоном основи.

За дослідними даними, якість зчеплення торкретбетону з основою була найвищою для поверхонь, що були оброблені до оголення крупного заповнювача за допомогою водоструминного методу або легких насічних молотків (7 кг) з подальшою обробкою піскоструминним методом до видалення ослабленої зони оголеної поверхні.

Найменша якість зчеплення була отримана у разі підготовки поверхонь затиранням, малоінтенсивної піскоструминної обробки (низька шорсткість поверхні) або насічки без подальшого видалення ослабленої поверхні бетону.

Методи підготовки бетонної поверхні

Метод	Засоби обробки	Призначення	Опис методу. Особливості
1. Хімічний метод	Кислоти, розчинники	Видалення залишків покриттів, карбонізованого шару бетону	Поверхня обробляється хімічною речовиною, після чого розміщений шар бетону зчищається металевими щітками або змивається водою. Речовина повинна бути безпечною для арматури й матеріалу покриття. Застосування методу обмежується через складність контролю якості та ризик для персоналу
2. Обробка водним струменем, тиск 100–1 000 атм.	Струминний апарат, вода (чиста або з абразивом)	Видалення покриттів та маломіцних шарів	Для підсилення ефекту обробки водним струменем у воду додаються тверді частки (гідроабразивний спосіб). Недоліки: не дозволяє підвищити шорсткість бетону, очистити від бетону арматуру; можливі складності з організацією утилізації води з відпрацьованим матеріалом
3. Обробка водним струменем високого тиску (1 000–3 000 атм)	Струминний апарат, вода	Видалення шарів бетону	Застосування: глибоке зняття бетону зі значним вмістом хлоридів, видалення шарів бетону недостатньої міцності. Переваги: видаляються слабкі та пошкоджені ділянки, бетон необхідної міцності не пошкоджується; арматура очищається від продуктів корозії без негативних наслідків

Метод	Засоби обробки	Призначення	Опис методу. Особливості
4. Піскоструминна обробка	Струминний апарат, кварцовий пісок (сухий гранулат)	Видалення покриттів, очищення арматури від продуктів корозії	Тверді частки на високій швидкості зіштовхуються з поверхнею, відриваючи маломіцні частки бетону. Використовується дрібнозернистий пісок або шлак, електрокорунд. Дозволяє збільшити шорсткість поверхні бетону, ефективно очистити поверхню арматури. Для глибокого зняття шарів бетону через високе пиловиділення метод застосовується рідко. Після піскоструминної обробки поверхню необхідно очистити від пилу
5. Обробка металевими кульками	Струминний апарат, сталеві кульки	Видалення покриттів	За принципом обробка подібна до піскоструминної (кульки вдаряються об поверхню при швидкості приблизно 80 м/с)
6. Фрезування	Фрезерна машина	Видалення бетону на значну глибину	Фрезерні установки з барабанною фрезою використовуються для зняття шару бетону на значну глибину на горизонтальних поверхнях. За один прохід знімають шар товщиною до 5 мм. Після обробки поверхні бетону фрезерною установкою рекомендується додаткова обробка піскоструминним або водоструминним методом

Закінчення табл. 4.1

Метод	Засоби обробки	Призначення	Опис методу. Особливості
5. Обробка металевими кульками	Струминний апарат, сталеві кульки	Видалення покриттів	За принципом обробка подібна до піскоструминної (кульки вдаряються об поверхню при швидкості приблизно 80 м/с)
7. Обробка механічним інструментом	Зубило, перфоратор, відбійні молотки	Видалення бетону на значну глибину. Звільнення арматури від бетону	Видалення шарів бетону на невеликих ділянках, відкриття окремих порожнин і тріщин. Застереження: ймовірність пошкодження арматури в бетоні; небезпека пошкодження бетону на більшу глибину, ніж потрібно. Рекомендується додаткова обробка піскоструминним або водоструминним методом
8. Термічний метод	Газовий пальник, ацетилен-кисень	Видалення органічних забруднень (масел, бітумів). Глибоке зняття бетону, очищення крупного заповнювача	Полум'я газового пальника створює на верхній бетону термічні напруження, що приводять до руйнування й відколювання зовнішнього шару бетону. Для запобігання глибоким руйнуванням у бетоні контролюється швидкість переміщення газового пальника (не менше 1 м/хв). Після обробки застосовується додаткова обробка механічними методами. Недолік: можливе зниження міцності бетонної поверхні після обробки

Про потребу й ступінь (глибину) видалення зовнішнього шару бетону, що піддавався фізичним та хімічним агресивним впливам, приймає рішення експерт, виходячи з характеристик поверхневого шару (міцності) та загальної концепції відновлення та захисту конструкції.

4.2.2. Підготовка поверхні сталевій арматури. Захист арматурних стержнів

Необхідність проведення додаткової обробки арматури перед ремонтом залежить від її стану (ступеня корозії), а також від запланованого виду й матеріалу покриття арматури.

Вид попередньої обробки арматури залежить від умов, у яких буде «працювати» сталь у конструкції:

а) арматура буде покрита новим захисним шаром ремонтного матеріалу при відновленні геометрії конструкції (достатня умова захисту – відновлення пасивуючої дії);

б) на стержні додатково буде наноситися тонкоплівкове захисне покриття (відновлення пасивуючої дії є недостатньою умовою захисту арматури в разі агресивного впливу середовища).

У першому випадку вимоги до класу чистоти поверхні арматури можуть бути меншими.

Видалення продуктів корозії з поверхні арматури. Для виконання робіт необхідне відкриття всіх пошкоджених корозією ділянок арматури. Потрібно враховувати, що під час розкриття арматури несучих конструкцій на значній площі (довжині стержнів) може змінитися статична схема роботи конструкції, що в деяких випадках може привести до руйнування.

Для очищення арматури від продуктів корозії (іржі) згідно з вимогами міжнародної нормативної документації повинні застосовуватися тільки механічні способи очищення поверхні.

Арматура, на яку не буде наноситися додаткове тонкоплівкове захисне покриття, повинна очищатися від продуктів корозії, що відокремлюються. У цьому випадку можна використовувати ручний метод очищення (металеві щітки), піскоструминну обробку, обробку струменем води під тиском від 500 атм. до 1000 атм.

До арматури, на яку буде додатково наноситися тонкоплівкове захисне покриття, висуваються більш жорсткі вимоги до якості

очищення від корозії. Досягнення необхідного класу чистоти й ступеня обробки (з видаленням продуктів виразкової та пітингової корозії) можливе тільки в разі піскоструминної обробки арматури.

Задану чистоту поверхні арматури необхідно забезпечити з усіх її сторін, для чого арматурні стержні відповідним чином оголюються, піскоструминна обробка ведеться з різних сторін під різними кутами.

Захисні покриття поверхні арматури. Для додаткового захисту тонкоплівковими захисними покриттями арматурних стержнів відновлюваних залізобетонних конструкцій використовуються захисні системи на основі епоксидної смоли або модифіковані суміші на основі мінеральних в'язучих.

Вибір тієї чи іншої захисної системи відповідним чином обґрунтовується з урахуванням таких факторів:

- лугостійкість захисного матеріалу;
- стійкість при дії певних агресивних впливів – хімічних, термічних;
- забезпечення необхідної міцності зчеплення з арматурним стержнем та покривним шаром.

Під час нанесення захисних речовин необхідне дотримання рекомендацій виробника (температура, вологість тощо).

Покриття звичайно наносять двома шарами. У разі використання захисних систем на базі епоксидної смоли товщина першого шару повинна складати не менше ніж 0,20 мм. Другий шар для покращення зчеплення зверху посипають піском. Для виключення пошкодження піщинками першого шару покриття другим шаром смоли необхідно здійснювати тільки після достатнього висихання першого шару.

У разі використання захисних матеріалів на основі мінеральних в'язучих їх також наносять двома етапами. Загальна товщина такого подвійного покриття не повинна перевищувати 1,0 мм.

Важливим фактором, що впливає на вибір захисних покриттів арматури, є їхня електрохімічна сумісність з основним бетоном, що забезпечує корозійну стійкість арматури не тільки на відремонтованих ділянках, але й на прилеглих ділянках конструкції.

За деякими даними матеріали з високим опором або практично струмонепровідні (полімербетони) можуть ізолювати ремонтну ділянку від прилеглих – розбіжність в електричній проникності призводить до появи електричної неоднорідності (різниці потенціалів) на

поверхні арматурного стержня в зоні переходу ремонтний матеріал – основний бетон. Як наслідок, корозійний процес буде сконцентрований в обмеженій зоні – зростання швидкості корозії – передчасне руйнування арматури в перехідній зоні.

Для зменшення впливу електричної неоднорідності поверхні арматурних стержнів у перехідних зонах ремонтних ділянок застосовують багатокомпонентні захисні системи: ізоляційне покриття стержня, просочення перехідних ділянок спеціальними речовинами, відновлення геометрії конструкції ремонтним покриттям, поверхнева ізоляція конструктивного елемента від зовнішніх агресивних впливів.

Виходячи із суперечливості результатів досліджень різних авторів з приводу оптимальної електричної проникності захисних плівкових покриттів арматури, під час вибору захисних систем рекомендується аналізувати результати раніше проведених ремонтних робіт в аналогічних умовах.

4.3. Застосування методів підводного бетонування для відновлення конструкцій споруд

Споруди, які експлуатуються у водоймах, піддаються великій кількості агресивних впливів, що призводить до виникнення пошкоджень різного характеру. Відновлення підводної зони та зони змінного рівня води таких споруд є досить складним. Для вирішення таких завдань ефективними є способи підводного бетонування.

Розглянемо найбільш поширені способи підводного бетонування – спосіб вертикально переміщуваної труби (ВПТ) та спосіб висхідного розчину (ВР).

4.3.1. Спосіб вертикально переміщуваної труби

Загальна характеристика способу ВПТ. Спосіб вертикально переміщуваної труби є способом підводного бетонування, що дозволяє проводити бетонні роботи без водовідливу. Бетонування цим способом може здійснюватися на глибинах до 20 м.

Спосіб ВПТ (рис. 4.9) застосовується для відновлення таких споруд: мостових опор, гребель, причалів, доків, набережних стінок, особливо в тих випадках, коли встановлюються стислі терміни виконання робіт, а осушення ушкодженого місця ускладнене.

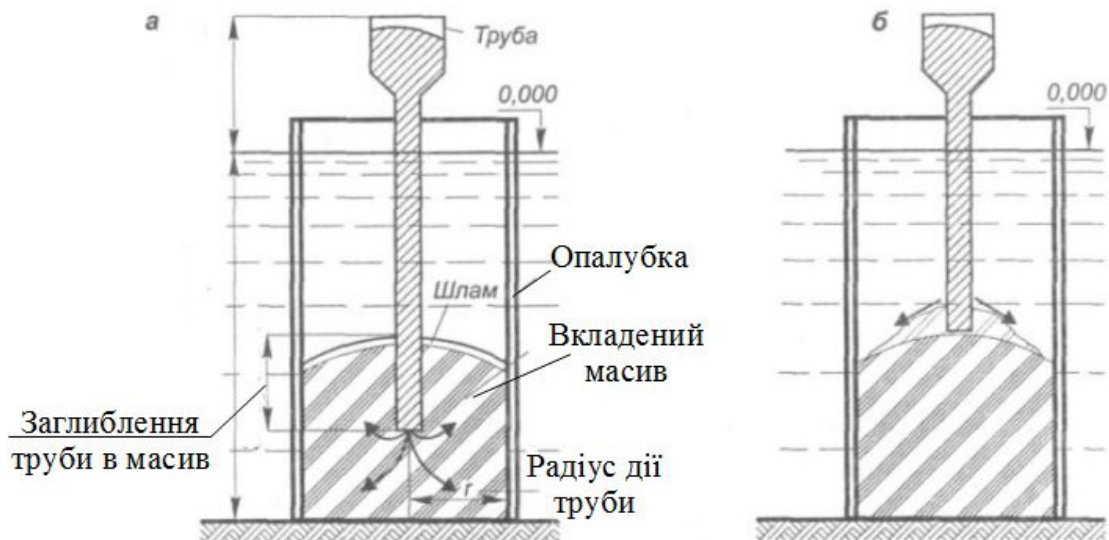


Рис. 4.9. Схема підводного бетонування способом ВПТ:
а – загальна схема; б – схема руху бетонної суміші в разі недостатнього заглиблення труби (порушення режиму бетонування)

Виконання робіт способом ВПТ складається з таких етапів:

- підготовка дна котловану чи місця бетонування;
- влаштування опалубки;
- встановлення арматурних каркасів (у разі потреби);
- встановлення вливних труб і необхідного для подачі бетонної суміші обладнання (рис. 4.10), вібраторів (у разі потреби);
- подача бетонної суміші під воду (послідовність наведена на рис. 4.11, 4.12);

е) зняття опалубки;

ж) огляд забетонованого масиву перед введенням в експлуатацію.

Подача бетонної суміші до місця бетонування може здійснюватися за допомогою бетоноводів, проведених через опори на понтонах. У разі потреби (значна віддаленість від берега) використовується плаваючий бетонозмішувальний вузол (рис. 4.13).

Основа підводного бетонного масиву повинна відповідати вимогам стійкості споруди й бути захищеною від підмиву. Дно перед початком бетонних робіт очищається від сміття й мулу. У разі скельної основи усуваються всі значні нерівності.

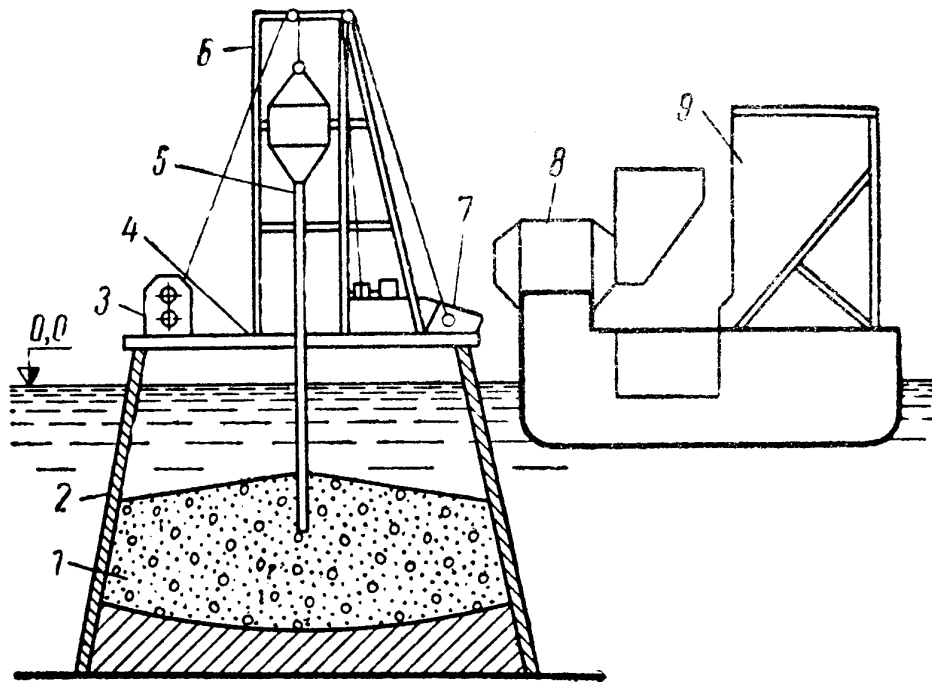


Рис. 4.10. Розміщення обладнання в разі підводного бетонування [13]:
 1 – підводний бетон; 2 – залізобетонна опалубка; 3 – лебідка; 4 – робоча площадка;
 5 – вливна труба; 6 – баштовий підйомник; 7 – ківш підйомника;
 8 – бетонозмішувач; 9 – бункер

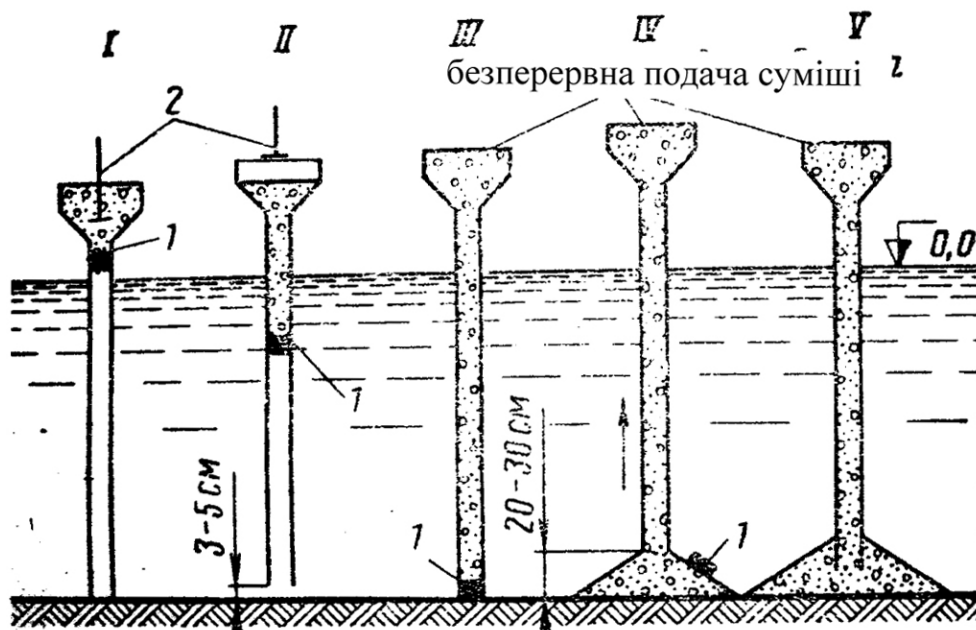


Рис. 4.11. Послідовність операцій
 під час початкового заповнення вливної труби [13]:
 1 – пробка; 2 – клапан

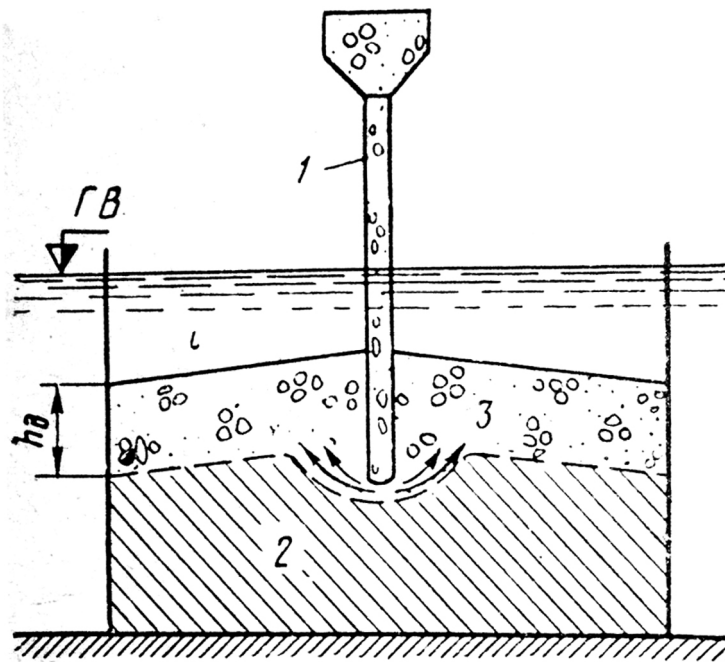


Рис. 4.12. Процес заповнення об'єму бетонною сумішшю [12]:

1 – вливна труба; 2 – вкладений бетон; 3 – зона рухливої суміші

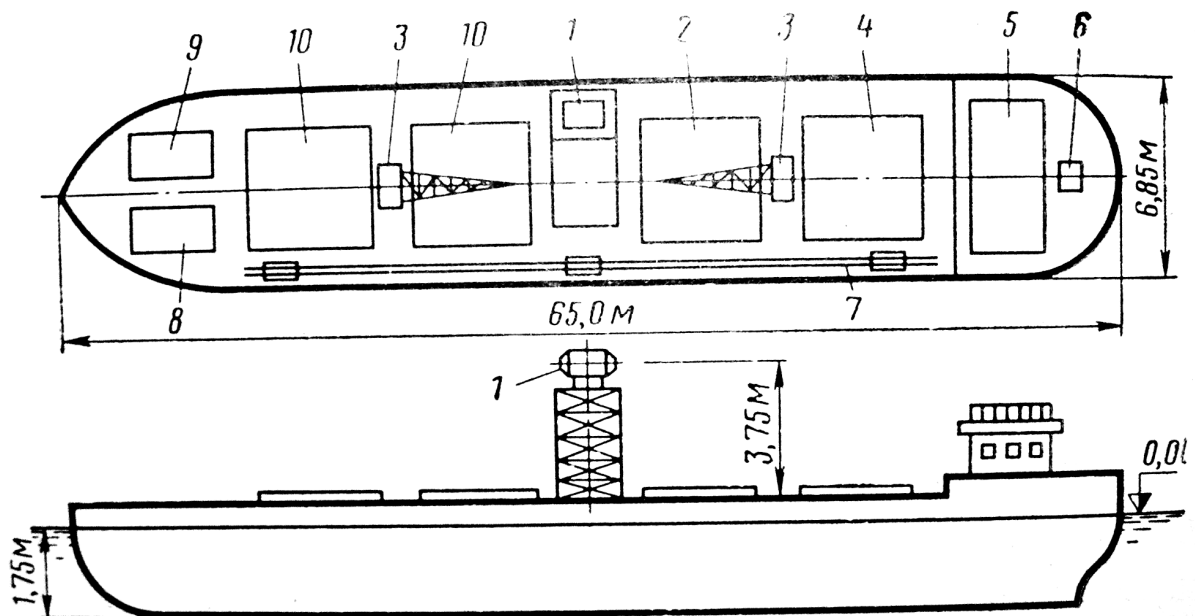


Рис. 4.13. Плавучий бетонний завод [13]:

1 – бетонозмішувач на естакаді; 2 – трюм з цементом; 3 – кран; 4 – трюм з крупним заповнювачем; 5 – цистерна з водою; 6 – насос; 7 – вузькоколіїний шлях; 8 – електростанція; 9 – компресор; 10 – трюм з піском

У міру підйому рівня суміші в бетонованому блоці трубу піднімають (переміщують) вертикально вгору так, щоб нижній її кінець постійно розташовувався в бетонній суміші на глибині $h = 0,75-1,00$ м.

Бетонування блоків проводиться за одну операцію, при цьому перерви або зупинки роботи не допускаються.

Коли верхній шар бетонної суміші досягає відмітки, що перевищує проектну на 10...15 см, трубу повільно витягають з масиву. Надлишковий обводнений шар суміші зрізають при досягненні міцності майже 2 МПа (на другу добу).

Переміщення бетонної суміші по трубі й розподіл її у встановленій під водою опалубці відбувається за рахунок ваги суміші. Виходячи з нижнього кінця труби, бетонна суміш витісняє воду з об'єму й, розтікаючись, поступово заповнює опалубку.

Тільки початковий об'єм суміші після виходу з труби контактує з водою, основний об'єм суміші, надходячи через трубу, кінець якої заглиблений у вкладену суміш, з водою не стикається.

Особливості технологічного процесу вкладання бетонної суміші способом ВПТ. Основні положення технології й організації підводного бетонування включають дві групи питань:

- система оцінки придатності бетонних сумішей і їх складових для підводного бетонування способом ВПТ і методика проектування складу бетону, що впливає з цієї оцінки;
- залежності між основними показниками й умовами процесу бетонування, що визначають вибір його раціональних режимів.

Якість і придатність бетонної суміші та бетону для підводного бетонування способом ВПТ оцінюється сукупністю таких показників:

- рухливість бетонної суміші;
- час збереження рухливості (динаміка зменшення ОК);
- зв'язність бетонної суміші (стійкість до розшаровування);
- міцність бетону і стійкість в умовах агресивної дії середовища.

Для бетонування способом ВПТ рекомендується застосовувати литі суміші з ОК = 16...20 см. Укладання малорухливих бетонних сумішей способом ВПТ може здійснюватися з віброущільненням.

Якщо висота бетонованого масиву не більше 2 м, застосовують суцільні за довжиною труби, при більшій висоті – труби, зібрані з ланок на швидко з'єднуваних фланцях. Як вливні труби можуть також використовуватися секції труб бетоноводів (рис. 4.14).

Діаметр труб призначається з умови забезпечення пропускної здатності та інтенсивності бетонування, але має бути не меншим ніж 5 розмірів найбільшої крупності заповнювача. Звичайно застосовується діаметр труб 100, 200, 300 мм.

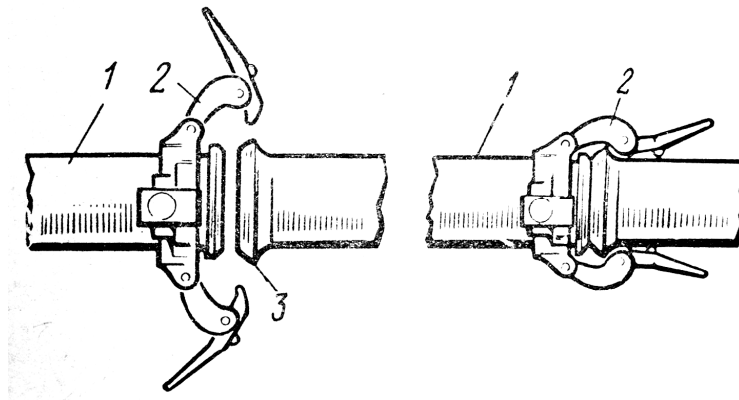


Рис. 4.14. Використання труб бетоновода як вливних [13]:

1 – труба; 2 – замок; 3 – з'єднуюча муфта з ущільненням

Для переміщення труб у вертикальному напрямку під час бетонування використовують лебідку або кран. Лебідка для вертикальних переміщень труби повинна дозволяти регулювати швидкість і висоту переміщень.

Як опалубки для підводного бетонування можуть застосовуватися дощаті опалубки, залізобетонні та металеві конструкції у вигляді бездонних ящиків (рис. 4.15), забиті в основу шпунти.

У разі потреби бетонування під водою блоків великої площі або довжини застосовують декілька труб, що подають бетонну суміш.

Визначення кількості й схеми встановлення труб виконується з урахуванням таких положень:

а) відстань між осями труб призначається не більшою ніж 6 м, до крайніх точок опалубки – 2,5...3,5 м;

б) покращення якості бетонного масиву досягається зменшенням площі ділянки, що бетонується однією трубою;

в) труби встановлюють з розрахунку, щоб їхні робочі площі повністю покривали простір, що бетонується, з деяким перекриттям.

Схема застосування методу ВПТ для відновлення пошкоджених споруд наведена на рис. 4.16.

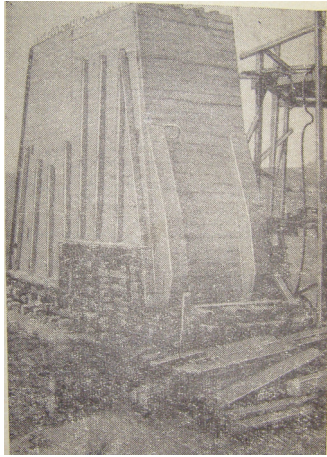
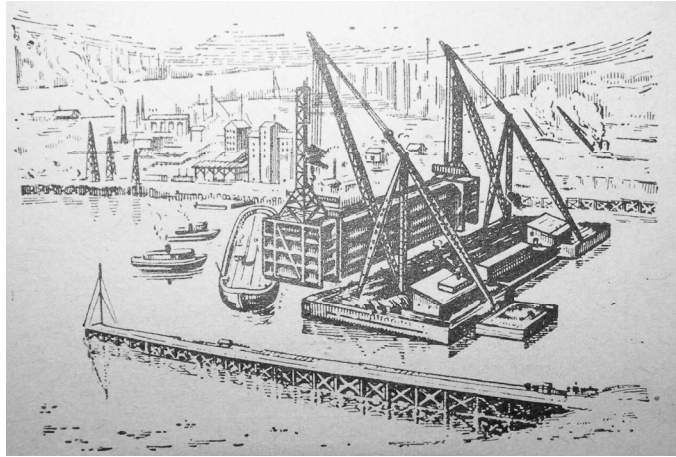
a*б*

Рис. 4.15. Конструкції опалубки для підводного бетонування у вигляді бездонних ящиків [13]:
a – залізобетонні, *б* – сталеві

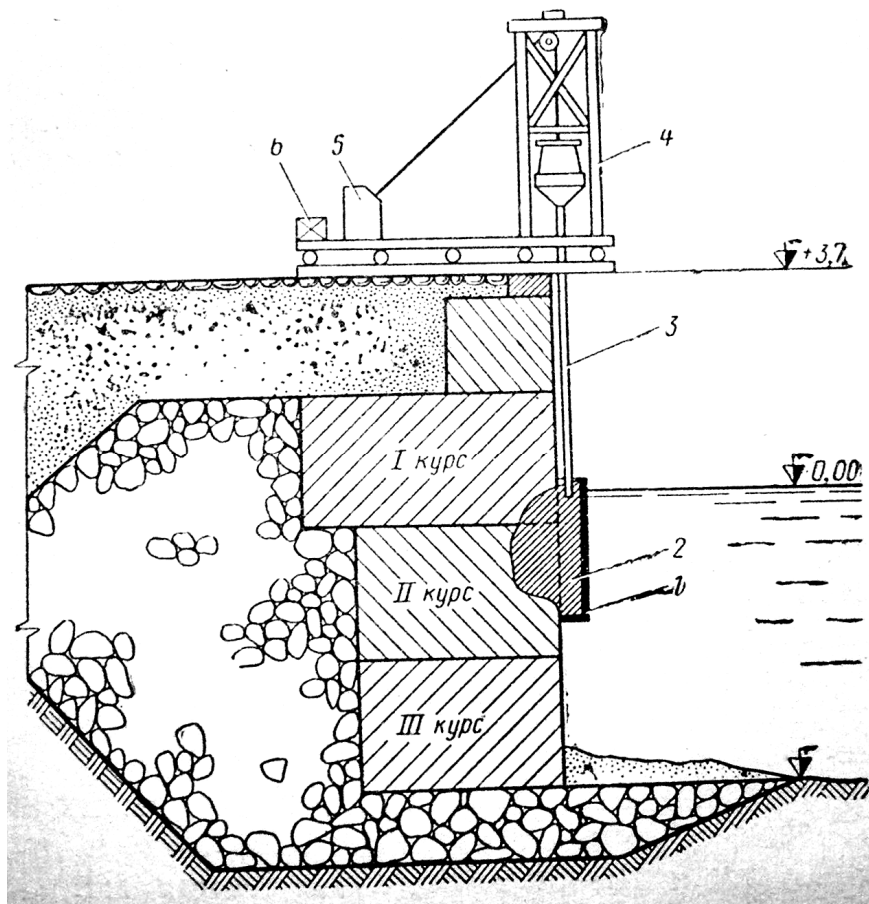


Рис. 4.16. Бетонування залізобетонного поясу методом ВПТ [13]:
1 – опалубка; *2* – каверна (об'ємне пошкодження); *3* – вливна труба;
4 – риштування; *5* – лебідка; *6* – противага

Контроль процесу вкладання. Контроль процесу вкладання бетону під водою виконується шляхом промірів зверху профілю вкладеної частини бетонного масиву (застосуванням поплавкових лотів) і визначення глибини занурення нижнього кінця труби в бетонну суміш. Для цього на трубу в зібраному вигляді наносяться відмітки, що дозволяють відраховувати довжину труби від нижнього кінця до поверхні води.

У процесі замірювання рівня бетонної суміші під водою будуються профілі поверхні масиву, за якими регулюють швидкість подачі бетонної суміші в усіх трубах.

Величиною заглиблення труб у бетон регулюється режим руху бетонної суміші. Збільшення заглиблення приводить до збільшення радіуса дії труби, зменшення ухилу поверхні масиву та швидкості виливання суміші з труби. Зменшення заглиблення приводить до зменшення радіуса розповсюдження суміші, підвищення швидкості виливання суміші з труби та ухилів поверхні масиву.

У разі недостатнього заглиблення труб порушується процес рівномірного розподілу бетонної суміші в блоці.

Поняття «режим бетонування» об'єднує такі фактори:

- інтенсивність бетонування;
- рухливість і зв'язність бетонної суміші;
- дальність розповсюдження суміші;
- величина заглиблення вливної труби;
- радіус дії труби.

Основні причини порушення режимів підводного бетонування:

- заклинювання бетону в трубі;
- втрата заглиблення;
- прорив води в трубу;
- зниження інтенсивності й перерви в бетонуванні.

Відновлення процесу бетонування після прориву води в трубу здійснюється за схемою, наведеною на рис. 4.17.

Під час підводного бетонування зруйнованої хвилями ділянки огорожувальної споруди в одному з портів Чорного моря в 1948 р. величина заглиблення не перевищувала 50...60 см, що стало однією з головних причин подальшого руйнування відновленої ділянки під час сильного шторму в 1949 р. Характер руйнування в цьому випадку вказував на недостатню міцність бетону й відсутність монолітності кладки.

У роки Великої Вітчизняної війни (1941–1945) були частково пошкоджені споруди порту в Керчі. У результаті прямого влучення торпед у споруді утворилися чотири проломи неправильних обрисів довжиною до 25 м з руйнуванням підводної частини на глибину 4...5 м.

Під час відновлення споруди проломи заповнювалися бетоном способом ВПТ з використанням залізобетонної опалубки, що надалі служила захисним облицюванням підводного бетонного масиву. Підводне бетонування зруйнованих ділянок дозволило відновити їх монолітність, зв'язавши уцілілі частини масивів, були збережені первинний профіль і обриси споруд.

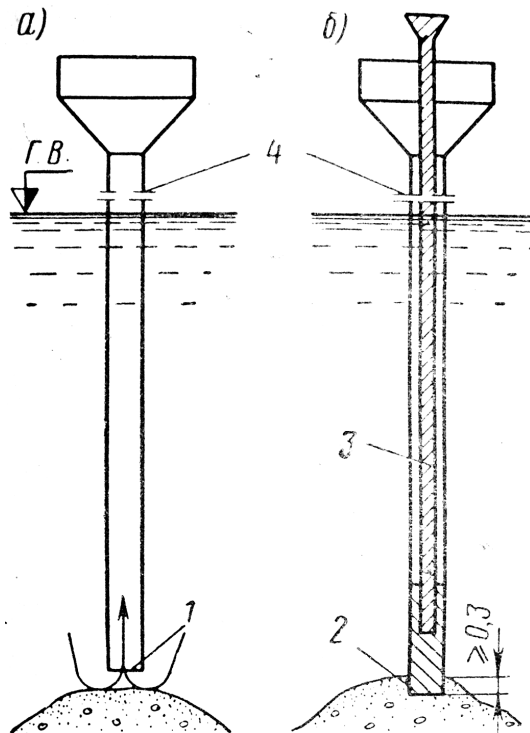


Рис. 4.17. Схема відновлення бетонування після прориву води в трубу [13]:

а – бетонна суміш вийшла з труби й труба заповнена водою; б – заливка вливної труби розчином; 1 – кінець труби піднятий над масивом; 2 – труба заглиблена; 3 – труба з розчином; 4 – розкритий фланець для випуску води з труби

Контроль якості виконання робіт. Виходячи з об'єму й відповідальності споруди здійснюється інспекторський або авторський нагляд.

Здійснюється контроль:

- виконання підготовчих робіт;
- якості бетонної суміші та її складових;
- режиму підводного бетонування;
- якості бетонного масиву.

У підготовці основи, встановленні опалубки (перевірка вертикальності, щільності), спостереженні за розтіканням суміші й запобіганні її витоку, а також огляді завершеного масиву бере участь водолазна служба.

Під час контролю режиму підводного бетонування перевіряють інтенсивність підводного бетонування, стан поверхні бетонного масиву, величину заглиблення труби в бетон.

Якість масиву оцінюють візуальним оглядом та, у разі потреби, випробуванням відібраних по всій висоті зразків-кернів.

4.3.2. Спосіб висхідного розчину

Загальна характеристика способу ВР. Спосіб висхідного розчину є способом підводного бетонування, що дозволяє проводити бетонні роботи без водовідливу на глибинах до 50 м.

Спосіб ВР належить до способів роздільного бетонування, особливість якого – розділення виробничого процесу на два самостійні етапи:

- а) засипання в об'єм, обмежений опалубкою, крупного заповнювача;
- б) заливання розчином.

У разі роздільного бетонування заповнення кам'яного насипу розчином не обов'язково повинно здійснюватися безпосередньо після виконання засипки. Це дає можливість стабілізувати аварійну споруду виконанням кам'яної засипки в короткі терміни, а через деякий час виконати заливання.

Принципова схема підводного бетонування способом ВР наведена на рис. 4.18.

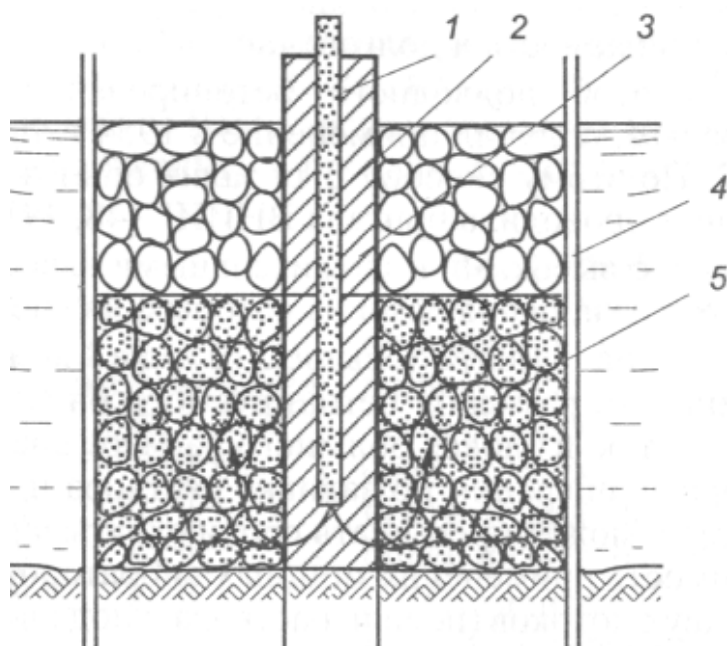


Рис. 4.18. Схема бетонування способом ВР:

- 1 – вливна труба; 2 – цементно-піщана розчинна суміш у трубі;
3 – огорожувальна решітчаста шахта; 4 – огороження котловану (опалубка); 5 – кам'яна засипка із залитим під воду розчином

Виконання робіт способом ВР включає такі операції:

- а) підготовка основи котловану (розчищення пошкодженої частини споруди);
- б) влаштування опалубки;
- в) встановлення огорожувальних шахт для вливних труб та контрольних;
- г) засипка крупного заповнювача;
- д) встановлення вливних труб і необхідного для подачі розчину обладнання;
- е) подача розчинної суміші під воду;
- ж) зняття опалубки й огляд бетонного масиву перед уведенням в експлуатацію.

До основних особливостей способу ВР можна віднести такі:

1. Підвищені вимоги до щільності основи з метою виключення витоку розчинної суміші (дно котловану вирівнюється шаром щебеню чи гравію).
2. Більш жорсткі вимоги до опалубки за міцністю та жорсткістю (при роздільному бетонуванні сприймає більший тиск), щільністю.
3. Влаштування огорожувальних шахт для вливних труб та контрольних шахт (для запобігання затисненню вливних труб каменем засипки та можливості переміщення контрольних пристроїв – поплавкових лотів у контрольних шахтах).

З приводу влаштування огорожувальних шахт існують протилежні думки:

- негативний вплив – розчин, не зустрічаючи в шахтах опору під час руху, швидко піднімається й закриває пустоти між крупним заповнювачем, перешкоджаючи подальшому розповсюдженню розчину в засипці;
- позитивний вплив – при піднятті вливних труб, не огорожених шахтами, порушується структура засипки та монолітність кладки.

Особливості технологічного процесу вкладання суміші способом ВР.

Режими бетонування. Отримання бетонного масиву високої якості з комплексом заданих властивостей забезпечується дотриманням режимів підводного бетонування.

При призначенні режиму бетонування важлива умова – безперервність подачі бетонної суміші. У разі виникнення перерви, її

тривалість повинна бути меншою терміну початку тужавіння розчину. У випадку тривалої перерви роботи відновлюють за умови досягнення розчином міцності 2,0...2,5 МПа. Подачу розчинної суміші ведуть безперервно, з поступовим підняттям труб, при цьому устя труб повинно заглиблюватись в залитий масив не менш ніж на 0,5...0,7 м.

Діаметр вливних труб призначається виходячи з необхідної інтенсивності бетонування та радіуса розповсюдження розчину (звичайно в межах 75...150 мм). Діаметр огорожувальних шахт повинен у 1,5...2 рази перевищувати діаметр труби. Застосовуються у вигляді решітчастих конструкцій або перфорованих труб.

Шахти доводять до рівня, що перевищує відмітку засипки на 0,5 м. При встановленні шахти закріплюються між собою та опалубкою. Одночасно з встановленням огорожувальних шахт можливе встановлення арматурних каркасів (у разі потреби).

Для забезпечення рівномірної та безперервної подачі розчину на трубі встановлюють лійку-бункер (50...70 л), що повинна забезпечувати необхідний резерв розчинної суміші.

Якщо застосовується декілька труб, відстані між ними встановлюються залежно від швидкості подачі розчину та діаметра труб, але не більше ніж 6 м. У випадку подачі суміші кількома трубами на горизонтальну чи малоухильну основу ($i < 0,2$) усі труби включаються в роботу одночасно, при ухилі основи $i > 0,2$ – почергово, а за наявності місцевих впадин глибиною більше ніж 0,5 м в них встановлюють додаткові вливні труби.

Підводне бетонування способом ВР можна здійснювати як у вертикальному, так і в горизонтальному положенні. Для горизонтально вливних труб відстань між ними по горизонталі й вертикалі приймають до 2 м.

Основні вимоги до розчинних сумішей:

- а) текучість (достатня проникаюча здатність);
- б) однорідність (відсутність розшарування).

Рух розчинної суміші в трубах повинен бути ламінарним для запобігання розшаруванню.

Контроль якості проведення робіт. Контроль якості в разі роздільного бетонування способом ВР виконується на всіх етапах виконання робіт і практично не відрізняється від прийомів, характерних для способу ВПТ.

Етапи контролю:

1. Відбір зразків розчину з визначенням його консистенції.
2. Контроль за проникненням розчину в міжзерновому просторі (у встановлених контрольних шахтах рівень підйому розчину встановлюється за допомогою поплавкового лота; через контрольні отвори в опалубці з кроком 30...100 см по висоті).
3. Контроль заглиблення труб.
4. Візуальний огляд масиву та відбір зразків-кернів по всій висоті після набору міцності бетону.

4.4. Застосування методу торкретування для ремонту зовнішніх поверхонь конструкцій

4.4.1. Загальна характеристика способу торкретування

Більшість агресивних впливів на конструктивні елементи протягом терміну експлуатації взаємодіють з поверхневим шаром конструкцій. Тому найчастіше саме поверхня конструкції потребує відновлення.

Усунення дефектів та пошкоджень поверхонь бетонних або залізобетонних конструкцій (влаштування відновних шарів) за технологією виконання ремонтних робіт можна розділити на такі способи:

- торкретування конструкцій;
- обетонування конструкцій;
- місцеве нанесення захисних матеріалів;
- покриття поверхонь захисними сумішами.

Торкретування є одним з найбільш ефективних способів для відновлення та захисту поверхонь конструкцій, що досягається високою щільністю та бездефектністю як самого матеріалу покриття, так і його контакту з основою.

Процес торкретування полягає в механічному нанесенні на поверхню конструкції під тиском стиснутого повітря 0,15...0,20 МПа шарів цементного розчину – торкрету або під тиском до 0,35 МПа бетонної суміші – набризк-бетону. Швидкість подачі суміші на поверхню складає 120...140 м/с, покриття здійснюється одним або кількома шарами.

Торкретуванням утворюють зовнішній високощільний захисний шар бетону або розчину, виконуючи ремонт пошкоджених поверхонь залізобетонних конструкцій. Порівняння зовнішнього вигляду нанесеного покриття наведено на рис. 4.19.

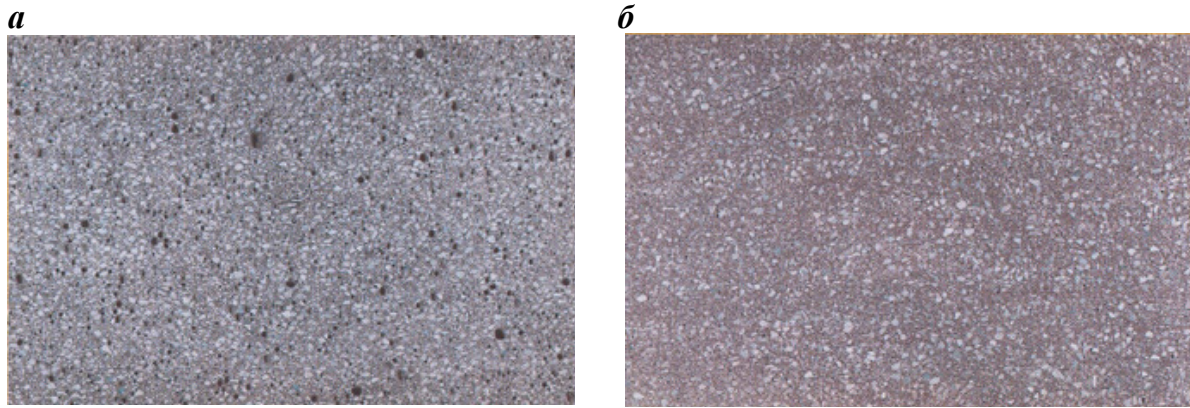


Рис. 4.19. Структура нанесеного шару покриття [40]:

a – ручне нанесення; *б* – механізоване нанесення

Перевага торкретування порівняно з іншими методами бетонування полягає в повній механізації процесів (значне зменшення витрат праці) та в поєднанні в одній технологічній операції транспортування, укладання та ущільнення суміші.

Технологію торкретування застосовують:

- у разі зведення відповідальних тонкостінних залізобетонних конструкцій;
- ремонту й підсилення конструкцій;
- влаштування захисних покриттів (антикорозійних, гідроізоляційних, вогнезахисних);
- потреби отримання бетону високої щільності при ремонтно-відновлювальних роботах гідротехнічних споруд та інших об'єктів;
- закріплення гірничих виробок під час проходження тунелів у гірничо-видобувній галузі. Використовується автоматизоване торкретування поверхонь тунелів спеціальними торкрет-установками.

Нанесення матеріалу методом торкретування дозволяє значно покращити фізико-механічні та експлуатаційні характеристики бетону:

- збільшення показників міцності (міцності на стиск, розтяг);
- зменшення усадкових деформацій;
- зростання стійкості покриття до впливів середовища (корозійної стійкості за рахунок малої проникності, зносостійкості).

Розрізняють два способи торкретування – сухий та мокрий, зображення яких наведено на рис. 4.20.

а



б



Рис. 4.20. Процес торкретування поверхонь [40]:

а – сухим способом; *б* – мокрим способом

4.4.2. Порівняння сухого та мокрого способів торкретування

Сухий спосіб торкретування. Суха бетонна суміш (заповнювач, цемент, порошкоподібні добавки) завантажується в бункер, стисненим повітрям у розрідженому потоці подається в сопло. В основі сопла матеріал змішується з водою або водним розчином добавок і захоплюється повітрям на підкладку. При зіткненні з підкладкою відбувається ущільнення бетонної суміші. Принципова схема сухого способу торкретування наведена на рис. 4.21.

Мокрий спосіб торкретування. Готова бетонна суміш подається насосом по шлангу в сопло до місця укладання. У сопло ж підводиться стиснене повітря, що, додаючи прискорення бетонній суміші, захоплює її на підкладку. При зіткненні з підкладкою відбувається ущільнення бетонної суміші. Принципова схема мокрого способу торкретування наведена на рис. 4.22.

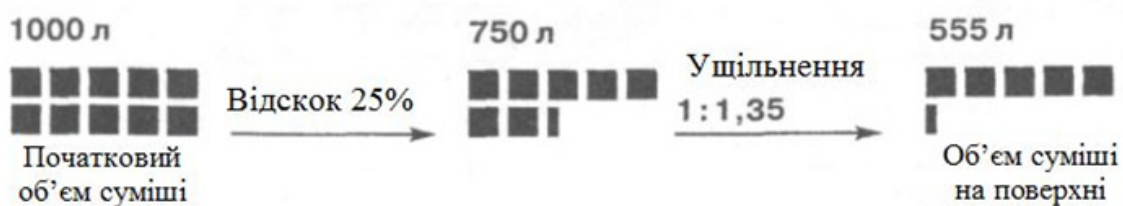
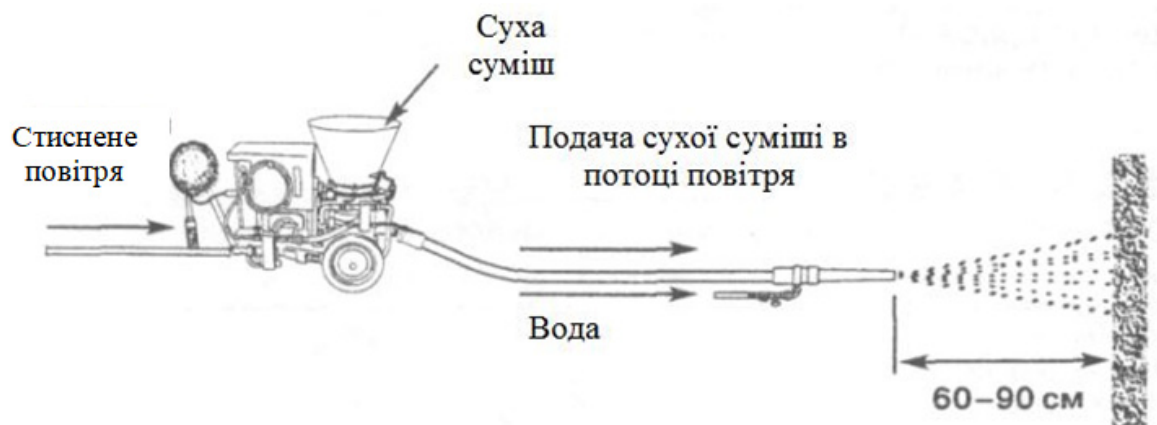


Рис. 4.21. Схема торкретування поверхні сухим способом [40]

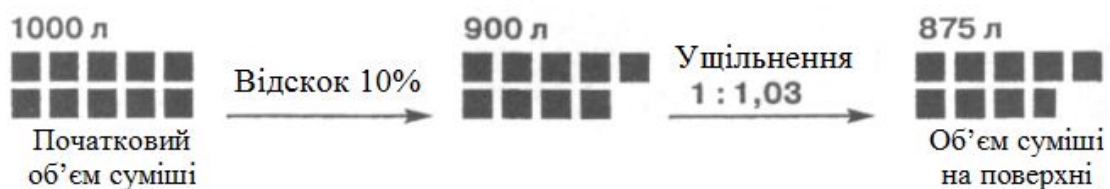
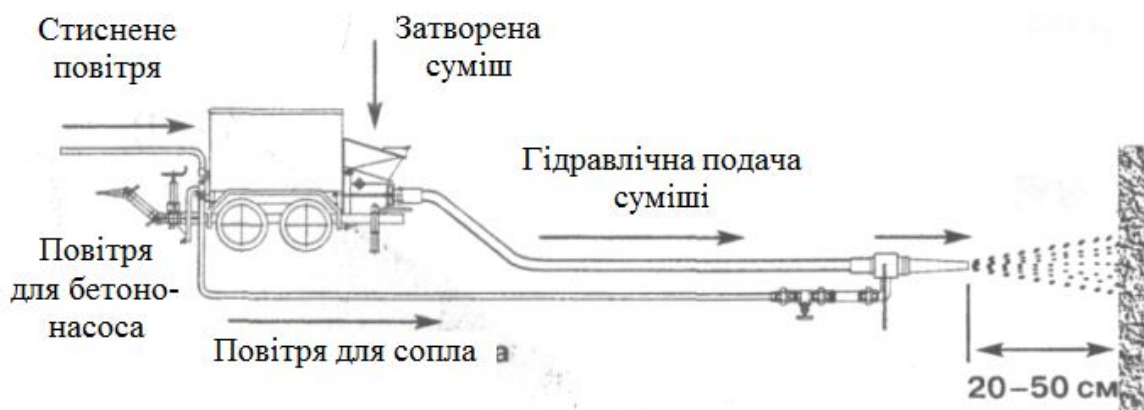


Рис. 4.22. Схема торкретування поверхні мокрим способом [40]

Для спрощення розгляду особливостей сухого та мокрого способів торкретування далі наведено їх зіставлення. Причому вказані переваги одного зі способів можна вважати певним недоліком іншого.

Переваги сухого способу:

а) мінімальне водоцементне відношення (В/Ц). Більша захисна ефективність покриттів, нанесених сухим способом;

б) не потрібне попереднє затворення водою. Виключається технологічна операція попереднього приготування (перемішування) ремонтної суміші;

в) можливість подачі матеріалу на великі відстані. По трубопроводу подається суха суміш у повітряному потоці, що дозволяє транспортувати її на великі відстані при відносно невеликому тиску повітря (швидкості потоку) в трубопроводі. У мокрому способі в трубопроводі перебуває в'язка бетонна суміш з високим гідравлічним опором її переміщення, що потребує достатньо високого тиску.

Ця перевага особливо важлива при відновленні таких споруд, як градирні або димові труби на великій висоті. Це дає можливість розташувати всі допоміжні операції на землі або покритті сусідніх будівель. Порівняння відстані подачі суміші сухим та мокрим способом (технічних характеристик апаратів) наведено на рис. 4.23;

г) можливість нанесення «товщого» шару за один прохід;

д) не потрібне ґрунтування основи «клеюкою» сумішшю;

е) просте очищення устаткування (продувка повітрям);

ж) менша ймовірність засмічення шлангів та устаткування;

з) можливість роботи в режимі «старт-стоп». У бункері установи міститься суха суміш, що дозволяє робити технологічні перерви будь-якої тривалості. У мокрому способі тривалість перерв жорстко обмежена часом втрати пластичності суміші в бункері та подавальному трубопроводі.

Переваги мокрого способу:

а) понижене пилоутворення;

б) однорідний склад бетону;

в) можливість остаточного затирання поверхні. Поверхня нанесеного шару при мокрому торкретуванні може бути вирівняна (загладження, обрізання надлишків) як при звичайному оштукатурюванні. У разі нанесення покриття сухим способом його початкова

«міцність» (за рахунок високої щільності) ускладнює або робить практично неможливим розрівнювання ручним інструментом. Тому сухий спосіб переважно використовується в тих випадках, коли не висуваються вимоги до зовнішнього вигляду поверхні (рис. 4.24);



Рис. 4.23. Технічні характеристики установок для сухого та мокрого торкретування [40]

- г) можливість роботи в стиснутих умовах;
- д) мінімальний відскок;
- е) мінімальні витрати на захист робочого майданчика;
- ж) можливість використання торкрет-машини як бетононасоса;
- з) приготування суміш може застосовуватися для нанесення вручну.

Галузі застосування. Сухий спосіб торкретування переважно застосовується у випадку встановлення високих вимог до щільності нанесеного покриття (агресивне середовище експлуатації), для великих

ремонтних проектів, де можна ефективно організувати захист від пилу й видалення відскоку, відсутні вимоги до зовнішнього вигляду поверхні.

Мокрий спосіб може використовуватися для більшості типів ремонту бетону, зокрема ремонту в обмежених просторах і там, де важливий зовнішній вигляд.



Рис. 4.24. Зовнішній вигляд поверхні конструкцій після їх відновлення сухим способом торкретування

За сухого способу торкретування втрати за рахунок відскоку більші, але в цьому випадку можна не застосовувати «клейкий» шар ґрунтовки.

Відсоткове співвідношення відскоку у разі сухого торкретування залежить від багатьох факторів. Зокрема, від кваліфікації оператора, використаного тиску, типу сопла, відстані й кута між соплом і основою. Відскок при роботах на стельових поверхнях більший, ніж при роботі з вертикальними поверхнями. Кількість відходу матеріалу буде також включати обрізаний при фінальній обробці матеріал.

4.4.3. Технологічні операції з торкретування

Основною умовою отримання торкрету високої якості є виконання технологічних вимог його нанесення. Параметри режиму торкретування (тиск у шлангу, швидкість вильоту торкрету із сопла, водоцементне відношення, відстань між соплом і поверхнею нанесення) значно впливають на кінцеві фізико-механічні та експлуатаційні характеристики нанесеного шару (зчеплення нанесеного шару з основою, міцність матеріалу, його проникність, кількість відскоку).

Роботи з підготовки й торкретування пошкоджених поверхонь залізобетонних конструкцій виконуються в такій технологічній послідовності:

- 1) очищення поверхні від забруднень;
- 2) видалення пошкоджених ділянок поверхні до бетону з достатніми міцнісними характеристиками;
- 3) очищення від продуктів корозії оголених арматурних стержнів;
- 4) усунення дефектів поверхні, забезпечення необхідної шорсткості;
- 5) ґрунтування поверхні (у разі потреби);
- 6) торкретування поверхні торкрет-бетоном або розчином в один або кілька шарів з товщиною шару 20...60 мм;
- 7) очищення проміжних контактних зон між шарами торкретування (у разі потреби);
- 8) нанесення вирівнювального шару розчину або шпаклівки на шорстку поверхню (у випадку, якщо до зовнішнього вигляду поверхні конструкції висуваються певні вимоги);
- 9) захист нанесеного шару від швидкого висихання за рахунок виконання спеціальних заходів догляду за бетоном до досягнення ним проектної міцності.

Підготовка поверхні. Після видалення забруднень та пошкодженого бетону поверхню обробляють для надання їй шорсткості

з метою збільшення міцності зчеплення торкрет-бетону з основою. Обробку поверхні виконують металевими щітками, зубилами, піско-струминним способом.

За наявності раковин глибиною до 5 см для запобігання накопиченню відскоку їхні краї розчищають з нахилом назовні під кутом 45°. Кути та ребра закруглюються. Раковини глибиною, що перевищує 5 см, з розміром сторін на поверхні більше ніж 10–12 см попередньо розчищаються й закриваються розчином.

Грунтування поверхонь. Для забезпечення високої адгезії між ремонтним матеріалом та основою при мокрому торкретуванні необхідне застосування грунтування – попереднє нанесення на основу тонкого перехідного шару, в основному застосовуються полімерні та цементно-полімерні композиції.

При сухому торкретуванні у початковій фазі нанесення від твердої поверхні основи відбивається майже весь заповнювач, а тонкодисперсні складові прилипають, утворюючи необхідний клейкий шар, на який наносяться повноцінні шари торкретбетону.

Клейкий шар для матеріалів, що наносяться сухим способом, рекомендується наносити на сильно абсорбуючих основах, які інтенсивно відбирають з матеріалу воду, потрібну для гідратації цементу.

Нанесення матеріалу. За мокрого способу торкретування подачу розчинної суміші по шлангах до сопла здійснюють під тиском 0,2...0,25 МПа. Одночасно з подачею розчинної суміші до сопла подається стиснене повітря під тиском 0,5...0,6 МПа.

Робочий тиск у торкрет-машині для сухого торкретування перебуває в межах від 0,2 МПа до 0,6 МПа (залежно від типу машини, довжини шлангів, відстані від сопла до поверхні тощо).

Швидкість вильоту струменя матеріалу вибирають залежно від діаметра сопла і його відстані до поверхні нанесення. Оптимальна швидкість подачі дозволяє отримати найбільшу щільність покриття (140...170 м/с).

При правильній подачі води до сопла відскок матеріалу від поверхні основи при нанесенні першого шару розчину становить 30...35 %, потім зі збільшенням товщини покриття кількість відскоку знижується.

Необхідна товщина торкрет-покриття на поверхні конструкції та кількість шарів (циклів нанесення) визначаються проектом. Один цикл торкретування поверхні мокрим способом може забезпечити

нанесення на поверхню шару матеріалу товщиною до 30 мм. Мінімальна товщина шару складає 4...6 мм. Звичайно, торкрет-покриття загальною товщиною більше 20...25 мм вкладається не менше ніж двома шарами (для запобігання обпливанню).

У разі використання сухого способу торкретування матеріал може наноситися на поверхню шарами по 50...60 мм. Збільшення кількості послідовно нанесених шарів (циклів) покращує якість покриття, але збільшує вартість виконання робіт. У разі застосування швидкотверднучих сумішей допускається збільшувати товщину шарів.

Торкретування вертикальних поверхонь виконують горизонтальними смугами висотою 1...1,5 м, послідовно знизу вгору (щоб відскок падав на вже заторкретовану, дещо отверділу поверхню), рівномірно переміщуючи сопло по спіралі вздовж смуги (рис. 4.25).

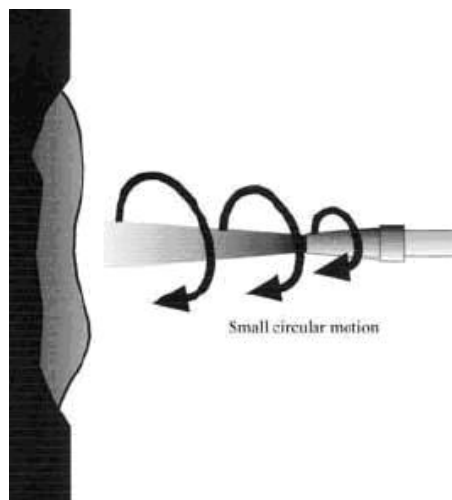


Рис. 4.25. Схема переміщення сопла під час торкретування поверхні [28]

У ході нанесення покриття варто забезпечувати перекриття свіжим шаром раніше вкладеного покриття (смуги) на величину не менше ніж 20 см.

У процесі нанесення струмінь торкретбетону повинен бути спрямований перпендикулярно до поверхні (рис. 4.26), а відстань від сопла до цієї поверхні має бути в межах 0,7...1,5 м, залежно від складу вихідної суміші.

Товщину нанесеного покриття контролюють за допомогою спеціальних маяків (з цементного тіста, металеві штирі), що встановлюються в характерних точках.

Для запобігання деформаціям і збереження цілісності структури свіжовкладеного бетону проектом повинні встановлюватися мінімальні терміни між нанесенням наступних шарів (залежно від швидкості твердіння бетону, температури повітря та інших факторів, що визначають інтенсивність твердіння торкретбетону). Кожний наступний шар торкретбетону дозволяється наносити після набору попереднім шаром міцності не менше ніж 1 МПа.

У разі застосування звичайних цементів і добавок-прискорювачів наступний шар торкретбетону орієнтовно можна наносити через 20 хв на стіни і 40 хв на стелю. За відсутності добавок-прискорювачів інтервали часу між нанесенням шарів повинні складати не менше ніж дві години.

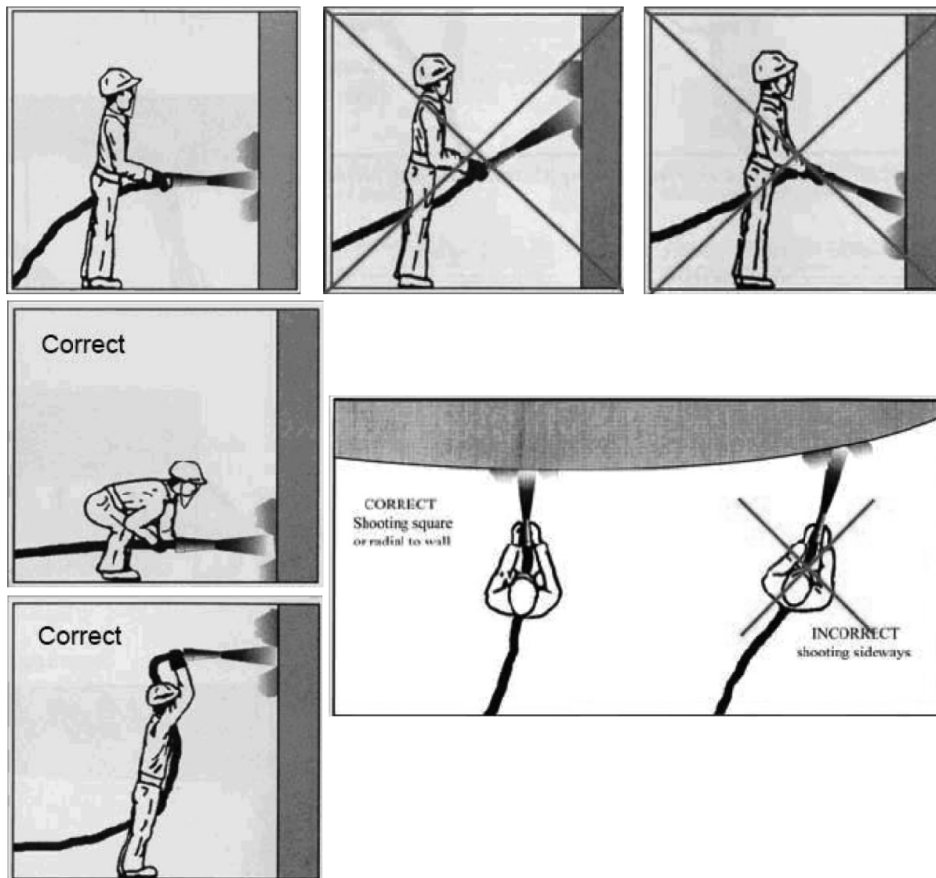


Рис. 4.26. Вимоги до спрямування струменя торкретбетону [28]

Вміст води в суміші (у разі сухого торкретування) встановлює (регулює) оператор за візуальною оцінкою: якщо спостерігається інтенсивне пиловиділення, варто збільшити витрату води, а в разі обпливання суміші – зменшити.

Вирівнювання (затирання) поверхні. Затирання торкрет-шару виконувати не рекомендується – висока ймовірність зниження його якості. У разі потреби (вимоги до зовнішнього вигляду конструкції) для одержання гладкої поверхні варто нанести додатковий шар товщиною 5...7 мм, який і буде затиратися. При цьому основні торкрет-шари не будуть ослаблені (пошкоджені). Затирання варто робити

відразу ж після нанесення додаткового шару (до початку тужавіння цементу).

Догляд за нанесеним покриттям. Торкрет-покриття у період тужавіння та твердіння повинне бути захищеним від заморожування, висихання, струсів, механічних ушкоджень і хімічних впливів до набору міцності не менше ніж 0,1 МПа. У разі потреби конструкцію вкривають ізолюючим матеріалом, поливають водою для підтримки необхідного температурно-вологісного режиму твердіння.

4.4.4. Матеріали та обладнання для торкретування

Для ремонтних робіт, як правило, використовуються спеціальні багатокомпонентні модифіковані композиції, які доправляють до місця виконання робіт у вигляді готової сухої суміші або наборів пакувань компонентів.

Такі суміші затворюються водою безпосередньо перед використанням на майданчику (для мокрого способу). У разі значних обсягів робіт може застосовуватися постачання товарних сумішей.

В окремих випадках до готових сумішей з крупністю заповнювача до 3 мм на майданчику може вводиться крупний заповнювач розміром не більше ніж 8 мм або фібра (сталеві, мінеральні або полімерні волокна). Уведення волокон покращує роботу ремонтного покриття на розтяг і значно знижує ймовірність тріщиноутворення. Будь-яке коригування складу матеріалу чи введення додаткових компонентів необхідно узгоджувати з виробником. Витрата затвореної суміші приблизно 2,2 кг/м² на 1 мм товщини шару.

Комплекс вимог, які встановлюються до матеріалів для торкретування та торкрет-покриттів, забезпечується використанням у складі ремонтних композицій багатьох модифікаторів (активних мінеральних домішок, полімерних добавок для покращення адгезії, міцності на розтяг, зносостійкості, пластифікувальних, прискорювальних, ущільнювальних, водоутримувальних та інших добавок).

Найчастіше як матеріал для торкретування використовується цементно-піщаний розчин у співвідношенні 1:2–1:6.

Максимальна крупність заповнювача призначається з урахуванням технічних характеристик торкрет-установок і товщини покриття (але не більше ніж 8...10 мм).

Для отримання матеріалу з високою щільністю жорсткі вимоги висуваються до гранулометричного складу заповнювачів, криві якого повинні вкладатись в зону графіка на рис. 4.27. Для цього застосовується декілька фракцій піску.

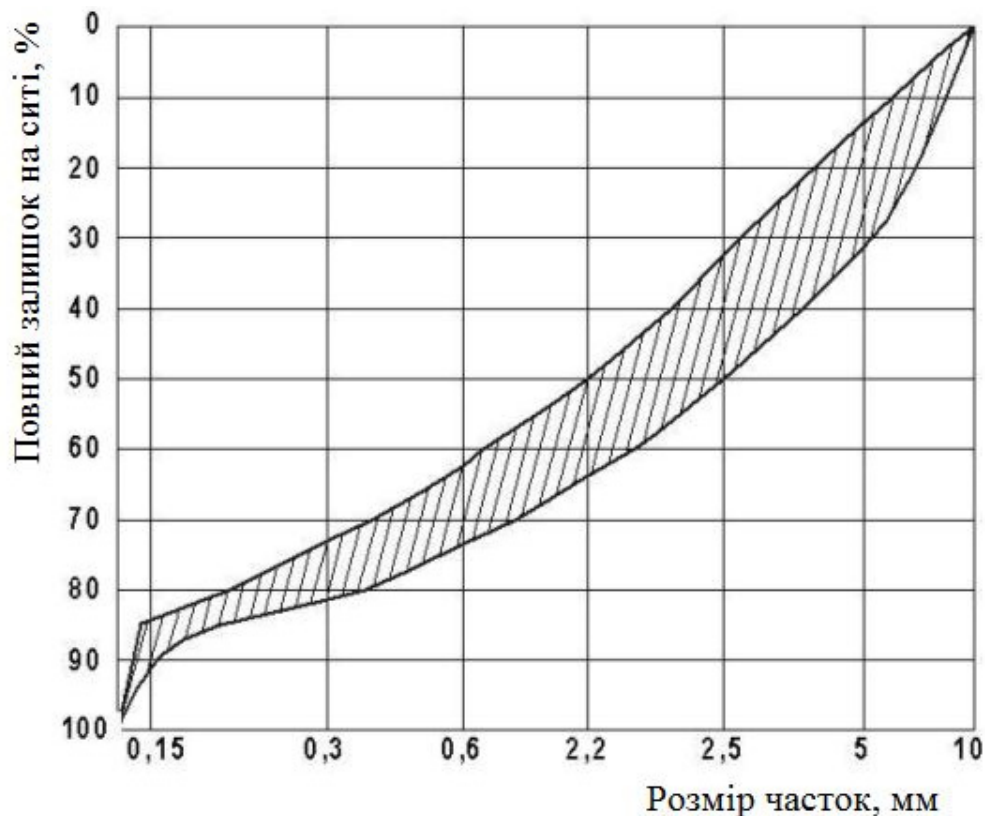


Рис. 4.27. Гранулометричний склад заповнювачів з максимальними розмірами зерен 10 мм для торкрет-сумішей [25]

Важливим фактором, який впливає на склад матеріалу, є величина відскоку. Рекомендована величина відскоку приймається не більшою ніж 20 % від маси сухої суміші при нанесенні на стіни і 30 % – при нанесенні на стелю. У випадку перевищення наведених величин склад торкретбетону коригують, зменшуючи розмір крупного заповнювача.

Найбільш економічним складом торкретбетону буде такий, коли за найменшої витрати цементу й величини відскоку досягається проектна міцність. Правильно нанесене торкрет-покриття з рекомендованим водоцементним відношенням має жирний блиск без сухих плям і обпливань.

Обладнання. Якщо обсяги робіт незначні, для механізованого нанесення матеріалу на поверхню конструкції можуть застосовуватися хопер-ківш та бункер-пістолет (рис. 4.28).

а



б

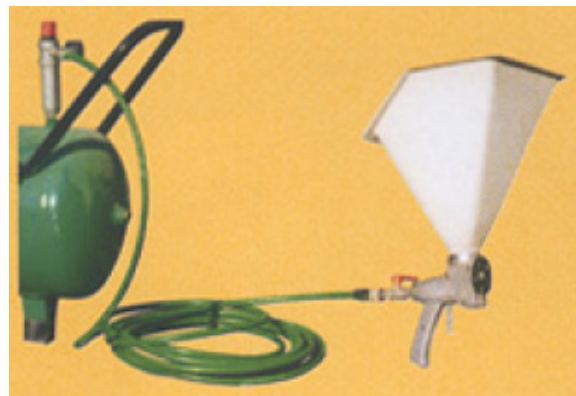


Рис. 4.28. Пристрої для механізованого нанесення матеріалу на поверхню конструкції:

а – хопер-ківш; *б* – бункер-пістолет

Для масштабних проектів застосовуються високотехнологічні торкрет-машини різного типу та продуктивності (рис. 4.29).



Рис. 4.29. Торкрет-машини для механізованого нанесення матеріалу на поверхню конструкції

Для торкретування поверхонь застосовується комплекс обладнання, що включає: торкрет-машину, змішувач (для мокрого способу нанесення) та компресор.

4.4.5. Контроль якості при торкретуванні поверхонь

Нанесення торкрет-покриття повинне виконуватися спеціалізованими організаціями, що мають у своєму штаті кваліфікованих спеціалістів та мають необхідне обладнання.

Вхідний контроль якості матеріалів і готових сумішей здійснюється відповідно до загальних правил контролю виконання будівельних робіт.

Операційний контроль повинен включати: перевірку відповідності технологічного процесу вимогам, які встановлені проектом виконання робіт (ПВР), а саме:

- приготування й транспортування вихідної торкрет-суміші;
- підготовка поверхні для торкретування;
- контроль технічного стану комплексу обладнання;
- режими нанесення торкретбетонного покриття;
- дотримання вимог з догляду за вкладеним покриттям.

Усі зазначені види операційного контролю проводяться щозмінно з фіксацією даних у відповідних журналах.

Контроль за приготуванням суміші (витрата компонентів, час перемішування) та транспортуванням здійснюється безпосередньо на місці приготування.

Контроль за режимом торкретування й відповідністю робіт з торкретування ПВР здійснюється виконавцем робіт, представниками авторського нагляду та інших зацікавлених сторін. Контролюється товщина нанесених шарів та їх кількість. Перевіряється дотримання передбаченого режиму нанесення шарів (встановлених мінімальних термінів між нанесенням таких шарів).

Контроль за якістю вкладеного торкретбетону полягає в його візуальному огляді та регулярному простукуванні покриття. На поверхні торкретбетону не повинно бути усадкових тріщин, здуттів та відшарувань. Глухий звук (бухтіння) вказує на нещільність прилягання торкретбетону до основи або відшарування (розшарування) по товщині.

Недостатньо міцне зчеплення торкрету з основою може бути пов'язане з тим, що торкрет-шар наносився не під прямим кутом, основа була недостатньо зволожена або погано підготовлена.

Виявлені дефектні місця (обпливання, відшарування, викришування, дрібні окремі тріщини та ін.) обводяться незмивною фарбою й надалі підлягають усуненню шляхом вирубки, очищення, промивання струменем води під тиском, а потім повторного торкретування.

Приймальний контроль є завершальною частиною технологічного процесу й здійснюється постадійно з використанням інструментальних, зокрема неруйнівних, методів.

Для проведення робіт з торкретування необхідне виконання вимог охорони праці, зокрема використання спецодягу для захисту оператора.

4.5. Ремонт конструкцій з тріщинами

4.5.1. Види тріщин у бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкціях та причини їх виникнення

Тріщини є досить поширеними дефектами та пошкодженнями в бетонних та залізобетонних конструкціях. Ефективний ремонт конструкцій з тріщинами може здійснюватися із застосуванням спеціальних матеріалів, інструментів і засобів механізації робіт. Також обов'язковою умовою ефективного ремонту конструкцій є визначення причин утворення та параметрів тріщин.

Для ремонту конструкцій з тріщинами застосовуються способи, що відрізняються між собою технологією заповнення, вартістю, трудомісткістю й використаними матеріалами.

Прийняття рішення щодо вибору того чи іншого способу ремонту конструкції з тріщинами повинне ґрунтуватися на меті такого ремонту. Також відповідно до поставленого завдання обирається матеріал заповнення тріщини з певними властивостями.

Бетон – матеріал, що має порівняно високу міцність на стиск та низьку на розтяг. У ході експлуатації в бетоні може виникати достатньо високий рівень напружень розтягу, викликаних зовнішніми

впливами та внутрішніми процесами, які близькі або перевищують розрахунковий опір бетону на розтяг.

Контроль тріщин полягає у визначенні їх параметрів (ширина та глибина розкриття, довжина), характеру їх зміни протягом часу та порівнянні цих показників з граничними.

Перевищення допустимих розмірів тріщин та експлуатація конструкцій у такому стані може впливати:

- на несучу здатність;
- захист арматури від корозії;
- водо- і газопроникність;
- естетичний вигляд конструкції.

Тріщини в конструкціях, розміри яких (ширина розкриття, довжина) не перевищують допустимих значень, не є дефектами чи пошкодженнями.

Нормативні документи встановлюють категорії вимог до тріщиностійкості залізобетонних конструкцій, а також значення допустимої ширини розкриття тріщин в умовах неагресивного середовища для обмеження проникності конструкції та забезпечення збереження арматури.

Конструкції з тріщинами, для яких перевищена допустима ширина розкриття, підлягають ремонту (заповнення тріщин спеціальними матеріалами).

Обстеження конструкцій з тріщинами. Перед визначенням необхідності проведення робіт з усунення (заповнення) тріщин конструкцію обстежують. Тільки з урахуванням отриманих даних можна правильно вибрати метод ремонту й матеріал заповнення тріщин.

Під час обстеження конструкцій з тріщинами виявляються такі фактори:

- вид тріщини (поверхнева, розкрита, наскрізна);
- розташування й проходження тріщини (похила, поздовжня);
- ширина розкриття й глибина тріщини;
- можлива зміна розмірів тріщини протягом часу:
 - а) стабілізована – не змінюється в часі;
 - б) нестабілізована – з поступовим зростанням;
 - в) пульсуюча (внаслідок перепадів температур у денний і нічний час або узимку і влітку, також внаслідок динамічних навантажень – робота устаткування, транспортні навантаження);

- причина утворення тріщини;
- стан тріщини та її країв;
- попередні ремонтно-будівельні заходи;
- доступність тріщини;
- можливі зовнішні впливи на конструкцію.

Після проведення обстеження приймається рішення про раціональний спосіб ремонту конструкцій з тріщинами, робиться висновок про:

- необхідність заповнення тріщини;
- мету, вид і матеріал заповнення;
- ризик наступного можливого тріщиноутворення.

Види тріщин і причини тріщиноутворення. Для більшості тріщин у конструкціях причину тріщиноутворення (декілька ймовірних причин) можна оцінити за характерним зовнішнім виглядом, розташуванням та проходженням.

Схеми розташування характерних тріщин у конструкціях наведені на рис. 4.30.

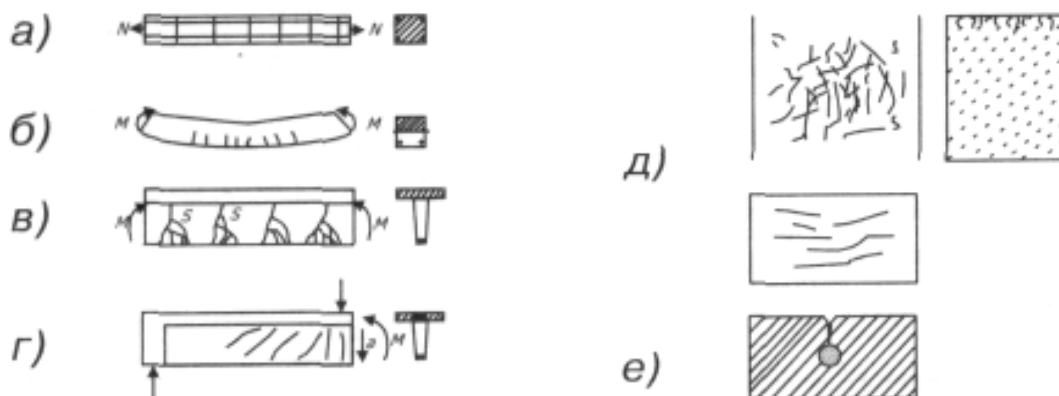


Рис. 4.30. Характерні тріщини в конструкціях:

- а* – тріщини в розтягнутих елементах; *б* – тріщини в розтягнутій зоні згинальних елементів; *в, г* – тріщини внаслідок зусиль зсуву; *д* – усадкові поверхневі тріщини; *е* – тріщини вздовж арматурних стержнів внаслідок корозії арматури

Основні причини тріщиноутворення та заходи запобігання утворенню тріщин у конструкціях наведені в табл. 4.2.

Основні причини тріщиноутворення

Причини тріщиноутворення	Умови появи тріщин	Зниження ризику тріщиноутворення
1. Усадка свіжовкладеного бетону (пластична усадка)	Протягом перших годин після бетонування до втрати бетоном пластичності	Підбір складу бетону (вміст води, крупність та кількість заповнювача); запобігання швидкому висиханню поверхні (вологісний догляд за бетоном)
2. Втрата гідратаційного тепла поверхневим шаром	Охолодження поверхні конструкції в початковий період твердіння	Підбір виду в'язучого (цементу з низькою екзотермією); підбір складу бетону (гранулометрія, вміст заповнювачів); догляд за бетоном (підтримання температурного режиму)
3. Усадка (хімічна, автогенна)	Протягом декількох тижнів або перших місяців після бетонування	Підбір складу бетону (обмеження вмісту цементу); розташування усадкових швів
4. Зовнішні температурні впливи	При зміні й коливанні температури	Армування; підбір складу бетону; раціональне розташування температурних швів
5. Внутрішні напруження	Кристалізація солей у порах цементного каменю зі збільшенням об'єму	Підбір складових бетону, захист та ізоляція конструкції, розташування арматури
6. Помилки при статичному розрахунку, конструктивні недоліки	У ході експлуатації конструкції	Підсилення конструктивних елементів
7. Корозія арматури	Те саме	Призначення товщини захисного шару бетону; якості й складу бетону, ізоляція конструкції

4.5.2. Способи ремонту конструкцій з тріщинами

Особливості вибору способу ремонту. Способи заповнення тріщин відрізняються між собою за технологією заповнення, вартістю, трудомісткістю та матеріалами.

Практика виконання ремонту конструкцій з тріщинами передбачає такі способи заповнення тріщин:

Просочення – поверхневе заповнення тріщини матеріалом без додаткових пристроїв і без примусового тиску.

Ін'єкція (ін'єктування) – заповнення тріщини матеріалом через спеціальні пристрої – ніпелі (пакери) під тиском.

Залежно від особливостей конструктивного елемента, його функцій у споруді, поведінки утвореного тріщиною шва та його впливу на експлуатаційну придатність споруди встановлюється *мета заповнення тріщин*:

1. Закриття тріщини – запобігання проникненню в конструкцію через тріщини агресивних речовин, що сприяють корозії.
2. Герметизація тріщини – усунення негерметичності будівельних конструкцій (посудини для рідин, конструкції тунелів).
3. Пластичне з'єднання – з'єднання обох країв тріщин за умови збереження суцільності при можливих обмежених деформаціях.
4. Жорстке з'єднання – створення жорсткого з'єднання обох країв тріщини з метою відновлення несучої здатності конструкції

Матеріали для заповнення тріщин. Матеріал для заповнення тріщин повинен мати такі властивості:

- низька в'язкість. Для ефективного заповнення об'єму тріщини матеріал повинен бути достатньо текучим;
- збереження однорідності протягом часу (відсутність розшарування складових розчину). Осідання (розшарування) складових суміші приводить до закупорювання технологічних трубопроводів та самої тріщини, що ускладнює просування матеріалу в її об'ємі;
- сталість об'єму матеріалу (відсутність усадки);
- достатня міцність зчеплення (адгезія) з краями тріщини;
- достатня міцність і довговічність;
- відсутність речовин, що сприяють корозії старого бетону.

Для заповнення тріщин найчастіше застосовуються композиції на основі таких матеріалів:

1. *Епоксидна смола* (композиції на її основі) – для забезпечення міцного з'єднання країв тріщини в сухому стані. Висока хімічна стійкість, міцність на розтяг і стиск, висока міцність зчеплення.

2. *Поліуретанова смола* (композиції на її основі) – для пластичного з'єднання країв тріщини. Може використовуватися для заповнення вологих тріщин.

3. *Цементний клей* (суспензія) – жорстке з'єднання країв тріщин.

Цементний клей використовується для заповнення тріщин шириною розкриття більше ніж 0,8 мм (звичайно понад 3 мм), цементна суспензія – для заповнення тріщин розміром більше ніж 0,2 мм. Відрізняються величиною питомої поверхні цементу: цементний клей виготовляється з портландцементу з питомою поверхнею 3 500...4 500 см²/г, а цементна суспензія з використанням мікроцементів – з величиною питомої поверхні 12 000...15 000 см²/г.

Закриття тріщин у конструкціях просоченням. Найбільш простим методом закриття тріщини є зовнішнє просочення поверхні тріщин. Як правило, для просочення застосовуються полімерні композиції (наприклад, на основі епоксидної смоли). Наносити смолу можна пензлем, шпателем з гумовим наконечником або іншим способом (рис. 4.31). Як правило, за рахунок просочення досягається захист від корозії відкритої (внаслідок тріщиноутворення) арматури. При просоченні не досягається міцне з'єднання країв тріщини.

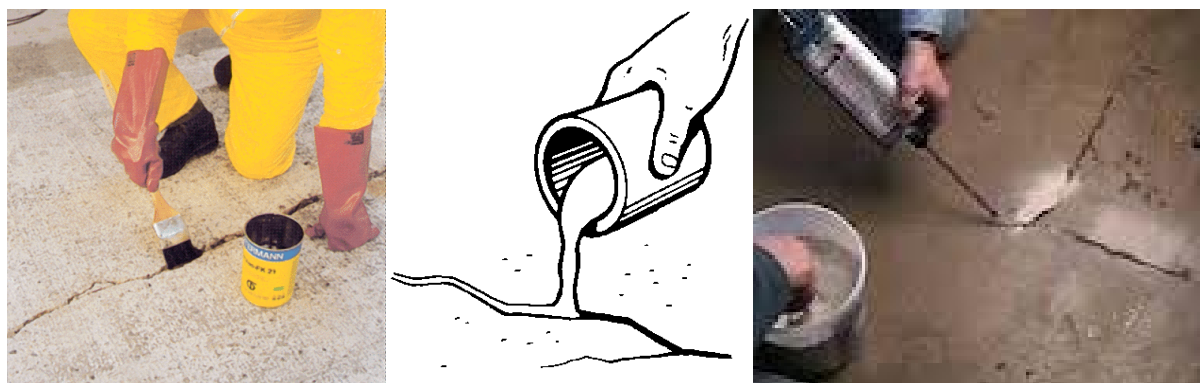


Рис. 4.31. Закриття тріщин просоченням

У випадку зміни ширини розкриття тріщини герметичність просочення може порушитися й через тріщину в конструкцію можуть знову проникати речовини, що викликають корозію арматури.

Перед просоченням зовнішня поверхня конструкції повинна бути очищена від пилу та бруду за допомогою промислових пирососів або струменя стиснутого повітря.

Повторне нанесення смоли на поверхню конструкції здійснюється через 3...5 хв і продовжується доти, поки смола не буде більше всмоктуватися в тріщину. Тріщини повинні просочуватися приблизно на глибину до 5 мм або на глибину, що в 15 разів перевищує ширину розкриття тріщини.

Застосування способу ін'єктування для ремонту конструкцій з тріщинами. Заповнення майже всього об'єму тріщини може здійснюватися за рахунок нагнітання матеріалу під тиском через спеціальні пристрої – ніпелі (пакери) різних видів (рис. 4.32). Загальний вигляд пакерів для заповнення тріщин наведено на рис. 4.33.

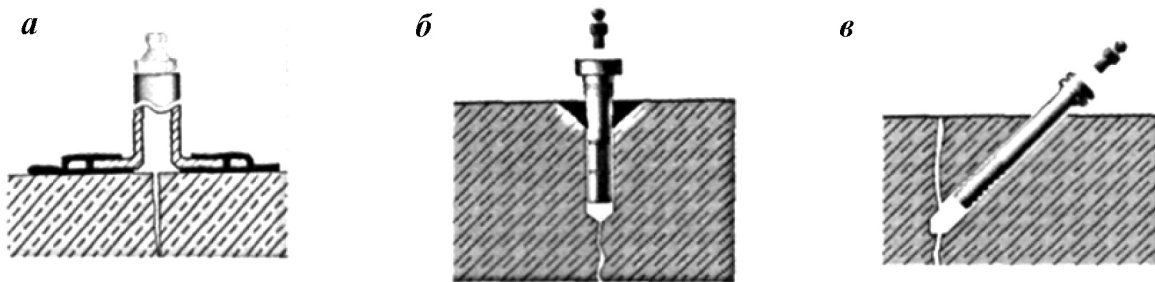


Рис. 4.32. Види пакерів для заповнення тріщин у конструкціях методом ін'єктування:

а – пакер, що наклеюється; *б* – пакер, що встановлюється в отвір;
в – пакер, що встановлюється в отвір під кутом

Для перемішування і нагнітання ін'єкційних матеріалів на практиці застосовуються ручні інструменти й засоби механізації – змішувачі й нагнітаючі пристрої (насоси, компресори, рис. 4.34).

Відстань між ніпелями (пакерами) – крок встановлення в тріщині – орієнтовно складає 100...500 мм і залежить від таких факторів:

- а) ширини розкриття тріщини;
- б) в'язкості матеріалу;
- в) товщини конструкції;



Рис. 4.33. Загальний вигляд пакерів для заповнення тріщин

г) з однієї чи з двох сторін конструкції буде здійснюватися нагнітання.

Послідовність технологічних операцій:

а) розшивання тріщини, підготовка поверхні (рис. 4.35, а). Ця операція особливо важлива для конструкцій, які піддаються динамічним впливам або циклічним процесам, що призводить до почергового розкриття–закриття тріщини та змінання матеріалу її країв. Якщо цей пошкоджений матеріал берегів тріщин не видалити, то відбудеться склеювання з маломіцною поверхнею й подальше руйнування в разі виникнення мінімальних напружень;



Рис. 4.34. Обладнання для нагнітання матеріалу в тріщину

б) висвердлювання отворів (у разі потреби) (рис. 4.35, б);

в) встановлення ніпелів (рис. 4.35, в);

г) нанесення покривної маси (можливе наклеювання стрічок), (рис. 4.35, з). Покривна маса виконує функцію опалубки для розчину. З цією метою може застосовуватися багато способів: зачеканювання тріщини цементно-піщаним розчином, використання герметиків, наклеювання клейких стрічок і т. д. Після закінчення нагнітання і набору міцності матеріалу, що нагнітається, покривну масу звичайно видаляють;

д) нагнітання ін'єкційних матеріалів (рис. 4.35, д). При вертикальному розташуванні тріщин нагнітання здійснюється знизу вгору, що забезпечує витіснення повітря з об'єму тріщини та отримання найбільш можливого заповнення. До нижнього ніпеля закріплюється подавальний шланг і здійснюється ін'єкція під певним тиском, поки матеріал не виступить на вищерозташованому ніпелі. Послідовність ін'єкції повторюється.

a*б**в**г**д*

Рис. 4.35. Технологічні операції з відновлення конструкцій з тріщинами методом ін'єктування [22]

При горизонтальному розташуванні тріщини ін'єктування здійснюється від одного краю до іншого – розчин рухається в тріщині тільки в одному напрямку, витісняючи повітря;

е) далення покривної маси після набору ін'єкційним матеріалом достатньої міцності;

ж) чищення поверхні бетону;

з) захист зовнішньої поверхні бетону від впливів навколишнього середовища.

Технологічна схема нагнітання ін'єкційної композиції в тріщину наведена на рис. 4.36.

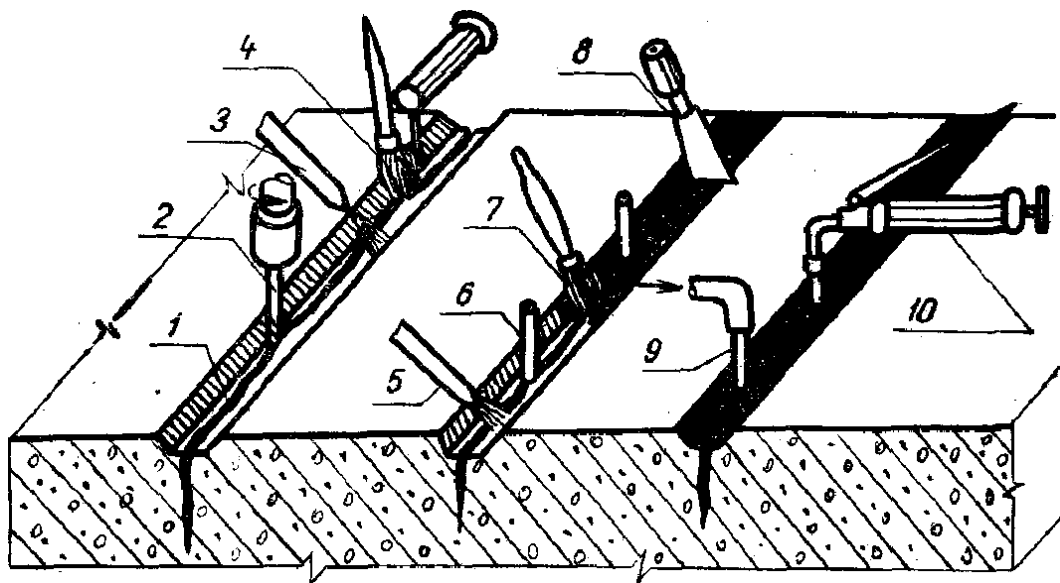


Рис. 4.36. Технологічна схема нагнітання ін'єкційної композиції в тріщину:

1 – розшивка тріщини; 2 – висвердлювання отворів для ніпелів; 3 – продування стиснутим повітрям; 4 – промивання струменем води; 5 – сушіння гарячим повітрям (у разі застосування полімерних композицій); 6 – встановлення ніпелів; 7 – ґрунтування; 8 – закриття тріщин розчином (покривною масою); 9 – продування стиснутим повітрям; 10 – ін'єктування

При виконанні робіт з просочення та ін'єктування тріщин необхідно дотримуватися вимог охорони праці для запобігання потрапляння ін'єкційних матеріалів на оператора (використання спецодягу, захисних окулярів і т. д.).

4.6. Відновлення експлуатаційної придатності конструкцій шляхом їх підсилення

Наявні в конструкціях дефекти та пошкодження, що виникають внаслідок агресивних впливів, призводять до зниження їх експлуатаційної придатності – порушення вимог нормативних документів до несучої здатності або інших показників якості.

Відновлення або, у разі потреби, і збільшення несучої здатності, тріщиностійкості, зменшення деформативності таких конструкцій виконується за рахунок їх підсилення.

Як уже зазначалося вище, агресивні впливи викликають у конструктивних елементах певні зміни, які знижують експлуатаційну придатність. При виконанні діагностики технічного стану конструкцій встановлюється рівень цих змін:

а) у конструкціях виникли пошкодження, які не несуть загрози втрати експлуатаційної придатності в теперішній момент, але призводять до прискорення процесів пошкодження конструкції середовищем, передчасного зношення, таким чином знижуючи довговічність;

б) взаємодія середовища з конструкцією та накопичення пошкоджень досягли того рівня, коли існують загрози втрати конструкцією несучої здатності, стійкості, що надалі призведе до неможливості її подальшої експлуатації.

Залежно від технічного стану конструкції для її захисту від руйнування та забезпечення експлуатаційної придатності застосовуються такі заходи:

- влаштування відновних шарів (захисних покриттів) – зниження впливу агресивного середовища на елемент;
- підсилення елементів конструкцій – підвищення (відновлення) несучої здатності, стійкості;
- спільне виконання підсилення та ремонту.

Підсилення конструкцій – це роботи з відновлення або збільшення несучої здатності, тріщиностійкості, зменшення деформативності, покращення інших показників їх якості. Тобто усунення впливу дефектів та пошкоджень конструкцій, які призводять до порушення вимог нормативних документів до несучої здатності або інших показників якості.

Для оцінки необхідності підсилення конструкції, аналізу його ефективної схеми та принципів конструювання виконуються розрахунки^{*}. Далі наведемо тільки основні напрямки та принципові схеми підсилення конструкцій.

4.6.1. Найбільш поширені схеми підсилення конструкцій

Підсилення конструктивних елементів та збільшення їх несучої здатності може виконуватися за рахунок таких заходів:

- нарощення перерізу конструкції. Не змінюється розрахункова схема; підсилення послабленого перерізу або всієї конструкції виконується шляхом нарощення геометричних розмірів. Приклади: підсилення кам'яних стовпів та залізобетонних колон залізобетонними обоймами – спосіб обетонування (рис. 4.37, *а*), нарощення товщини (збільшення висоти перерізу) залізобетонних плит (рис. 4.37, *б*);

- розміщення підсилювальних елементів у небезпечних перерізах. Не змінюється розрахункова схема; підсилення послабленого перерізу або всієї конструкції виконується шляхом розміщення підсилювальних елементів. У більшості випадків як підсилювальні елементи використовуються сталеві прокатні профілі (рис. 4.38, 4.39), арматурні стержні або композитні матеріали (вуглепластикові тканини та ламінати, рис. 4.40). При цьому збільшення геометричних розмірів (габаритів конструкції) практично не відбувається;

- перерозподіл навантажень та зміна схеми роботи конструкції. Змінюється розрахункова схема конструкції (наприклад, зменшення прогону конструкції за рахунок влаштування додаткових опор, підвісок, розпірок, рис. 4.41).

4.6.2. Спосіб обетонування конструкцій

Обетонування поверхонь залізобетонних конструкцій – один з найбільш простих і ефективних методів їх захисту й підсилення.

Цей метод найбільш доцільно застосовувати при одночасному ремонті й підсиленні залізобетонних конструкцій споруд. Типове рішення – влаштування обойм товщиною 50...120 мм (рис. 4.42).

^{*} У цьому навчальному посібнику методика розрахунку елементів підсилення конструкцій не розглядається.

Покращення експлуатаційної придатності конструкції в разі обетонування досягається за рахунок:

- нарощення перерізу – підсилення конструкції;
- влаштування нового захисного шару;
- обмеження поперечної деформації матеріалу основної конструкції (при суцільному охопленні – ефект обійми).

Також обетонування може використовуватися для підсилення окремих елементів конструкцій, наприклад консолей колон (рис. 4.43).

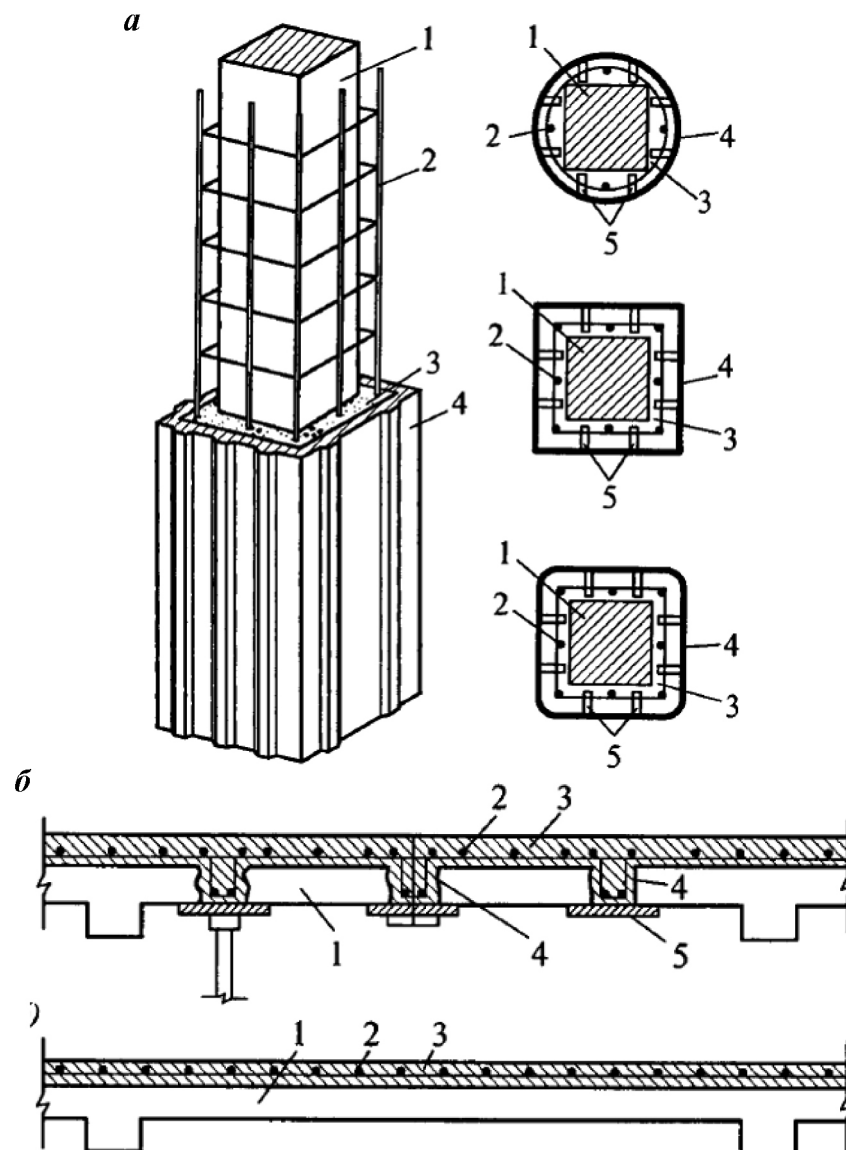


Рис. 4.37. Підсилення конструкцій нарощенням їх перерізу:

а – колони; б – плити перекриття



Рис. 4.38. Підсилення залізобетонних колон сталевими обоймами



Рис. 4.39. Розміщення сталевих підсилювальних елементів у небезпечних перерізах

З'єднання старого й нового бетону забезпечується утворенням на поверхні існуючої конструкції певного рельєфу (насікання поверхні, вирізання пазів), що забезпечує шпонкове з'єднання матеріалів у зоні контакту, а також за рахунок анкерування арматурних елементів підсилювальних обойм (шарів) у тіло існуючої конструкції (рис. 4.44) або їх з'єднання з арматурою існуючої конструкції.



Рис. 4.40. Підсилення конструкцій композитними матеріалами (вуглепластиковими тканинами та ламінатами) [37]

Схема кріплення «нового бетону» за допомогою анкерних елементів наведена на рис. 4.44.

Метод обетонування залізобетонних конструкцій має такі *переваги*:

- для виконання робіт не потрібні спеціальні машини й механізми;

— одночасно з підсиленням здійснюється відновлення та захист бетону всієї конструкції.

При виконанні сталевих обойми трудомісткість виконання робіт значно зростає, оскільки її включення в роботу забезпечують ін'єктуванням розчину в зазори між сталевими елементами й конструкцією та подальшим оштукатурюванням високоміцними цементно-піщаними розчинами, що мають високу міцність зчеплення з існуючою конструкцією.

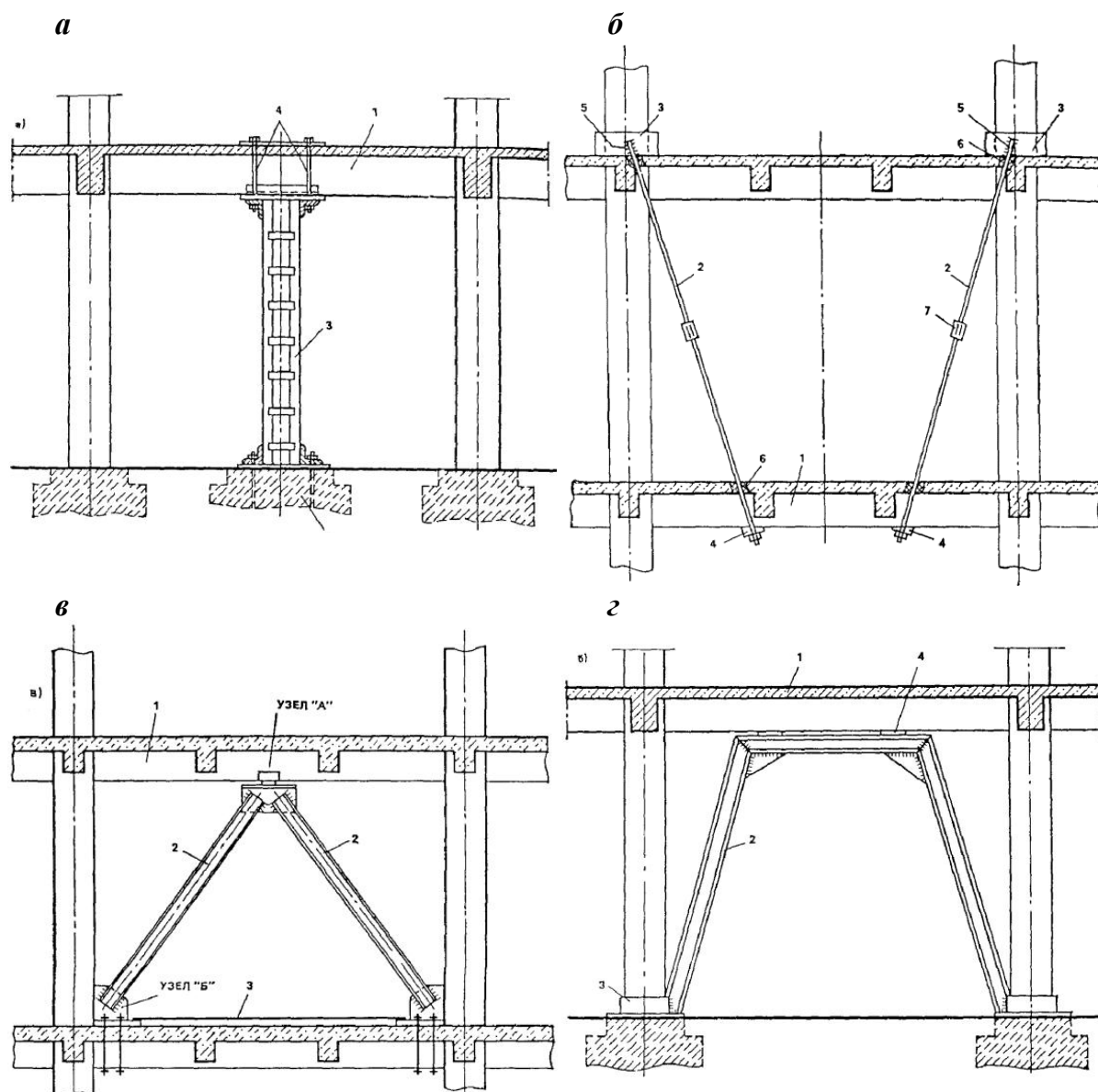


Рис. 4.41. Збільшення несучої здатності конструкцій перекриття:

а — шляхом зменшення прогону конструкції за рахунок влаштування додаткових опор;
б — підвісок; *в* — розпірок; *г* — розвантажувальних рам

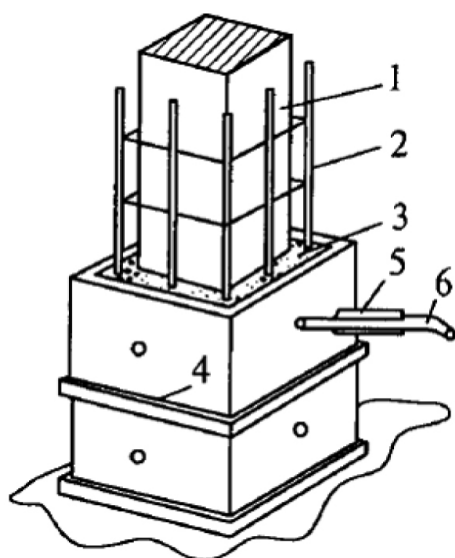


Рис. 4.42. Схема підсилення колони залізобетонною обоймою:

1 – конструкція, що підсилюється;
2 – армування обойми; *3* – бетон обойми;
4 – щитова опалубка з хомутами кріплення;
5 – ін'єктор; *6* – подавальний шланг

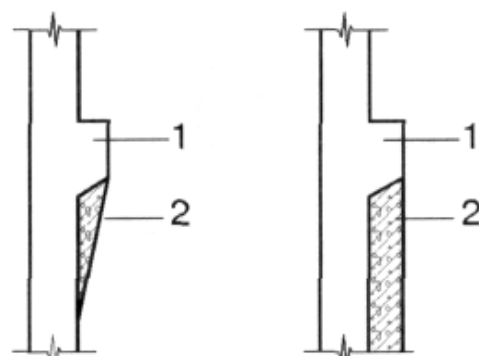


Рис. 4.43. Схеми підсилення консолі колони [35]:

а – частковим обетонуванням підконсольної частини; *б* – обетонуванням підконсольної частини на всю висоту колони, *1* – колона, що підсилюється; *2* – підсилюючий шар

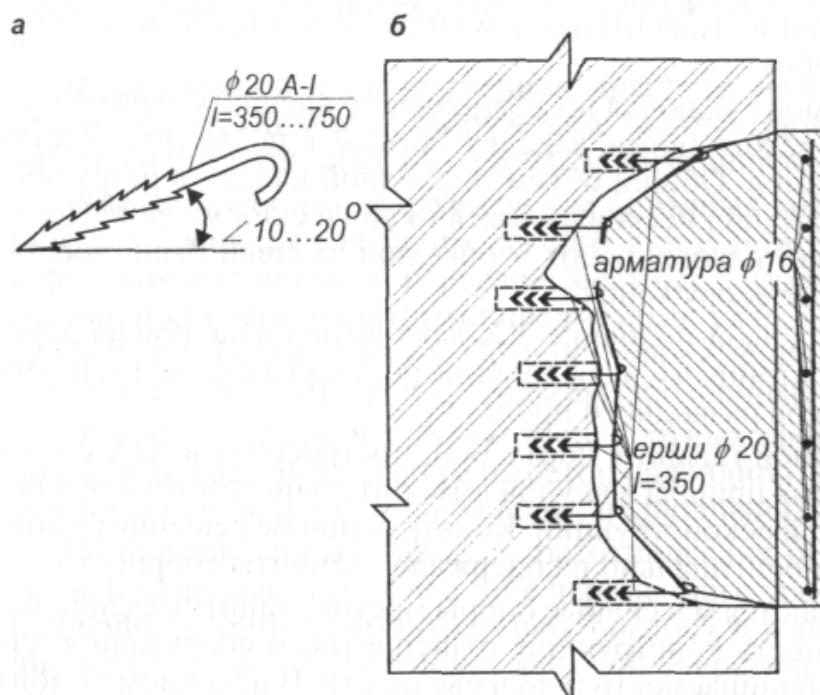


Рис. 4.44. Підсилення з'єднання «нового бетону» зі старим анкерними елементами

Недоліки методу обетонування конструкцій:

- висока трудомісткість виконання робіт (необхідне встановлення опалубки, риштувань, анкерів тощо);
- підвищена витрата матеріалів;
- застосування методу веде до значного збільшення маси конструкції, що не завжди прийнятно і найчастіше викликає необхідність посилення основи або інших несучих конструкцій (фундаменту).

4.7. Безтраншейні технології відновлення підземних залізобетонних трубопроводів

Водонесучі мережі, система водовідведення належать до систем життєзабезпечення. Значна їх кількість у містах України перебуває у аварійному стані й потребує відновлення.

Трубопроводи системи водовідведення піддаються значній кількості агресивних впливів, таких як агресивний вплив водних розчинів, газова та органогенна корозія. Це викликає погіршення технічного стану трубопроводів. Втрати води такими комунікаціями через місцеві руйнування призводять до пошкодження ґрунтових основ, що має вплив на роботу фундаментів будівель, дорожніх покриттів (рис. 4.45).



Рис. 4.45. Пошкодження дорожнього покриття внаслідок втрати води пошкодженим трубопроводом

До появи сучасних технологій основним методом ремонту трубопроводів мереж водопостачання та водовідведення був відкритий спосіб, за якого для відновлення зруйнованих або пошкоджених ділянок виконувалося розкриття дорожнього полотна (земляні роботи).

В останні десятиліття у сфері експлуатації й ремонту міських комунальних систем водопостачання й водовідведення з'явився новий напрямок безтраншейних технологій відновлення (санації) старих і прокладення нових трубопроводів. Це альтернатива відкритому способу ремонту, реконструкції й будівництва підземних трубопроводів будь-якого призначення.

Під безтраншейними технологіями маються на увазі технології прокладення, заміни, ремонту, інспекції й виявлення дефектів у підземних комунікаціях різного призначення з мінімальним розкриттям поверхні. Поряд з оперативністю й економічністю такі технології порівняно з традиційними методами дозволяють не порушувати сформовану екологічну обстановку.

Основним способом відновлення структури підземних трубопроводів є нанесення внутрішніх захисних покриттів (облицювань, оболонок, мембран тощо) по всій довжині трубопроводу або в окремих пошкоджених ділянках.

До безтраншейних методів належать:

а) нанесення цементно-піщаних покриттів на внутрішню поверхню трубопроводу (автоматичними установками для набризк-нанесення, рис. 4.46);

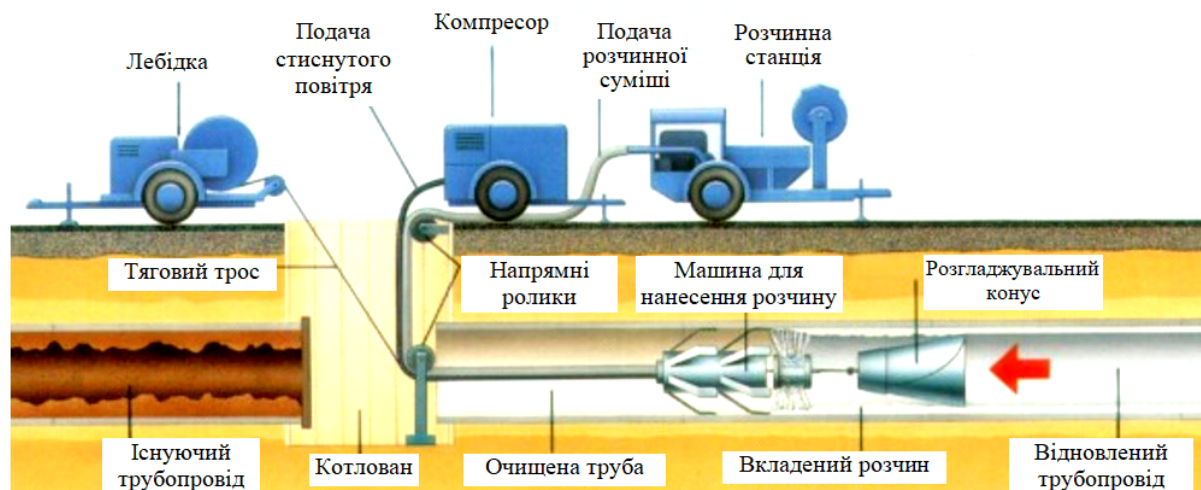


Рис. 4.46. Набризк-нанесення цементно-піщаних композицій на внутрішню поверхню трубопроводу [36]

- б) протягування нового жорсткого трубопроводу в пошкоджений старий (з його руйнуванням спеціальними пристроями, рис. 4.47);
- в) протягування гнучкої складеної U-подібної полімерної труби всередину старого трубопроводу;
- г) використання гнучких елементів з листового матеріалу із зубчатою поверхнею;
- д) використання рулонної навивки на внутрішню поверхню старого трубопроводу;
- е) точкові (місцеві) покриття.

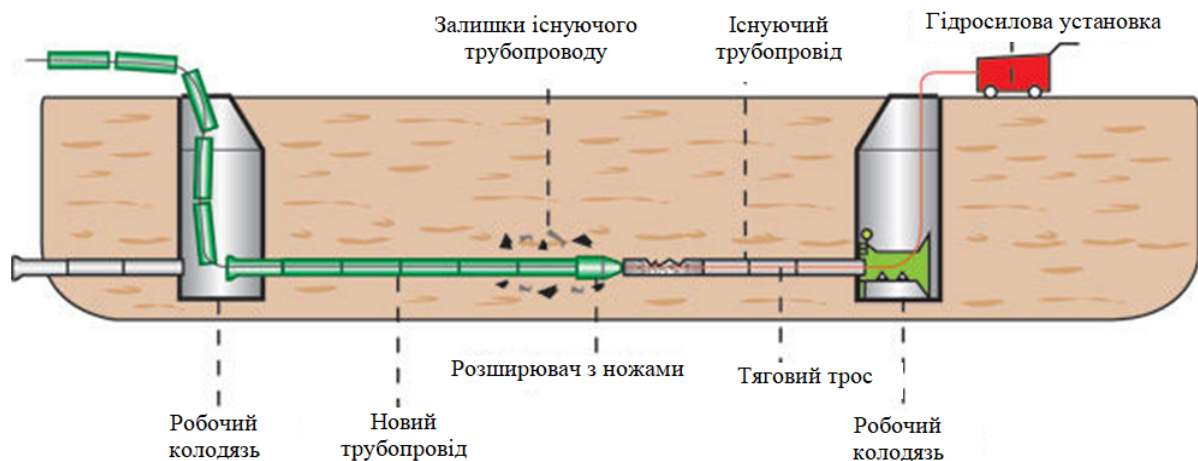


Рис. 4.47. Протягування нового жорсткого трубопроводу в пошкоджений старий [41]

Покриття для місцевого ремонту трубопроводів можуть застосовуватись у вигляді:

- розчинних сумішей, що твердіють після нанесення на пошкоджені ділянки;
- волокнистих матеріалів із просоченням смолами (поліефірними, епоксидними, поліуретановими);
- профільних гумових ущільнювачів;
- гілз з нержавіючої сталі.

Спосіб безтраншейного ремонту трубопроводів «Trolining». Серед безтраншейних методів одним з найбільш ефективних є спосіб ремонтно-відновлювальних робіт за системою тролінінг («Trolining») [48].

Цей спосіб не потребує використання складного спеціального обладнання й дозволяє виконувати роботи з малими трудовитратами.

Відновлення експлуатаційної придатності трубопроводів виконується в такому порядку [48].

У колектор системи водовідведення, що вимагає ремонту, вводиться внутрішній поліетиленовий рукав, попередньо виготовлений у формі труби з товщиною стінки від 2 до 12 мм, який має з однієї сторони рельєфну поверхню (рис. 4.48).



Рис. 4.48. Уведення поліетиленового рукава в трубопровід

Монтаж рукава здійснюється за допомогою лебідки на довжину до 120 м. Подача рукава в трубопровід виконується через оглядові колодязі (рис. 4.49). Для надання рукаву форми поперечного перерізу колектора (рис. 4.50), його заповнюють водою або повітрям під тиском.

Круговий простір, утворений рельєфними виступами між рукавом і внутрішньою поверхнею колектора, заповнюється високотекучим розчином (без надлишкового тиску). Набравши високої міцності, розчин фіксує поліетиленовий рукав у заданому положенні. Крім того, заповнюються також порожнини, пошкодження та стикові з'єднання відновлюваного трубопроводу. Гладка сторона поліетиленового рукава служить внутрішньою поверхнею відремонтованого колектора, що значно зменшує гідравлічний опір (компенсація зменшення пропускної здатності трубопроводу внаслідок деякого зменшення його внутрішнього діаметра).

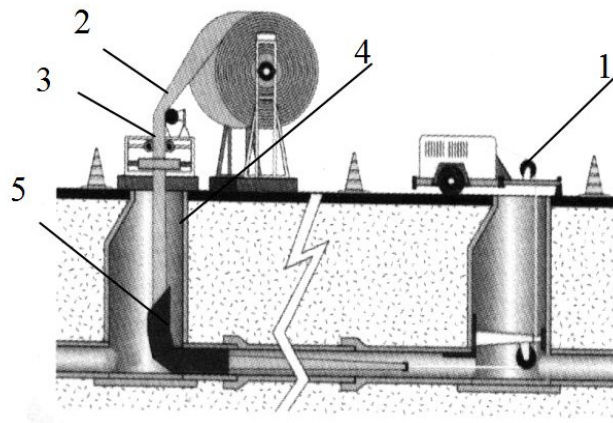


Рис. 4.49. Технологічна схема ремонту колекторів методом тролاینінг
1 – лебідка; 2 – поліетиленовий рукав; 3 – напрямні ролики;
4 – колодязь; 5 – напрямна труба

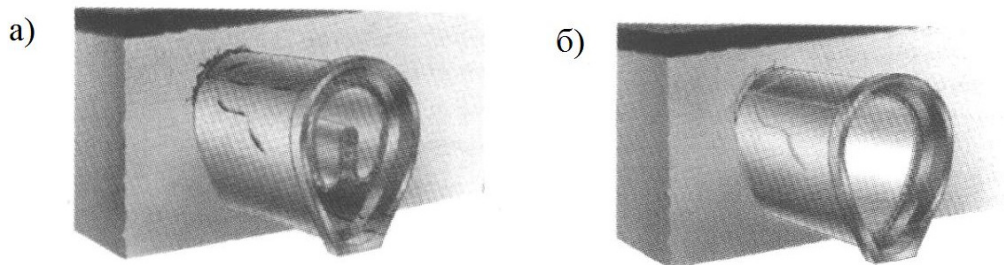


Рис. 4.50. Схема встановлення поліетиленового рукава в колекторі:
а – у складеному вигляді; б – у розправленому вигляді

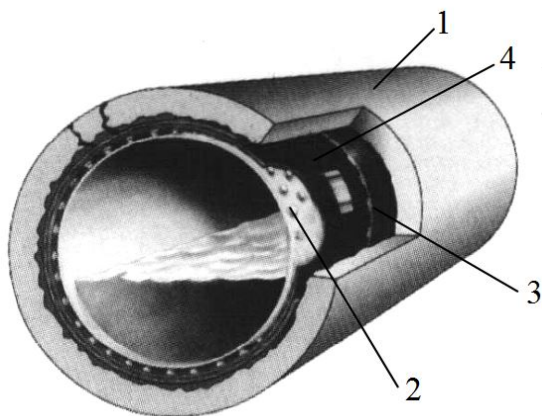


Рис. 4.51. Система тролاینінг з використанням зовнішнього рукава:
1 – пошкоджений колектор; 2 – внутрішній армований поліетиленовий рукав;
3 – зовнішній поліетиленовий гладкий рукав; 4 – ін'єкційний розчин

У деяких випадках можливе застосування подвійного рукава, що має гладку поверхню з двох зовнішніх сторін (рис. 4.51). Його використання забезпечує герметизацію об'єму, у який подається високотекучий розчин, що необхідно за наявності в існуючому трубопроводі наскрізних пошкоджень, через які високотекуча розчинна суміш буде втрачатись.

Зовнішній вигляд трубопроводу системи водовідведення до та після ремонту наведено на рис. 4.52.

Наслідком відновлення трубопроводу наведеним способом є пе-

вне зменшення його діаметра. Проте зменшення гідравлічного опору за рахунок гладкої поверхні стінок трубопроводу компенсує вплив зміни діаметра – пропускна здатність трубопроводу практично не змінюється.

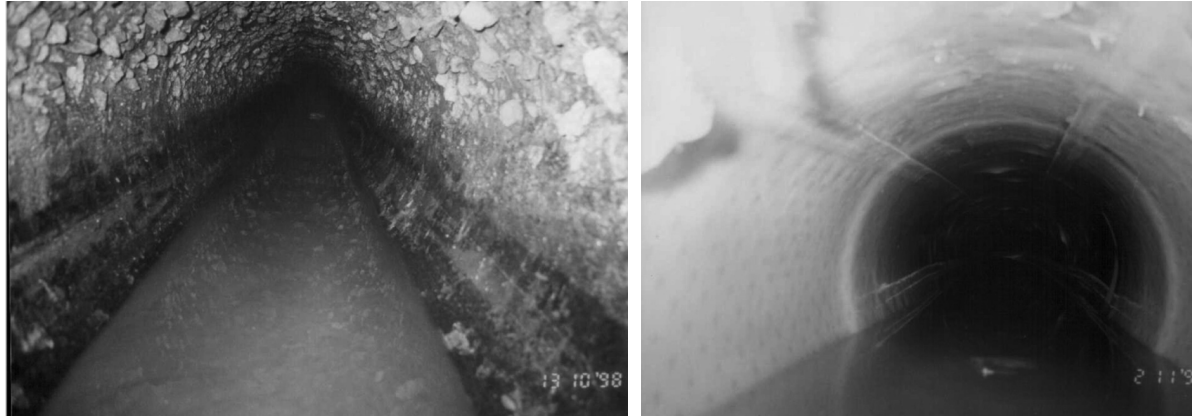


Рис. 4.52. Трубопровід системи водовідведення до та після ремонту

Контрольні завдання та запитання

1. Яке значення має інженерна підготовка ремонту конструкцій будівель та споруд?
2. З якою метою здійснюється підготовка бетонної поверхні до ремонту?
3. Які методи застосовуються для підготовки бетонної поверхні до ремонту? Вибір методу підготовки бетонної поверхні.
4. Якою є особливість підготовки поверхні сталевих арматурних стержнів до ремонту? Захист арматурних стержнів.
5. Які особливості застосування способу вертикально переміщеної труби як способу підводного бетонування для відновлення конструкцій споруд?
6. Які особливості застосування способу висхідного розчину як способу підводного бетонування для відновлення конструкцій споруд?
7. Якими є особливості сухого способу торкретування? Переваги та недоліки.
8. Якими є особливості мокрого способу торкретування? Переваги та недоліки.

9. Види тріщин у бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкціях та причини їх виникнення.
10. Якими способами можна виконати ремонт конструкцій з тріщинами?
11. У чому полягає сутність відновлення експлуатаційної придатності конструкцій шляхом їх підсилення? Загальні принципи.
12. Безтраншейні технології відновлення підземних залізобетонних трубопроводів.

Захист конструкцій від агресивних впливів

Багато впливів на конструкції призводять до погіршення їхнього технічного стану та зниження експлуатаційної придатності. Застосування певних способів відновлення конструкцій дозволяє повернути їм працездатний стан, усунувши дефекти та пошкодження.

Водночас, під час виготовлення (зведення) конструкції можуть вживатися різні заходи, які не допускають виникнення пошкоджень або зменшують ймовірність їх появи, тим самим збільшуючи термін служби конструкцій. Такі заходи належать до заходів захисту конструкцій від агресивних впливів.

5.1. Особливості первинного та вторинного захисту конструкцій від агресивних впливів

5.1.1. Методи первинного захисту конструкцій

До первинного захисту відносять заходи, що реалізуються на стадії виготовлення й зведення конструкцій, до вторинного – заходи, що виконуються як додаткові, якщо первинний захист не забезпечує необхідної довговічності конструкцій.

Первинний захист полягає у виборі конструктивних рішень або матеріалу конструкції зі спеціальними властивостями з тим, щоб забезпечити стійкість цієї конструкції під час експлуатації у відповідному агресивному середовищі.

Первинний захист бетонних та залізобетонних конструкцій забезпечується такими заходами:

1. Застосування бетонів та їх компонентів (спеціальних цементів – сульфатостійких, пуцоланових та ін.), що мають підвищену корозійну

стійкість до агресивної дії середовища й здатність захищати сталю арматуру від корозії.

Застосування добавок, що підвищують корозійну стійкість бетонів та їхню захисну здатність відносно сталевих арматур, закладних деталей.

2. Вибір складів бетону та технологічних режимів, що забезпечують достатню непроникність.

Для отримання щільних бетонів застосовують ефективні технології ущільнення бетонної суміші (вібрування, вакуумування, центрифугування та ін.). Найбільш проникним елементом важкого бетону є цементний камінь. Тому бетон тим менш проникний для агресивних розчинів та газів, чим менше в ньому цементного каменю, що досягається підбором гранулометрії заповнювачів (ефективне співвідношення декількох фракцій щебеню та піску).

3. Призначення вимог до категорії тріщиностійкості, товщини захисного шару.

Виконання вимог нормативних документів з призначення товщини захисного шару дозволяє забезпечити захист арматури протягом певного часу в певному середовищі. При утворенні в поверхневому шарі бетону тріщин агресивні речовини можуть контактувати з арматурою, викликаючи її корозію. Для різних ступенів агресивності середовища нормативні документи не допускають або можуть допускати утворення тріщин певної ширини розкриття.

4. Дотримання додаткових розрахункових та конструктивних вимог під час проектування бетонних і залізобетонних конструкцій – надання конструкціям оптимальної форми та допустимого напруженого стану.

Конструктивні рішення повинні передбачати просту форму конструктивних елементів, мінімальну площу їх поверхні, за можливості, відсутність зовнішніх і внутрішніх гострих кутів, виступів та місць, де можуть накопичуватися агресивний пил, рідини або конденсат. У випадку захисту конструкцій лакофарбовими покриттями всі ребра повинні бути закругленими.

Геометрична схема і конструктивна система будинку або споруди, а також деталі конструкції повинні бути підібрані так, щоб можливі корозійні пошкодження не спричинили їх руйнування. Крім того, повинна бути забезпечена можливість заміни тих конструктивних елементів, які найбільше піддаються впливу агресивного середовища.

5.1.2. Методи вторинного захисту конструкцій

У випадках коли застосування спеціальних цементів, підвищення щільності бетону та інші заходи не забезпечують необхідної стійкості матеріалу конструкції в агресивному середовищі, використовують ізоляцію для запобігання контакту поверхні конструкції з агресивним середовищем – виконання вторинного захисту конструкцій.

Вторинний захист полягає в нанесенні хімічно стійких і мало проникних захисних покриттів, просоченні ущільнювальними матеріалами, виконанні футеровок та застосуванні інших заходів, які обмежують або виключають вплив агресивного середовища на бетонні та залізобетонні конструкції

До заходів вторинного захисту належить захист поверхонь бетонних і залізобетонних конструкцій:

- 1) лакофарбовими, у тому числі товстошаровими (мастичними), покриттями;
- 2) обклеювальною ізоляцією;
- 3) обмазувальними й штукатурними покриттями;
- 4) облицюванням штучними або блочними виробами;
- 5) ущільнювальним просочуванням поверхневого шару конструкцій хімічно стійкими матеріалами;
- 6) обробкою гідрофобізуючими речовинами;
- 7) обробкою препаратами – біоцидами, антисептиками.

Вторинний захист, як правило, вимагає періодичного відновлення. Для здійснення вторинного захисту конструкцій від корозії архітектурні й конструктивні рішення, а також рішення з розташування машин та обладнання в приміщеннях повинні передбачати вільний доступ до всіх конструктивних елементів як для періодичного огляду, так і для відновлення захисних покриттів без переривання експлуатації цих елементів.

До вторинного захисту також можна віднести усунення агресивного середовища від поверхні конструкції. Схема одного з прикладів такого рішення наведена на рис. 5.1.

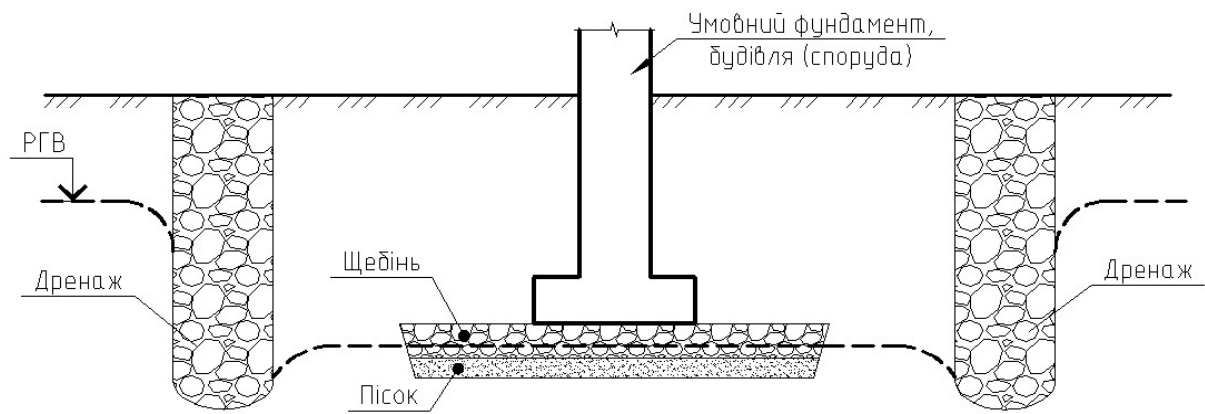


Рис. 5.1. Відведення агресивних ґрунтових вод від фундаменту

5.1.3. Проектування заходів захисту конструкцій

Вихідними даними для проектування захисту від корозії є:

- 1) характеристика агресивного середовища: вид і концентрація агресивної речовини, частота й тривалість агресивної дії;
- 2) умови експлуатації: температурно-вологісний режим у приміщеннях, ймовірність потрапляння на будівельні конструкції агресивних речовин, наявність, кількість та склад пилу (особливо пилу, що містить солі);
- 3) кліматичні умови району будівництва;
- 4) результати інженерно-геологічних вишукувань;
- 5) передбачувані зміни ступеня агресивності середовища в період експлуатації будівлі чи споруди;
- 6) механічні впливи на конструкцію;
- 7) термічні впливи на конструкцію.

При дії на будівлю або споруду декількох різних агресивних середовищ необхідно визначати відповідні зони конкретних агресивних дій і ступінь агресивності в цих зонах. Методи захисту повинні призначатися з урахуванням найбільш агресивних впливів. За наявності обґрунтування за особливим проектом призначається захист від комплексу агресивних дій.

Перед початком проектування окремих залізобетонних конструкцій і конструктивних елементів слід визначати необхідність і можливість здійснення їх первинного захисту від корозії. Технічні рішення в цьому випадку повинні передбачати можливість у разі потреби ви-

конання заходів щодо забезпечення ефективного вторинного захисту від корозії в процесі експлуатації будівлі чи споруди.

Технічні рішення в проектах будівель і споруд, що експлуатуються в агресивних середовищах, повинні бути спрямовані на обмеження або ліквідацію агресивних впливів і зменшення корозійних руйнувань будівельних конструкцій.

Залежно від ступеня агресивності середовища слід застосовувати такі види захисту або їх поєднання:

1) у слабоагресивному середовищі – первинний і, якщо є потреба, вторинний;

2) у середньоагресивному середовищі – первинний і вторинний, здійснюючи останній шляхом нанесення захисного покриття, що *обмежує* доступ агресивного середовища до матеріалу конструкції;

3) у сильноагресивному середовищі – первинний і вторинний, здійснюючи останній шляхом нанесення покриття, що *виключає* доступ агресивного середовища до матеріалу конструкції.

Заходи захисту повинні обиратися на підставі техніко-економічного порівняння варіантів з урахуванням прогнозованого терміну служби та витрат, що включають витрати на відновлення вторинного захисту, поточний і капітальний ремонт та інші витрати, пов'язані з витратами на експлуатацію конструкцій.

Під час проектування первинного захисту конструкцій від корозії необхідно враховувати вплив цих заходів на клас вогнестійкості конструкції. Під час проектування вторинного захисту від корозії необхідно враховувати сумісність цих покриттів із вогнезахисними покриттями (у разі їх використання для підвищення вогнестійкості конструкцій) та їх спільний вплив на захист від корозії та здатність підвищувати клас вогнестійкості до нормованих значень.

Вимоги до матеріалів для ізоляції бетонних поверхонь від контакту з рідкими агресивними середовищами. Умови роботи покриттів на бетонах мають такі особливості:

– для поверхні характерна мікрошорсткість за рахунок пористості цементного каменю;

– поверхня бетону включає хімічно активні й водорозчинні сполуки (вапно), що мають лужний характер;

- у процесі експлуатації можлива зміна вологості поверхні за рахунок надходження до поверхневого шару вологи з інших частин конструкції;

- за від’ємних температур можливе замерзання води в поверхневому шарі під покриттям, що змінює фізичний стан поверхні;

- можлива поява тонких тріщин на поверхні бетону при усадці, температурних напруженнях, напруженнях від постійних та тимчасових навантажень.

Під час вибору ізоляційних покриттів враховують такі вимоги:

- покриття повинно бути стійким до дії слабких лугів;

- покриття повинно достатньо закривати пори поверхні;

- покриття наноситься на суху поверхню; при вологій поверхні матеріал повинен хімічно зв’язувати воду – зчеплення відбувається із сухою поверхнею;

- покриття повинно бути достатньо еластичним (збереження суцільності в разі появи тріщин).

5.2. Захист конструкцій від водних розчинів

Найчастіше агресивні впливи на конструкції транспортних споруд виявляються дією водних розчинів агресивних речовин, тому ізоляційні покриття повинні виконувати функцію гідроізоляції.

Ґрунтові води, які можуть містити агресивні компоненти, здатні проникати як через бічну поверхню конструкцій, так і через підшву фундаменту (рис. 5.2) за рахунок капілярного підняття (підсосу).

Це викликає необхідність створення вертикальної та горизонтальної гідроізоляції. Якщо виконання вертикальної гідроізоляції в більшості випадків не викликає труднощів (якщо є можливість виконання земляних робіт по периметру будівлі), то створення горизонтального гідробар’єра в *існуючій конструкції* є складним завданням.

Створення горизонтального гідробар’єра в існуючих конструкціях.

1. Механічний метод – розміщення в необхідному місці горизонтального ізоляційного бар’єра шляхом *підрізання стін відрізками*. Для виконання підрізок застосовуються ланцюгові або дискові пили.

Конструкція (бетон або кам'яна кладка фундаменту будівлі, її цокольної частини) прорізається на всю товщину підрізками певної довжини з певним кроком (встановлюються розрахунком). Утворені прорізи заповнюються водонепроникними матеріалами з необхідними механічними характеристиками (методом ін'єктування, наприклад). Після набору міцності матеріалом виконується новий ряд підрізків (у шаховому порядку до попереднього), які також заповнюються гідроізоляційним матеріалом.

До недоліків методу можна віднести те, що у випадку неправильної розрахункової оцінки розподілу напружень у конструкції після виконання підрізків або недотримання вказаних у проекті параметрів підрізків (незадовільний контроль якості виконання робіт) є високим ризик появи тріщин у матеріалі конструкції та її місцеве руйнування.

2. Метод *створення гідрофобної блокади*. Забезпечує створення гідрофобної блокади в товщі конструкції.

Створення гідрофобного (водовідштовхувального) ефекту полягає в зменшенні інтенсивності або усуненні сил притягання молекул води до стінок капілярних пор внаслідок відкладення на них (адсорбції) молекул гідрофобізатора. Це призводить до значного обмеження або й неможливості капілярного підняття (підсосу) води через товщу конструкції.

Робота гідрофобного покриття на поверхні бетону наведена на рис. 5.3.

У просвердлені в шаховому порядку отвори (діаметром 20 мм і кроком 20 см орієнтовно) вводять гідрофобний розчин (кремнієво-органічні сполуки, органічні смоли, силікони) до повного насичення капілярної структури конструкції в зоні отвору (рис. 5.4).

Причина можливого недостатньо ефективного результату – неосушення стін перед ін'єкцією розчину – неповне насичення

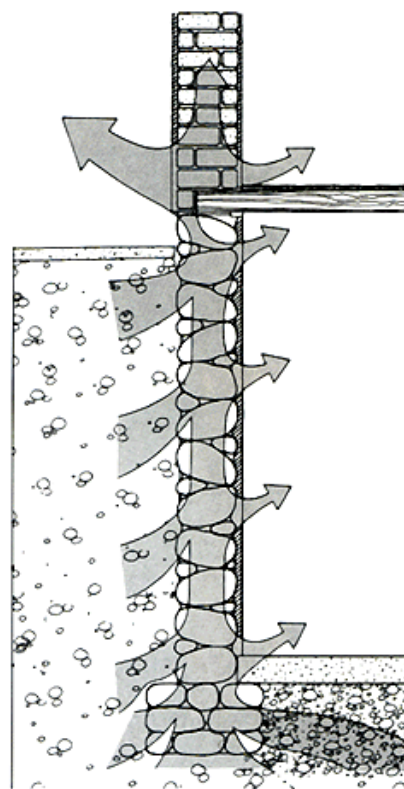


Рис. 5.2. Надходження ґрунтових вод в конструкцію [22]

гідрофобним розчином пор та капілярів матеріалу конструкції, заповнених водою (особливо це стосується дрібних пор та капілярів).

Тому попередньо рекомендується здійснювати термічне осушення стіни. Для цього в просвердлених отворах в зоні виконання робіт розміщуються нагрівальні елементи та вентилююче обладнання. При вологості конструкцій 8...12 % час, необхідний на достатнє осушення, – 2...4 дні (3 % на добу). З досягненням вологості 5 % можна виконувати насичення гідрофобізатором.

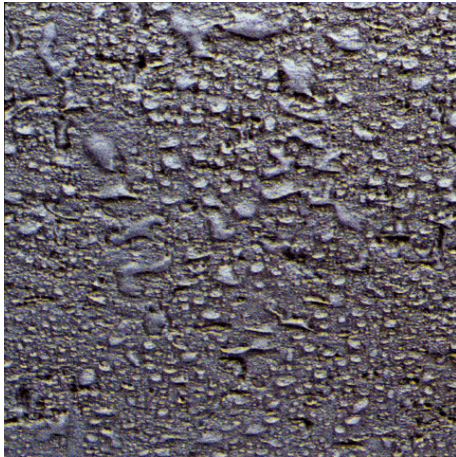


Рис. 5.3. Водовідштовхувальний ефект при нанесенні на поверхню бетону гідрофобного покриття



Рис. 5.4. Процес насичення капілярної структури матеріалу конструкції гідрофобним розчином

Насичення структури матеріалу конструкції гідрофобізатором виконують або методом ін'єкції (під тиском, рис. 5.5, *а*), або самопливом (за рахунок капілярного втягування, рис. 5.5, *б*).

У разі використання методу ін'єкції дрібні пори та капіляри заповнюються меншою мірою, але роботи виконуються з малими затратами часу. Для насичення матеріалу конструкції самопливом необхідний досить тривалий час, але досягається краще насичення.

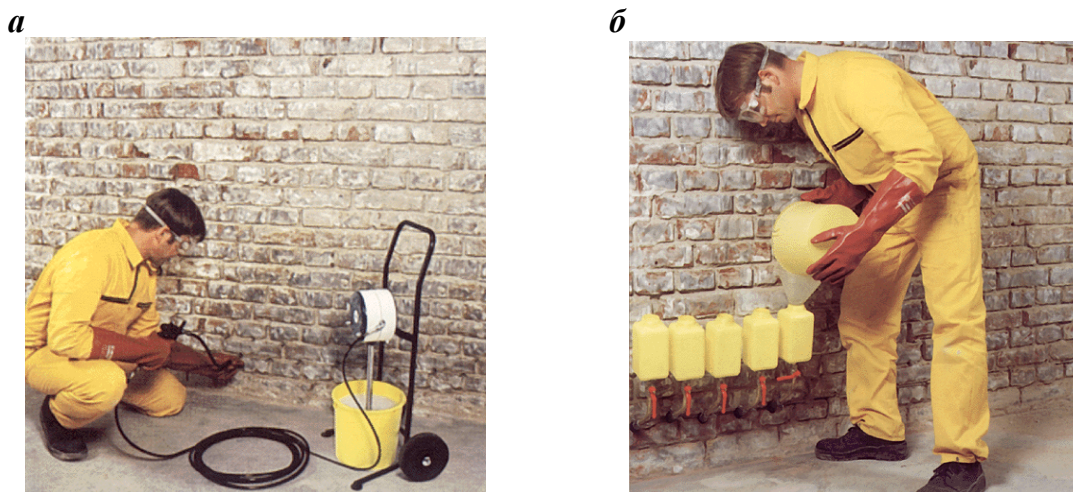


Рис. 5.5. Насичення структури матеріалу конструкції гідрофобізатором методом ін'єкції (а) або самопливом (б) [22]

Способи гідроізоляції конструкцій та захисту від впливу ґрунтових вод. Нижче наводиться декілька з багатьох способів, які дозволяють виконати захист від впливу ґрунтових вод та гідроізоляцію існуючих конструкцій, особливо в умовах щільної забудови, ускладнення проведення земляних робіт для отримання доступу до поверхні конструкцій.

Електроосмотичний метод (рис. 5.6). Принцип полягає в спрямованому русі рідини (ґрунтових вод) через пори та капіляри матеріалу конструкції при накладенні електричного поля (явище електроосмосу).

Використовується пристрій для забезпечення спрямованого руху води в пористих тілах під дією зовнішнього електричного струму. У необхідному місці будівлі розміщується пристрій та система електродів, які за допомогою слабкої і безпечної електромагнітної хвилі створюють незначний позитивний заряд в зоні своєї дії, примушуючи воду рухатися до від'ємно зарядженого ґрунту навколо будівлі, витісняючи таким чином вологу з конструкції назовні.

Метод доцільно використовувати для конструкцій стін підвальних та цокольних приміщень, які контактують з ґрунтом і мають чітко виражені ознаки капілярного всмоктування ґрунтових вод.

Використання цієї технології виключає необхідність проведення земляних робіт (розкриття конструкцій), підрізання стін та виконання в них отворів. На час монтажу та роботи системи будівля не виводиться з експлуатації.

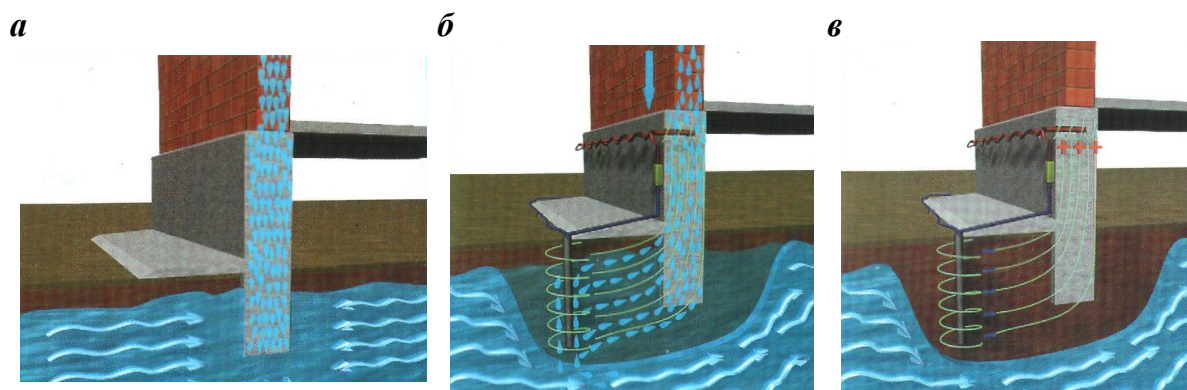


Рис. 5.6. Захист конструкцій від ґрунтових вод методом електроосмосу:
а – підняття води капілярами бетону; б – відведення води; в – захист конструкції

Незважаючи на постійні експлуатаційні витрати, такий метод захисту конструкцій можна рекомендувати для осушення стін при реставрації пам'яток архітектури та старих будівель.

Проникаюча гідроізоляція. Пенетруючі (проникаючі) матеріали – це сухі суміші на основі портландцементу, кварцового піску й активних мінеральних добавок.

При нанесенні на поверхню конструкції у вигляді штукатурки або обмазки декількома шарами забезпечує створення вертикального та горизонтального (у товщі конструкції) водонепроникного шару. Глибина проникнення в товщу конструкції залежить від капілярно-пористої структури, її водонасичення, проникної здатності матеріалу. Для покращення ефективності створеного горизонтального гідробар'єра можуть виконуватись отвори в шахматному порядку, у які додатково нагнітається проникаючий гідроізоляційний матеріал.

Застосування такої гідроізоляції особливо ефективно за наявності одностороннього доступу до конструкції (з підвалу, у разі неможливості виконання земляних робіт для доступу до зовнішньої поверхні).

Як компоненти, що забезпечують проникаючий ефект, використовують активний кремнезем, активний оксид алюмінію, сульфолюмі-

нати кальцію та інші сполуки, здатні під дією води зв'язувати вільне вапно у важкорозчинні сполуки (гідросилікати, гідроалюмінати й гідросульфоалюмінати кальцію), які колюматують (закупорюють) капілярно-пористу структуру бетону – утворення розгалужених ниткоподібних кристалічних утворень з тонкопористою структурою.

Обов'язковою умовою ефективної роботи проникаючої гідроізоляції є наявність достатньої кількості води для формування кристалічних утворень, що вимагає попереднього насичення структури бетону водою. Температура не нижче +5 °С.

Для ефективного проникнення пенетруючих матеріалів у бетон його поверхня повинна мати відкриту порову структуру, що забезпечується очищенням водою під високим тиском або гідроабразивною «мокрою» піскоструминною обробкою. При механічному очищенні за допомогою фрез, металевих щіток, сухій піскоструминній обробці пори забиваються й заповіровуються, що робить вплив пенетратів малоефективним.

Рекомендується видалення карбонізованого шару бетону.

Переваги застосування проникаючої гідроізоляції:

а) збільшення водонепроникності після обробки – з W2...W4 до W10...W16. При цьому основа з нанесеною гідроізоляцією не втрачає повітро- і паропроникності;

б) кристалічні утворення проникаючої гідроізоляції є складовою структури бетону, тому незначні механічні пошкодження поверхні можуть допускатися без порушення гідроізоляційних властивостей (оброблена пенетруючими матеріалами поверхня не потребує захисту під час зворотного засипання);

в) використовуючи проникаючу гідроізоляцію, можна отримувати необхідну водонепроникність на більш дешевих бетонах, з обмеженою витратою цементу.

Недоліки:

а) можливе утворення на поверхні бетону висолів;

б) зв'язування вільного вапна знижує рН порової рідини цементного каменю, що підвищує ризик розвитку корозії арматури;

в) не містячи полімерних добавок, гідроізоляційні покриття є жорсткими – обмеження застосування на поверхнях з розміром тріщин більше ніж 0,3–0,4 мм, при дії динамічних навантажень;

г) більшість матеріалів неефективні на високопористих та дефектних бетонах. Кількість утворених продуктів недостатня для колюматації великих об'ємів пор та дефектів структури;

д) проникаюча гідроізоляція для конструкцій з тривалим терміном експлуатації може виявитися неефективною, оскільки відсутня необхідна кількість вільного окису кальцію.

Санувальні та висушувальні штукатурні матеріали. При міграції сольових розчинів через товщу конструкції та подальшому випаровуванні можливе утворення кристалічної солі в поверхневому шарі бетону (кам'яної кладки) або на контакті з нанесеним покриттям, що при значних концентраціях може призвести до руйнування. Вирішення проблеми можливе при використанні на таких поверхнях санувальних та висушувальних штукатурок.

Системи санувальних (реставраційних) штукатурок призначені для осушення зовнішніх поверхонь конструкцій при нанесенні їх на вологі середньо- та сильнозасолені кам'яні кладки (якщо умови середовища допускають їх висихання).

Пориста структура штукатурки забезпечує швидке проникнення водяної пари на зовнішню поверхню – ефективний процес висихання конструкції стіни та штукатурки. Солі, що транспортуються у вигляді сольового розчину капілярами, переносяться в об'єм санувальної штукатурки, де і накопичуються після випаровування води. Значний об'єм пор у структурі штукатурки (25...40 %) забезпечує нагромадження солей без виникнення внутрішнього тиску й руйнування протягом певного часу (рис. 5.7). Гідрофобні добавки запобігають проникненню вологи ззовні.

Санувальні штукатурки не використовуються:

- у разі надходження води під напором;
- в умовах недостатньої вентиляції та високої вологості;
- у місцях контакту конструкції з ґрунтом.

Технологія влаштування санувальної штукатурки включає такі операції:

1. Підготовка основи. Стару, пошкоджену й насичену солями штукатурку необхідно видалити до основного матеріалу конструкції. Пошкоджену ділянку розширюють приблизно на 0,8...1,0 м від межі пошкодженої зони. Обробка може бути як механізованою (піскоструминною), так і ручною за допомогою металевих щіток.

2. Виконання адгезійного шару (напівнабризку). Наносять на основу шаром товщиною не більше ніж 5 мм і покривають не більш ніж 50 % поверхні. Як мінеральну складову матеріалу напівнабризку використовують матеріал обраної системи санувальної штукатурки.

3. Нанесення шару санувальної штукатурки для кристалізації та накопичення солей (один або декілька шарів загальною товщиною до 4 см).

4. Виконання фінішного покриття (матеріали з високою дифузійною здатністю) товщиною до 5 мм.

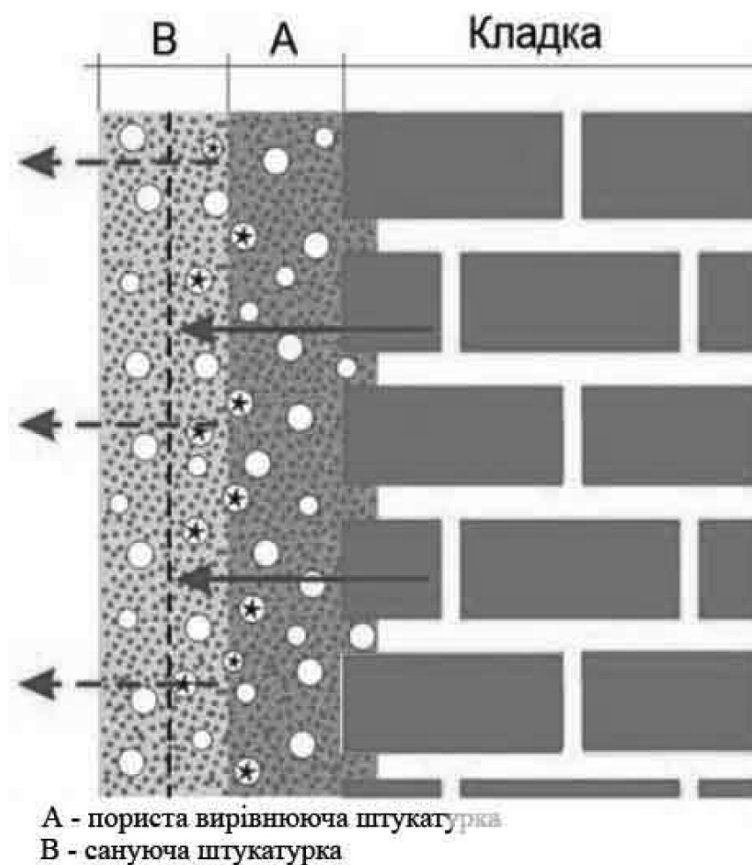


Рис. 5.7. Застосування санувальної штукатурки [5]

Висушувальна штукатурка має більш тонкопористу структуру, ніж санувальна, служить бар'єром для проникнення сольового розчину. Водночас молекули води вільно проникають у капілярну структуру й далі випаровуються з поверхні.

Сольовий розчин зі збільшеною концентрацією не накопичується в штукатурці чи конструкції, а під дією власної ваги поступово руха-

ється у зворотному напрямку, *не кристалізувавшись*, наявне зниження рівня підйому капілярної вологи в кладці стіни.

Висушувальна штукатурка не виконує функцію нагромаджувача солей, як санувальна, тому термін служби висушувальних штукатурок практично не обмежений.

Контрольні завдання та запитання

1. Які заходи відносять до первинного захисту конструкцій від агресивних впливів? вторинного захисту конструкцій від агресивних впливів?
2. Які завдання проектування заходів захисту конструкцій від агресивних впливів?
3. З якою метою здійснюється захист конструкцій від водних розчинів?
4. Чим обґрунтувати необхідність створення горизонтального гідробар'єра в існуючих конструкціях? Основні способи.
5. Суть застосування електроосмотичного методу для захисту конструкцій будівель від ґрунтових вод.
6. Якими є особливості застосування проникаючої гідроізоляції? Її переваги та недоліки.
7. У чому суть застосування санувальних та висушувальних штукатурних матеріалів для захисту кам'яних кладок?

Загальні вимоги до матеріалів для ремонту конструкцій

6.1. Характеристики ремонтних матеріалів

У процесі експлуатації конструкції будівель та споруд піддаються значній кількості дій та впливів. Ті самі дії та впливи будуть передаватись на ремонтний матеріал відновлених ділянок.

Від початку експлуатації агресивні дії та впливи сприймаються суцільним масивом матеріалу (бетону) – відбувається поступове рівномірне руйнування (зношення) поверхні конструкції. Цей матеріал можна розглядати як систему з одного елемента, для забезпечення необхідної якості (надійності) якого здійснюються певні заходи – виконуються вказівки нормативних документів під час проектування, виготовлення, монтажу (вкладання) і т. д.

Відновлена (відремонтована) ж ділянка є складною системою (рис. 6.1), кожна складова якої відповідає за надійну та довговічну роботу. Для забезпечення необхідної надійності роботи ремонтної системи в цілому необхідно забезпечити виконання відповідних вимог до кожного з її елементів, що значно ускладнює завдання.

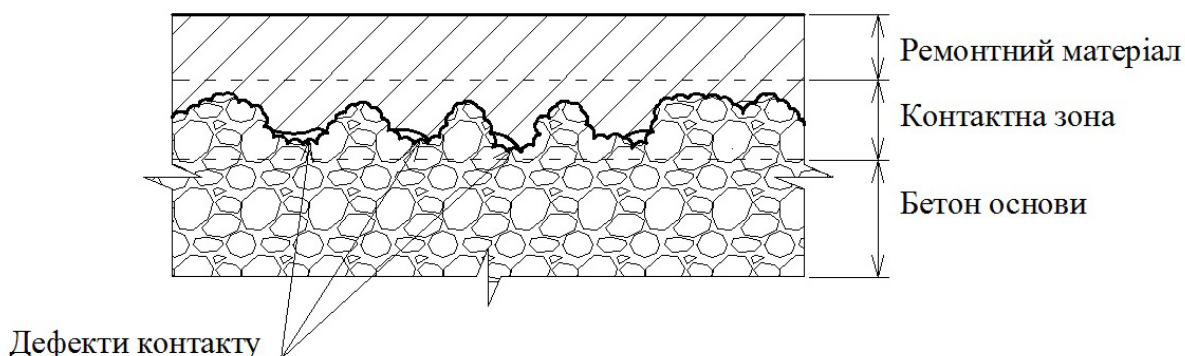


Рис. 6.1. Модель ремонтної системи

Крім того, на роботу системи впливають не тільки властивості її складових, але й особливості взаємодії цих складових між собою залежно від умов середовища експлуатації конструкції.

Також функціонування ремонтної ділянки як єдиної системи залежить принаймні від її цілісності, що забезпечується щільним контактом між шарами з достатньою величиною міцності зчеплення. Для оцінки міцності зчеплення між складовими ремонтної системи застосовується багато способів, які дозволяють провести випробування на зріз або відрив на лабораторних зразках або вже нанесених на конструкцію покриттях (рис. 6.2).

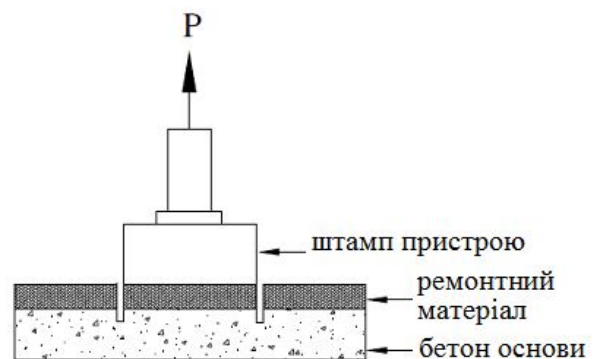


Рис. 6.2. Визначення міцності зчеплення нанесеного покриття з основою [47]

Усі ці фактори викликають необхідність контролю значної кількості характеристик бетону основи та ремонтного матеріалу, технологічних процесів, що зумовлює складність ефективного ремонту конструкції.

Характеристики ремонтного матеріалу, що мають значний вплив на формування та роботу ремонтної системи протягом експлуатації, поділяють на дві групи: технологічні та експлуатаційні.

Технологічні характеристики. До технологічних належать характеристики матеріалів, які забезпечують можливість їх застосування для певних технологій нанесення, достатній термін придатності та оброблюваності матеріалу, збереження однорідності властивостей матеріалу в усьому об'ємі протягом періоду вкладання (протягом виконання всіх технологічних операцій). Тобто властивості, які повинен мати матеріал до початку процесу твердіння (утворення початкової міцності).

Основні технологічні характеристики:

а) *легкоукладальність* (оброблюваність) – в'язкість, пластичність (показники: розплив або осадка конуса та ін.);

б) *життєздатність* (характеризується зміною реологічних властивостей протягом часу) – забезпечення достатнього терміну придатності матеріалу до застосування (допустиме зниження ОК);

в) *седиментаційна* (сегрегаційна) *стійкість* – збереження однорідності розподілу компонентів у всьому об'ємі матеріалу до початку утворення структури (відсутність процесів розшаровування та осідання компонентів різної густини).

Основні технологічні властивості ремонтного матеріалу впливають на подальше формування структурно-механічних властивостей та показника ефективної площі контакту з матеріалом основи-підкладки (достатньої щільності прилягання ремонтного матеріалу до поверхні, повноти заповнення дефектів матеріалу конструкції, глибини проникнення та ін.).

Для прикладу: у разі ручного оштукатурювання поверхні пластичність ремонтного матеріалу буде мати значний вплив на дефектність отриманого контакту. Особливість ручного нанесення – мала інтенсивність впливу на матеріал, що в разі недостатньої пластичності (значної в'язкості) не дозволить ущільнити його структуру та усунути дефекти контакту (видалити защемлене повітря та воду).

У разі ін'єктування ремонтного матеріалу в тріщину його текучість буде впливати на ймовірність проникнення в найдрібніші дефекти структури матеріалу основи.

Експлуатаційні характеристики. Після початку твердіння та втрати ремонтним матеріалом технологічних властивостей (необхідності їх контролю) визначальними для подальшої роботи ремонтної системи стають експлуатаційні характеристики, основними з яких є такі:

- модуль пружності;
- показники усадкових деформацій;
- повзучість (при стиску та розтягу);
- коефіцієнт температурної деформації;
- проникність (водо-, паро-, газо-);
- морозостійкість;
- корозійна стійкість у середовищі експлуатації конструкції;

- зносостійкість;
- адгезійна міцність контакту зі «старим» бетоном;
- міцність та інтенсивність її набору.

Експлуатаційні характеристики повинні забезпечувати ефективну роботу ремонтної системи протягом експлуатації, що включає:

а) можливість перерозподілу напружень між «старим» та «новим» бетоном без порушення контакту при відновленні робочої площі перерізу (геометрії конструкції);

б) збереження суцільності контакту між матеріалами при виникненні деформацій, викликаних зовнішніми факторами та внутрішніми процесами, що відбуваються в матеріалах;

в) підвищення стійкості відремонтованих ділянок, які до ремонту піддавались інтенсивним агресивним впливам.

6.2. Вплив властивостей ремонтного матеріалу на його сумісність з бетоном основи

Вплив характеристик ремонтного матеріалу на надійність та довговічність ефективної роботи системи «*основа – ремонтний матеріал – середовище*» оцінюється за їх сумісністю з відповідними характеристиками матеріалу основи.

Сумісність визначається як рівновага фізичних, хімічних, електрохімічних та деформаційних характеристик між ремонтним матеріалом та бетоном основи, що забезпечує здатність системи після ремонту чинити опір всім напруженням, що викликаються змінами об'єму, хімічними та електрохімічними впливами без пошкоджень протягом визначеного часу [46].

Деформаційна сумісність. Деформаційна сумісність забезпечує здатність відремонтованої ділянки зберігати цілісність у разі виникнення певних деформацій та змін об'єму її елементів. Розшарування в ремонтній системі або руйнування її складових може відбуватися внаслідок:

- надлишкової* деформації усадки ремонтного матеріалу (пластична усадка при висиханні, хімічна усадка, рис. 6.3, а);
- надлишкового розширення в ремонтних матеріалах з компенсацією усадки (рис. 6.3, б). Такі наслідки можуть спостерігатись у випадку надмірної кількості розширювального компоненту в матеріалі (порушення рецептури виробником); у разі невідповідного застосування матеріалу (ремонтний матеріал, призначений для експлуатації при низькій вологості, використовують для обводнених зон конструкцій).
- надлишкового термічного розширення ремонтного матеріалу при твердінні (значний вміст цементів з високою екзотермією, рис. 6.3, в);
- надлишкової температурної деформації ремонтного матеріалу відносно основи внаслідок коливань температури середовища (технологічних, добових, рис. 6.3, г, д).

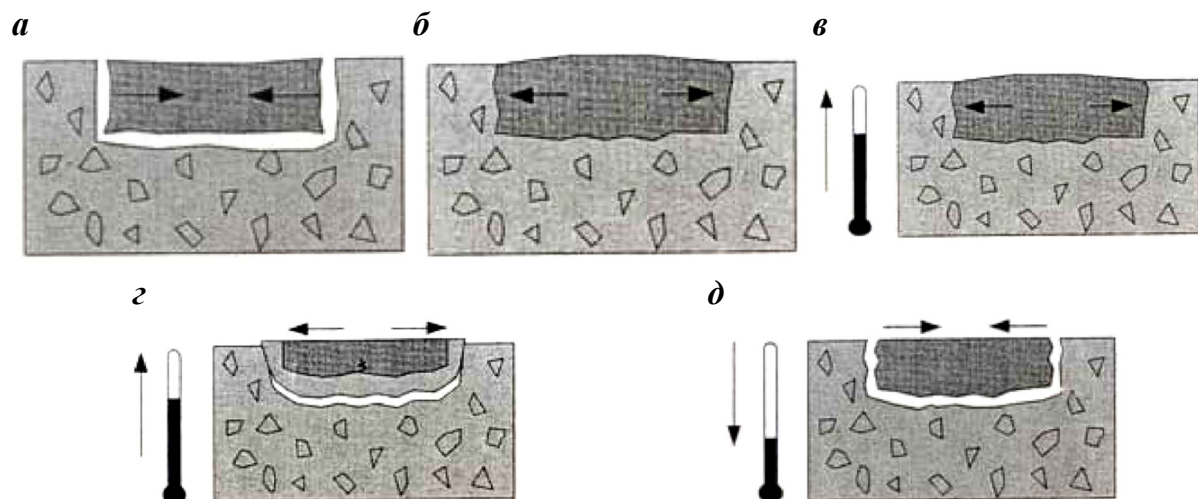


Рис. 6.3. Схеми процесів, що викликають втрату цілісності в ремонтній системі [47]

Основними властивостями, що визначають деформаційну сумісність системи, є величини усадкових та температурних деформацій, модулі пружності та показники повзучості матеріалів.

* Під «надлишковою» в цьому випадку мається на увазі така величина деформації, яка призведе до виникнення рівня напружень, що перевищує показник міцності системи – як наслідок, відбувається її руйнування (розшарування, розтріскування).

Усадкові та температурні деформації спричиняють виникнення напружень у ремонтній системі, на величину та характер яких великою мірою впливають співвідношення деформативності матеріалів (модулі пружності, повзучість).

Для прикладу можна розглянути процес виникнення напружень у ремонтній системі, викликаних усадковими деформаціями ремонтного матеріалу. Усадкова деформація, яка викликає зменшення об'єму (лінійних розмірів) незалежного матеріалу, називається вільною (рис. 6.4, *а*). Робота ремонтного матеріалу в складі ремонтної системи є випадком невільної усадки, оскільки покриття з'єднане з бетоном основи, яка має сталий об'єм і обмежує деформацію покриття. Умовна схема виникнення зон розтягу внаслідок обмеження деформацій наведена на рис. 6.4, *б*.

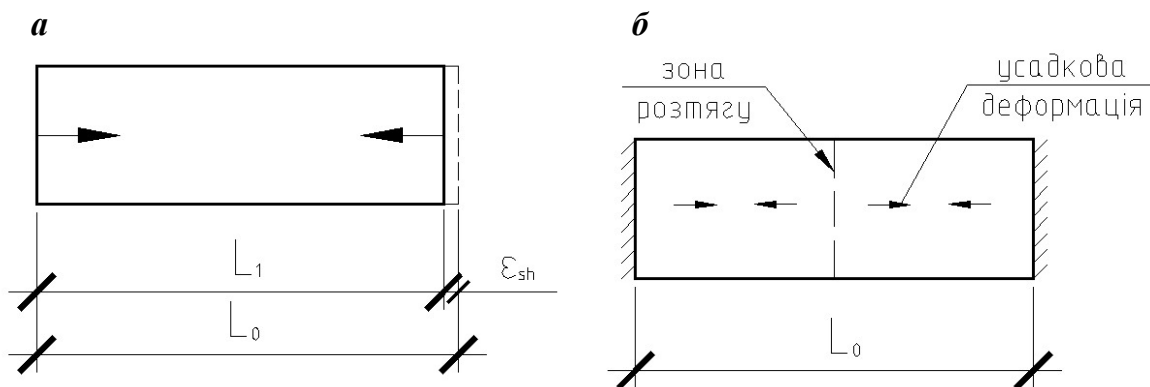


Рис. 6.4. Вільна (*а*) та невільна (*б*) усадкова деформація матеріалу

У разі досягнення величиною напружень розтягу в матеріалі покриття його міцності на розтяг на поверхні утворюється сітка усадкових тріщин (рис. 6.5).

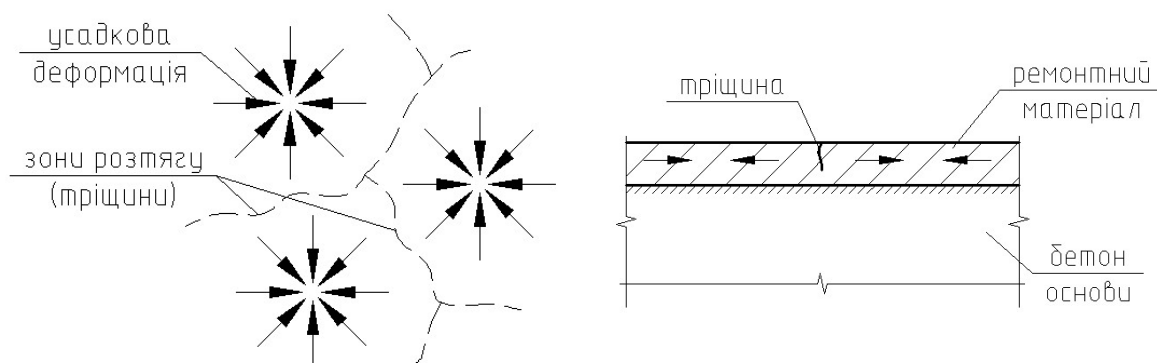


Рис. 6.5. Тріщиноутворення в матеріалі покриття внаслідок усадки

Значний вплив на зменшення ймовірності тріщиноутворення в ремонтному покритті та його відшарування від основи має співвідношення модулів пружності ремонтного матеріалу (р. м.) та бетону основи (осн.).

При співвідношенні $E_{р.м.} > E_{осн.}$ (рис. 6.6, а) ремонтний матеріал, деформуючись внаслідок усадки на величину $\epsilon_{р.м.}$, деформує за собою граничні волокна бетону основи на ту саму величину, оскільки при напруженні в контактній зоні σ_1 можлива деформація бетону основи значно більша ($\epsilon_{осн.}$). Це зумовлює певне зниження напружень розтягу в ремонтному покритті та дотичних напружень у контактній зоні, а отже, зменшує ймовірність втрати цілісності системи.

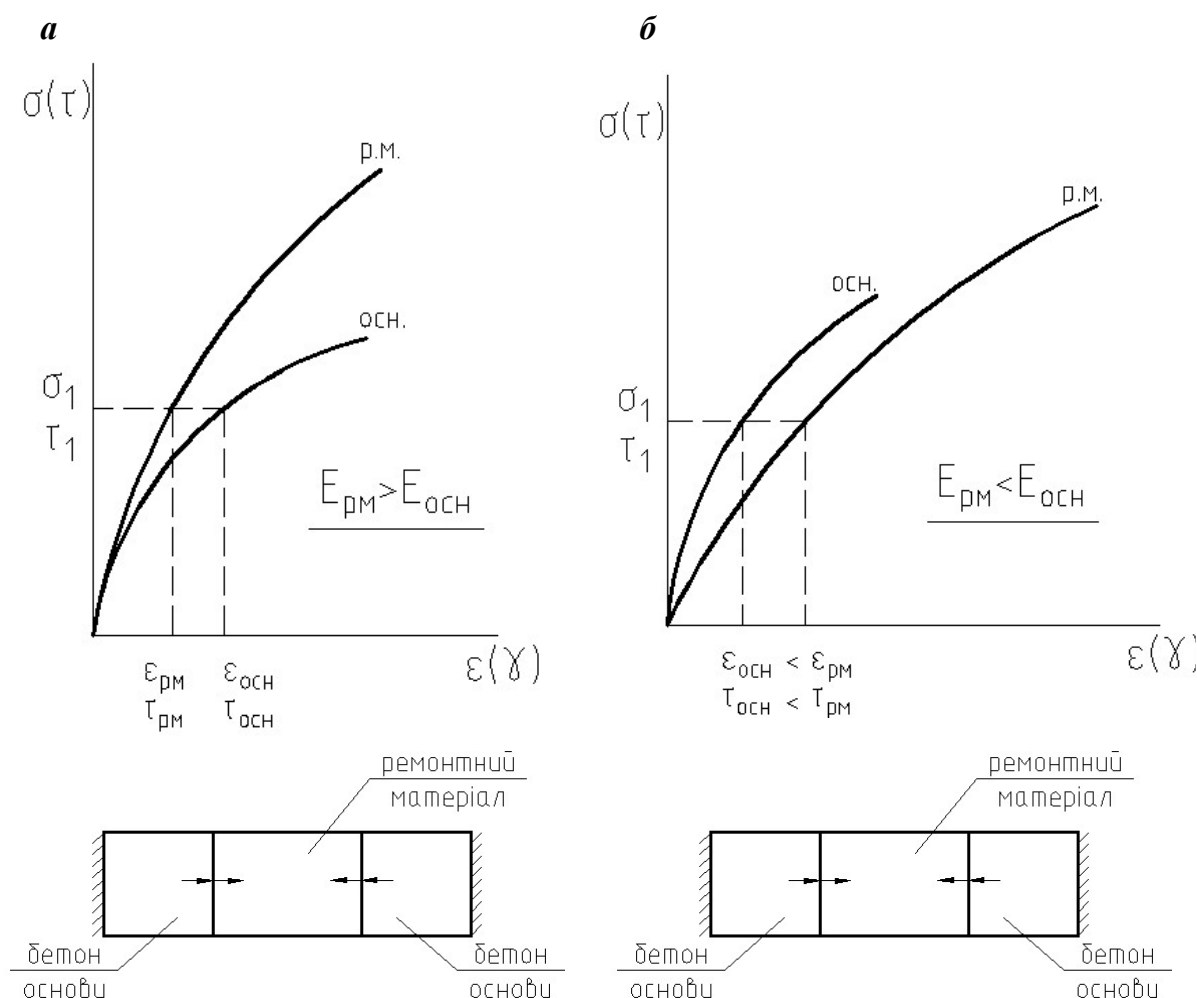


Рис. 6.6. Вплив співвідношення модулів пружності складових ремонтної системи на деформаційну сумісність

У разі $E_{p.m} < E_{осн}$ (рис. 6.6, б) усадкова деформація ремонтного матеріалу $\varepsilon_{p.m}$ викликає напруження в контактній зоні σ_1 , при якому можлива деформація бетону основи ($\varepsilon_{осн}$) значно менша. Різниця можливих деформацій веде до зростання напружень розтягу в ремонтному покритті та дотичних напружень у контактній зоні.

За деякими даними, при рекомендованому співвідношенні модулів пружності ремонтного матеріалу ($E_{p.m}$) та бетону основи ($E_{осн}$) $E_{p.m}/E_{осн} \sim 1,3$ більша частина деформації усадки буде перенесена на бетон основи. Проте обмеженням для вибору ремонтного матеріалу з таким модулем пружності може стати умова дотримання конструкційної (механічної) сумісності.

Також значному зменшенню рівня напружень у ремонтній системі сприяє величина повзучості ремонтного матеріалу. Потрібно врахувати, що компенсаційний ефект повзучості може привести до роботи ремонтної ділянки як неконструкційного ремонту (див. конструкційну сумісність).

Найбільш ефективним заходом для дотримання деформаційної сумісності є вибір ремонтного матеріалу зі сталим об'ємом (мінімальною усадковістю або обмеженням розширенням) та коефіцієнтом температурної деформації, близьким до відповідної характеристики бетону основи.

В остаточному підсумку, висновок про деформаційну сумісність може бути зроблений за умови, якщо співвідношення визначальних характеристик ремонтного матеріалу та бетону основи будуть гарантувати неперевищення виникаючими в певних умовах експлуатації напруженнями показників міцності ремонтної системи (міцність зчеплення на зріз та відрив між матеріалами; міцності на зріз та розтяг матеріалів, що утворюють систему).

Конструкційна (механічна) сумісність. За показником конструкційної сумісності ремонтні матеріали можна розділити за двома напрямками використання:

- неконструкційний ремонт – сприйняття ремонтним матеріалом зусиль від зовнішніх силових впливів не передбачається (ізоляційні покриття; відновлення захисного шару в розтягнутій зоні);
- конструкційний ремонт – ремонтний матеріал сприймає силові впливи, які початково передавались на вилучений бетон.

Крім умови збереження цілісності ремонтної системи (дотримання вимог деформаційної сумісності), характерної для обох типів ремонту, у випадку конструкційного ремонту до вибору ремонтного матеріалу висуваються більш жорсткі вимоги.

Зменшення об'єму матеріалу внаслідок усадки або температурної деформації (рис. 6.7, *а*) або тривала надмірна деформація повзучості (рис. 6.7, *б*) призводить до зменшення участі ремонтного матеріалу в роботі перерізу відновленої конструкції. А це, у свою чергу, може викликати зростання напружень у бетоні основи.

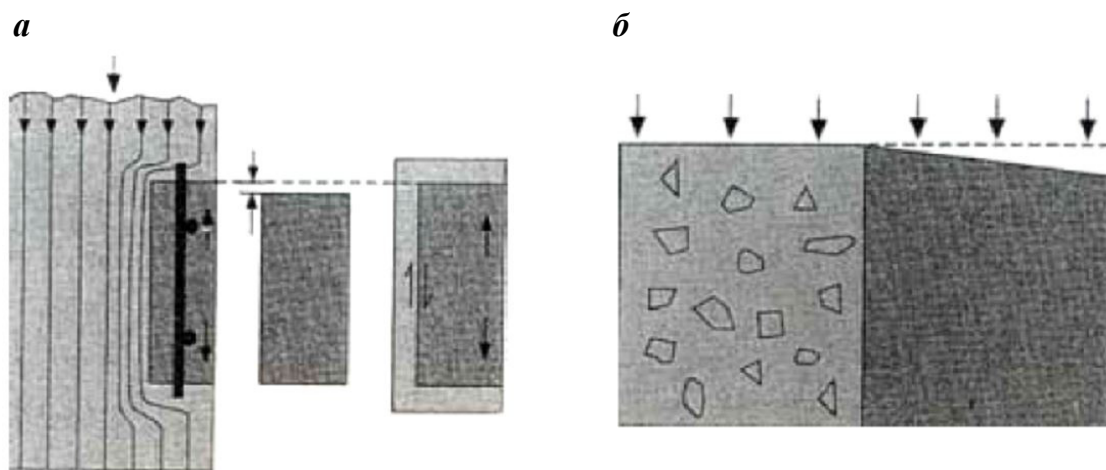


Рис. 6.7. Вплив усадкових (температурних) деформацій (*а*) та повзучості (*б*) ремонтного матеріалу на конструкційну сумісність системи [47]

Також значні розбіжності у величині модулів пружності ремонтного матеріалу та бетону основи можуть призвести до значного росту напружень (з можливим досягнення критичних значень) в одній із цих складових (з більшим модулем пружності, рис. 6.8, *а, б*). При цьому необхідно враховувати взаємне розташування складових системи відносно діючих силових впливів (рис. 6.8, *б, в* [47]).

Таким чином, для забезпечення конструкційної сумісності складових ремонтної системи повинні виконуватися такі вимоги:

– модулі пружності та коефіцієнти температурної деформації ремонтного матеріалу й бетону основи повинні бути рівними*;

* На практиці «рівності» значень вказаних характеристик досягти дуже складно, але хоча б їх наближення дозволить забезпечити достатньо рівномірний розподіл напружень у перерізі відновленої конструкції.

- показники міцності ремонтного матеріалу повинні перевищувати відповідні характеристики бетону основи;
- мінімальна усадковість;
- мінімальна повзучість.

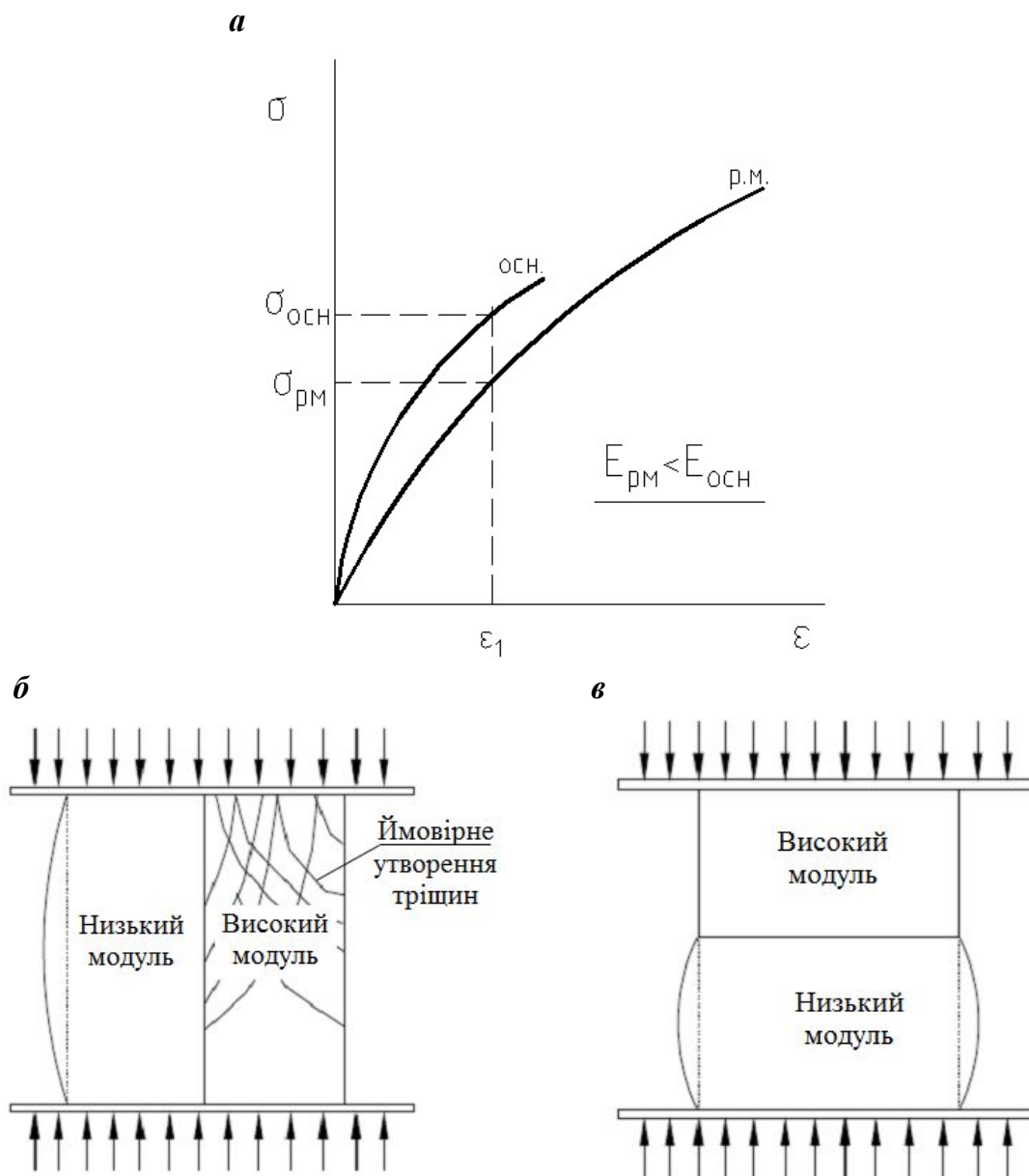


Рис. 6.8. Вплив розбіжностей модулів пружності складових ремонтної системи на конструкційну сумісність

У разі порушення наведених вимог результати ремонту (збереження цілісності та виконання передбачених функцій ремонтною системою) будуть залежати від таких факторів:

– величини та стану поля напружень. Відремонтована ділянка може розташовуватися як у стиснутій, так і в розтягнутій зоні; у багатьох випадках напруження в матеріалах від фактичних експлуатаційних зусиль значно менші від передбачених проектом. Ці фактори пояснюють нормальну експлуатацію ремонтної системи навіть у разі порушення деяких вимог конструкційної сумісності;

– повзучості ремонтного матеріалу;
– міцності зчеплення на відрив і зрізу між ремонтним матеріалом і бетоном основи;

– температури, при якій виконувалися ремонтні роботи, й наступного діапазону температур протягом терміну служби.

Адгезійна сумісність. Під адгезійною сумісністю мається на увазі здатність ремонтного матеріалу сформувати з бетоном основи контакт з достатньою міцністю зчеплення.

Якість роботи системи *«ремонтний матеріал – контактна зона – основа»* буде характеризуватися найслабшою ланкою, яка і спричинить руйнування системи в разі виникнення граничних напружень.

Тобто ремонтний матеріал повинен сформувати контакт з показниками міцності не меншими, принаймні, ніж відповідні показники міцності складових ремонтної системи.

Система адгезійно сумісна, якщо з виникненням граничних напружень у перерізі, що проходить через відремонтовану ділянку, руйнування відбудеться в межах всіх трьох зон (рис. 6.9, сх. 1) або в сусідньому перерізі конструкції, за умови збереження цілісності відремонтованої ділянки (рис. 6.9, сх. 2).

У випадку якщо схема руйнування включає розрив (розшарування) контактної зони між матеріалами, можна вважати, що складові системи адгезійну сумісність не забезпечують (рис. 6.9, сх. 3–5).

Таким чином, виконання умов адгезійної сумісності в ремонтній системі можливе при забезпеченні високої міцності зчеплення, що досягається виконанням вказівок технологічних регламентів використання ремонтних матеріалів, забезпеченням оптимального вологісного (температурного) стану та необхідних механічних характеристик бетону основи, а також, для покращення адгезійної сумісності можуть застосовуватися матеріали-підготовки (грунтування, праймери).

Хімічна сумісність. Під хімічною сумісністю розуміється підбір ремонтного матеріалу, що не має негативних хімічних впливів на бетон основи в зоні ремонту.

Наприклад, вивільнення хлор-іонів може негативно вплинути на захисні властивості бетону до арматурної сталі, іони натрію або калію можуть викликати реакцію із заповнювачем бетону основи, якщо використаний заповнювач схильний до реакції такого типу.

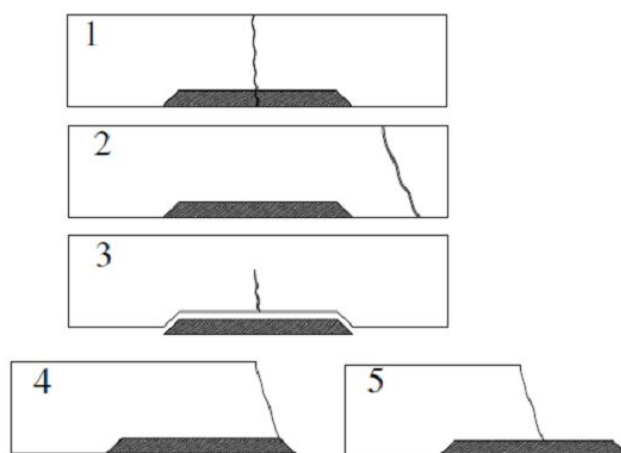


Рис. 6.9. Ймовірні схеми руйнування ремонтної системи [47]:

схеми 1, 2 – адгезійно сумісна система;
схеми 3–5 – адгезійно несумісна система

Електрохімічна сумісність. Важливим фактором, що впливає на якість ремонту, є здатність ремонтної системи перешкоджати подальшому розвитку корозії арматури як у межах відремонтованої ділянки, так і на прилеглих ділянках, що не потребують відновлення.

Видалення існуючого бетону (пошкодженого, нейтралізованого) із зони корозії арматури (рис. 6.10, а) та його заміна певним ремонтним матеріалом може неоднозначно вплинути на подальший розвиток корозії на відремонтованих і прилеглих ділянках.

У випадку значних розбіжностей в електропровідності між ремонтною ділянкою та прилеглим бетоном корозія арматури буде сконцентрована в обмеженій зоні (рис. 6.10, б). Як наслідок, збільшення швидкості корозійного процесу, інтенсивніше пошкодження арматури та матеріалів у перехідній зоні або на прилеглих ділянках (за несприятливих умов) (рис. 6.10, в).

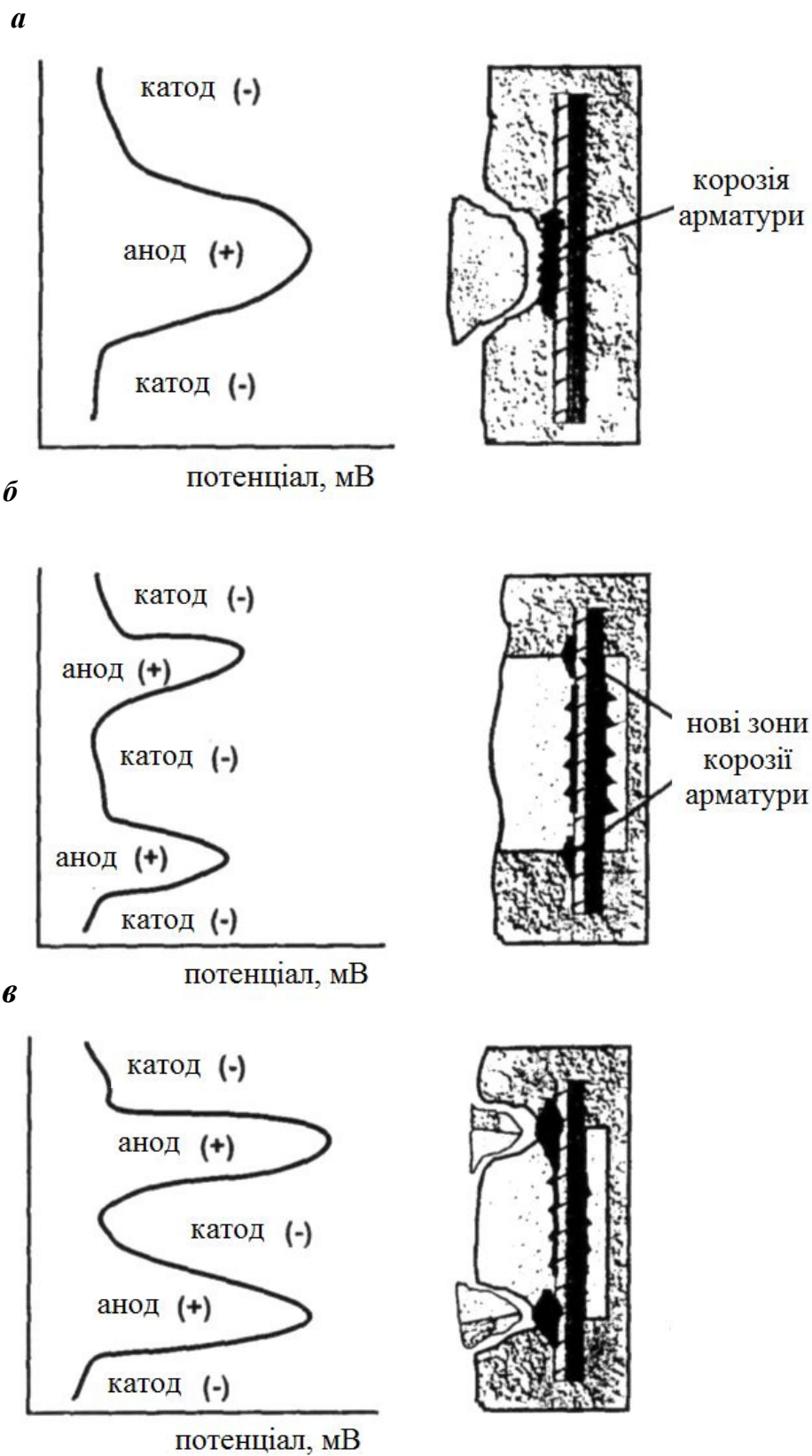


Рис. 6.10. Розвиток корозії арматури в зоні відремонтованої ділянки при електрохімічній несумісності матеріалів

Сумісність за проникністю. При проектуванні ремонтних матеріалів і систем необхідно приділяти увагу проникності ремонтного матеріалу порівняно з бетоном основи.

Наприклад, низька проникність ремонтного покриття для міграції водяної пари може привести до водонасичення бетону основи під шаром ремонтного матеріалу (рис. 6.11). А це, у свою чергу, загрожує морозною деструкцією водонасиченого бетону основи, його руйнування та відшарування нанесеного ремонтного (ізоляційного) покриття.

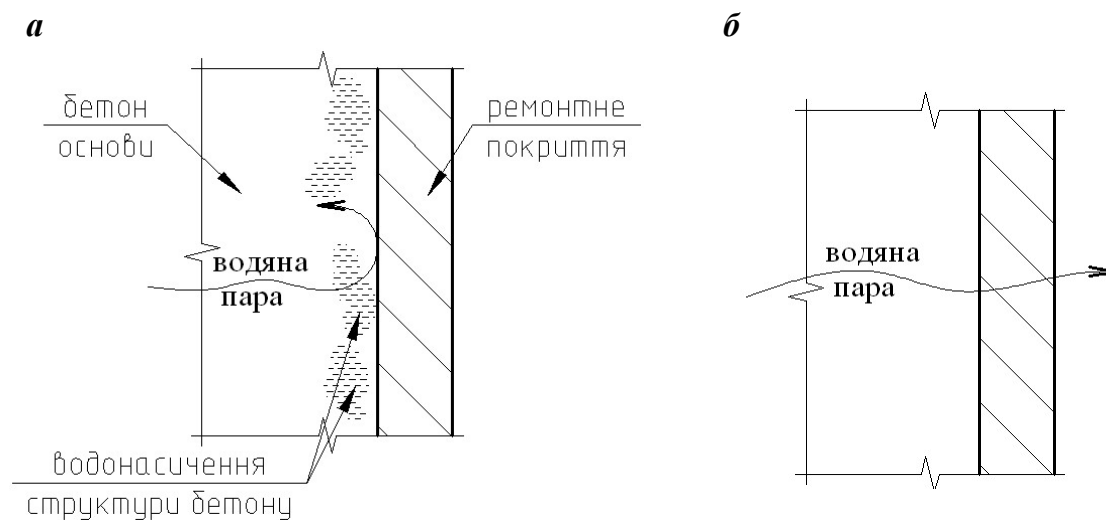


Рис. 6.11. Вплив проникності ремонтного покриття:

а – рівномірна проникність; б – непроникність покриття

В окремих умовах використання малопроникне покриття бетону може негативно вплинути на перенесення через структуру бетону йонів хлору, сольових розчинів та інших агресивних речовин, які будуть накопичуватися перед таким утвореним бар'єром (збільшення концентрації, ймовірна кристалізація), місцево збільшуючи ступінь агресивного впливу.

Таким чином, застосування покриттів різного призначення з показниками проникності, що значно відрізняються від відповідних показників бетону основи (у багатьох ситуаціях таке співвідношення виправдане, особливо для ізоляційних та антикорозійних покриттів) потребує додаткового аналізу.

6.3. Забезпечення зчеплення ремонтного матеріалу з бетоном основи

Якість ремонту конструкції великою мірою визначається міцністю зчеплення нанесеного шару ремонтного матеріалу (нового бетону) з бетоном основи.

В окремих випадках, внаслідок об'єктивних та суб'єктивних причин забезпечення необхідної міцності зчеплення є складним завданням, що зумовлюється такими факторами:

- низька якість бетону основи як конструкційного матеріалу (низька міцність, значна пористість та дефектність бетону поверхні);
- низька якість підготовчих (очищення поверхонь бетону та арматури) та ремонтних робіт, що пояснюється складністю доступу до ділянки ремонту, необхідністю виконання робіт у стислі терміни, умовами середовища експлуатації конструкції;
- недостатня вивченість проблеми забезпечення сумісної роботи в специфічних умовах експлуатації (відсутність достатньої кількості прикладів-прецедентів для аналізу поведінки певного ремонтного матеріалу у відповідних умовах);
- висока вартість ефективних ремонтних матеріалів та обладнання;
- порушення технічних умов у ході використання ремонтних матеріалів.

6.3.1. Фізико-хімічні основи зчеплення нового бетону зі старим

Початковий період контакту ремонтного матеріалу з основою за механізмом перебігу процесів є окремим випадком склеювання структурованої рідини (розчинної суміші) з твердим тілом (бетоном основи).

З моменту нанесення ремонтного матеріалу в зоні контакту «покриття–основа» розвиваються процеси, що визначаються:

- 1) ступенем прилипання «клею» (ремонтної суміші) до поверхні бетону – змочуванням;
- 2) змінами структури ремонтного матеріалу з поступовим утворенням кристалічного зростку з основою.

Перша стадія повинна забезпечити найкращий контакт і взаємодію з поверхнею, друга – гарантувати нормальну роботу контактної зони при подальшій експлуатації конструкції.

Перша стадія. Поведінка ремонтного матеріалу (як в'язкої рідини) при нанесенні на поверхню конструкції та їх взаємодія зумовлюються поверхневими явищами на межі контакту, що пов'язані з такими процесами, як когезія та адгезія [2].

*Когезія** – зчеплення однорідних часток у середині однієї фази (одного з контактуючих матеріалів).

Адгезія – молекулярне притягання між поверхнями двох різнорідних твердих або рідких контактуючих фаз. Адгезія є причиною склеювання двох різних речовин за рахунок дії фізичних або хімічних міжмолекулярних сил.

Кількісно когезію і адгезію характеризують величиною їх роботи W_k , W_a (Дж/м²) – енергії, яку необхідно витратити на розрив сил зчеплення між молекулами цієї фази або молекул однієї фази від молекул іншої.

Змочування – характеризується ступенем розтікання краплі рідини на поверхні твердого тіла, що визначається співвідношенням між адгезією рідини й твердого тіла та когезією самої рідини.

Характер взаємодії ремонтного матеріалу (в'язкої рідини) з основою відразу після його нанесення можна розглянути на прикладі взаємодії краплі рідини з твердим тілом.

* Взагалі, під поняттям когезії розуміють зчеплення однорідних молекул, атомів чи йонів, які включають усі види міжмолекулярного і міжатомного притягання в середині однієї фази [2]. У цій роботі термін використовується для оцінки взаємодій у ремонтній суміші, де як елементарні частинки розглядаються не атоми або молекули, а зерна цементу із сольватними водними оболонками, а також міцності (на розтяг) кожного з контактних матеріалів (бетону основи, ремонтного матеріалу).

Когезійна міцність бетону або розчину, враховуючи наведене загальне визначення, поняття досить умовне, оскільки бетон є конгломератом, що складається з різнорідних складових (різних кристалічних утворень цементного каменю, заповнювачів).

Таким чином, для оцінки роботи ремонтної системи умовно приймається, що розрив усередині будь-якого з матеріалів оцінюється когезійною міцністю, а розрив контакту між матеріалами – адгезійною міцністю.

Особливість граничного міжфазного шару – різниця енергетичного стану молекул речовини в середині фази «А» та молекул, що перебувають на межі розділу фаз «Б» – наявність надлишкової поверхневої енергії (рис. 6.12).

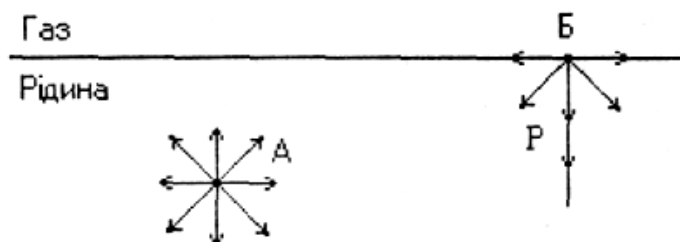


Рис. 6.12. Сили, що діють на молекулу рідини в об'ємі й на поверхні [2]

У кожній з молекул всередині рідини (А) сили притягання зрівноважуються такими самими силами інших молекул, що рівномірно оточують їх з усіх боків. Молекула поверхневого шару рідини (Б) перебуває під впливом молекулярних сил зчеплення лише з боку прилеглих до неї молекул, які розміщені як у самому поверхневому шарі, так і знизу під ним (взаємодією з молекулами газу нехтують). Тому на межі розділу «рідина – повітря» діють сили різного значення – сумарні сили притягання одиниці об'єму рідини набагато більші, ніж одиниці об'єму повітря.

Рівнодійна P сил для молекули «Б» спрямована перпендикулярно поверхні рідини вглибину її об'єму. Під впливом таких некомпенсованих сил перебувають усі молекули поверхневого шару рідини. Ця сила, віднесена до одиниці площі поверхні розділу, називається *внутрішнім тиском*.

Сили притягання, що рівні внутрішньому тиску, втягують молекули рідини з поверхні вглибину об'єму, зменшуючи площу поверхні до мінімально можливої за даних умов (кулеподібна форма краплин рідини).

Для збільшення поверхні рідини (зміна сферичної форми краплі при її розтіканні поверхнею твердого тіла) необхідно долати силу внутрішнього тиску й здійснити певну механічну роботу. Збільшення поверхні супроводжується збільшенням поверхневої енергії, яка, віднесена до одиниці площі, дає величину *поверхневого натягу* (σ).

Таким чином, якщо величина роботи *адгезійної взаємодії* перевищує роботу поверхневого натягу (зумовлюється *когезійною взаємодією*) рідина розтікається поверхнею. У зворотному випадку адгезійні зв'язки не виникають або розриваються (робота когезійних сил перевищує роботу адгезійних).

Якщо в схемі на рис. 6.12 замість газу помістити тверде тіло й припустити, що інтенсивність взаємодії молекули «Б» з його поверхнею (адгезія) буде більшою, ніж з прилеглими молекулами рідини (адгезією), то рівнодійна P буде спрямована до поверхні твердого тіла, матимемо змочування поверхні твердого тіла рідиною.

Рідина рухається поверхнею твердої фази до тих пір, доки не настане рівновага, що характеризується мінімумом сумарної поверхневої енергії.

Схема взаємодії краплі рідини з твердим тілом в газовому середовищі наведена на рис. 6.13.

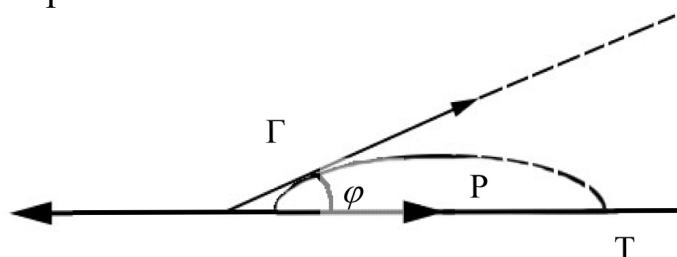


Рис. 6.13. Схема взаємодії краплі рідини з твердим тілом

Кількісно змочування твердого тіла рідиною можна оцінити величиною крайового кута φ . Чим менший кут φ , тим краще змочування.

У разі нанесення краплі рідини на поверхню твердого тіла можливі три випадки:

1) крапля на поверхні зберігає сферичну форму – ідеальне незмочування ($\varphi = 180^\circ$, $W_a = 0$);

2) крапля необмежено розтікається поверхнею – ідеальне змочування ($\varphi = 0$, $W_a \geq W_k$);

3) крапля частково розтікається поверхнею, утворюючи з нею деякий крайовий кут $0 < \varphi < 180^\circ$, залежно від співвідношення W_k/W_a .

Тверда фаза тим краще змочується рідиною, чим менші сили зчеплення (когезії) між молекулами самої рідини й більші сили притягання (адгезії) молекул рідини до твердого тіла.

Таким чином, для покращення зчеплення ремонтного складу з основою на першій стадії взаємодії (прилипання) використовуються технологічні прийоми, що дозволяють зменшити когезійні взаємодії в ремонтній суміші та збільшити адгезійні, а саме:

- а) зменшення в'язкості ремонтного матеріалу;
- б) видалення речовин з поверхні конструкції, що зменшують адгезійні взаємодії на межі «тверде тіло – рідина»;
- в) оголення активних центрів поверхні – активізація міжмолекулярних взаємодій.

Друга стадія. Зростання міцності зчеплення на другій стадії взаємодії ремонтного матеріалу з основою зумовлюється утворенням зв'язків при зрощенні кристалів у процесі структуроутворення.

Цементний камінь у бетоні хімічно ідентичний цементному клею, тому утворення зростка насамперед буде відбуватись на поверхневих ділянках цементного каменю – найбільша абсолютна величина міцності зчеплення цементного тіста ремонтного матеріалу досягається з цементним каменем бетону основи.

У цементних бетонах зчеплення, в основному, зумовлюється адгезією і когезією гідроксиду кальцію та гідросилікатів кальцію.

При хімічній взаємодії мінералів портландцементу, що гідратуються, з поверхневими шарами заповнювачів можливе виникнення гідросилікатів кальцію.

Крім хімічних взаємодій, міцність зчеплення в ремонтній системі може забезпечуватися механічним зв'язком ремонтного матеріалу з основою (механічна теорія склеювання). Процес склеювання зумовлюється проникненням «клею» в пори поверхні з утворенням після твердіння шпонкового зачеплення. У цьому випадку значний вплив на міцність зчеплення має площа поверхні та форма пор.

6.3.2. Основні фактори впливу на міцність зчеплення ремонтного матеріалу з основою

Міцність зчеплення ремонтного матеріалу з основою залежить від багатьох факторів, включаючи характеристики бетону основи, властивості ремонтного матеріалу та особливості його нанесення, а також особливості взаємодії матеріалів, особливо в початковий період їх контакту та формування структури ремонтного матеріалу.

Фізико-механічні характеристики поверхні старого бетону:

1. Контактна міцність поверхневого шару:

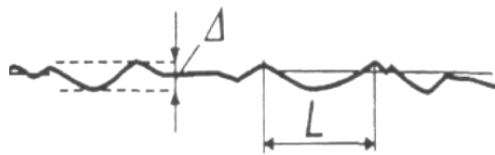
– наявність ослабленої цементної плівки на поверхні. Залежить від пластичності бетонної суміші, кількості цементного тіста й водовмісту – стійкості до водовідділення та розшарування. Також утворюється при віброущільненні пластичних бетонних сумішей як на поверхні, так і на контакті з опалубкою, при контакті вібратора з арматурою;

– деструкція поверхневого шару внаслідок циклічних впливів;

– корозійне пошкодження контактного шару.

2. Шорсткість поверхні. Вплив шорсткості поверхні старого бетону на міцність зчеплення залежить від її характеру, напрямку діючих сил і виду напружень, що виникають у контактній зоні.

Шорсткість поверхні має менший вплив на міцність при розриві й більший на міцність при зрізі.



Шорсткість поверхні оцінюється величиною виступів та заглиблень (Δ , мм), а також їх кроком (L , мм) (рис. 6.14).

Рис. 6.14. Оцінка характеру шорсткості бетонної поверхні

Характер шорсткості впливає на величину площі розвиненої поверхні (збільшення площі контакту за рахунок виступів і впадин порівняно з гладкою поверхнею), а також на дефектність контакту між матеріалами (ймовірність заповнення «клеєм» заглиблень поверхні) та міцність на зріз утворених шпонок.

3. Вологість поверхні старого бетону. У випадку надмірного зволоження поверхні старого бетону контактний шар ремонтного матеріалу може увібрати воду, що призведе до підвищення його В/Ц – погіршення характеристик контактного шару та зниження міцності зчеплення (особливо для шорсткої поверхні – накопичення води в нерівностях).

При нанесенні ремонтного матеріалу на суху основу з контактного шару ремонтного матеріалу може відбиратися вода – зниження міцності зчеплення внаслідок неповної гідратації цементу контактного шару покриття, а також пошкодження утворених у контактній зоні первинних зв'язків між матеріалами внаслідок дотичних напружень, викликаних пластичною усадкою.

Характеристики ремонтного матеріалу та особливості його нанесення:

1. Склад ремонтного матеріалу (В/Ц, вміст цементу).

При збільшенні в ремонтному матеріалі цементного тіста та його водовмісту забезпечується краще прилипання (перша стадія взаємодії). Проте перевищення оптимального значення В/Ц призводить до погіршення характеристик отриманого цементного каменю, також зростає інтенсивність пластичної усадки внаслідок випаровування або відбору води. Збільшення вмісту цементу в матеріалі викликає збільшення деформацій хімічної усадки – рівня дотичних напружень – ймовірності пошкодження (руйнування) контакту між матеріалами.

2. Рухливість (в'язкість) ремонтного матеріалу.

Зниження в'язкості ремонтної суміші зумовлюється зниженням когезійних сил у матеріалі, що забезпечує краще змочування поверхні старого бетону.

3. Умови вкладання нового бетону.

При використанні ефективних способів вкладання (торкретування) та ущільнення (вібрування) здійснюються інтенсивні механічні впливи на ремонтну суміш. Це забезпечує тимчасове зниження когезійної взаємодії в матеріалі та переважання адгезійних сил у момент нанесення (вкладання), що, у свою чергу, зумовлює ефективніший контакт між матеріалами з меншою дефектністю.

4. Наявність проміжного шару розчину (грунтування, праймеру).

Оптимальний склад нового бетону дозволяє досягти тільки певної частки адгезійної міцності від когезійної (приблизно 80 %), що зумовлюється наявністю дефектів у зоні контакту.

Підвищити міцність зчеплення можна за рахунок виконання штучного контактного прошарку – грунтування (праймеру), який за величиною адгезії та когезії перевищує відповідні характеристики основних матеріалів. Як контактний прошарок можуть застосовуватися полімерні матеріали (епоксидні смоли) або композиції на основі цементу.

Хімічні процеси в зоні контакту «старий бетон – новий бетон». Для отримання необхідної міцності зчеплення враховується хімічна сумісність матеріалів, що передбачає відсутність у використаному матеріалі складових, які б могли викликати корозійний процес у контактному прошарку старого бетону.

Наявність карбонізованого шару також може перешкоджати ефективному зрощуванню нового бетону зі старим.

Усадкові та температурні контактні напруження. Зона контакту між новим і старим бетоном є місцем концентрації напружень внаслідок розбіжності у величині деформацій.

Найбільш визначальними за впливом на міцність зчеплення та збереження цілісності ремонтної системи є надлишкові деформації ремонтного покриття, викликані такими процесами:

- інтенсивний відбір води основою – пластична усадка контактної зони – пошкодження в структурі, що формується (необхідний контроль вологості поверхні);
- інтенсивна хімічна усадка матеріалу – швидкість приросту деформацій-напружень може перевищувати швидкість приросту міцності зчеплення між матеріалами (необхідне застосування матеріалів з компенсованою усадкою);
- різниця температур при контакті матеріалів – температурна деформація-напруження в контактній зоні (врахування екзотермії матеріалів, створення мікроклімату в зоні ремонту).

6.4. Особливості вибору ремонтного матеріалу

Залежно від складу та функцій компонентів ремонтні матеріали поділяються на такі групи:

- а) цементні композиції;
- б) полімерцементні композиції;
- в) полімерні композиції.

Усереднені значення основних експлуатаційних характеристик ремонтних матеріалів наведено в табл. 6.1.

У ході розробки проекту (рекомендацій) ремонту конструкції необхідно вибрати ремонтний матеріал. Внаслідок складності вибору «потрібного» матеріалу з великої кількості представлених на ринку, розробник проекту ремонту може застосувати спрощений підхід – використати матеріал з характеристиками, близькими до існуючого бетону. Тобто застосувати цементну композицію, міцнісні та деформативні властивості якої будуть найбільш близькими до відповідних

властивостей більшості бетонних основ, що дозволить виконати ви-
моги за сумісністю складових ремонтної системи.

Проте якщо в одних випадках такий спрощений підхід має під-
ґрунтя, то в інших, особливо в складних умовах експлуатації, може
втрачатися значний ефект, який забезпечили б деякі альтернативні
ремонтні матеріали.

Таблиця 6.1

Характеристики ремонтних матеріалів [46]

Характеристика	Полімер-розчин	Полімерцементний розчин	Цементний розчин
Міцність на стиск, МПа	50...100	30...60	20...50
Міцність на розтяг, МПа	10...15	5...10	2...5
Модуль пружності, МПа	$(10...20)10^3$	$(15...25)10^3$	$(20...30)10^3$
Коефіцієнт температурної деформації, $^{\circ}\text{C}^{-1}$	$(25...30)10^{-6}$	$(10...20)10^{-6}$	$10 \cdot 10^{-6}$
Водопоглинання, %	1...2	1...5	5...15
Максимальна температура експлуатації, $^{\circ}\text{C}$	~ 100	100...300	> 300

Так, використання цементних композицій може не забезпечити
найкращого результату в таких випадках:

- у агресивних умовах експлуатації (інтенсивне зношення / сти-
рання або хімічна дія). Для ремонту доцільніше застосувати високо-
міцні, зносостійкі та хімічно стійкі матеріали (полімер-розчини та
полімербетони);

- ремонт вертикальних або стельових поверхонь з використанням
тонких шарів ремонтного матеріалу. Для таких поверхонь може бути
ускладненим вологісний догляд, а полімерцементні композиції мають
добру водоутримувальну здатність;

- проведення ремонту в умовах від'ємних температур, якщо є по-
треба швидкого тужавіння та твердіння. Деякі види полімербетонів
забезпечують достатню адгезію в широкому діапазоні температур,
матеріали ж на основі цементу показують найкраще зчеплення при
температурі приблизно 20°C , при більш низькій температурі (10°C
і менше) міцність зчеплення може знизитися.

Крім того, якщо бетон існуючої конструкції має низьку якість, то ремонт з використанням матеріалу з аналогічними характеристиками викликає заперечення.

Полімерні композиції характеризуються нижчим модулем пружності та більшим коефіцієнтом температурної деформації порівняно з бетоном основи, що зумовлює велику ймовірність неефективної сумісної роботи системи за окремими, розглянутими вище критеріями. Виникає питання про доцільність використання таких матеріалів.

Доцільність використання полімерних та полімерцементних композицій, незважаючи на певні обмеження їх сумісності з бетоном основи, зумовлюється їх винятковими характеристиками:

- низькою проникністю для агресивних речовин;
- високою стійкістю в агресивних середовищах;
- здатністю швидко тужавіти й твердіти (навіть за понижених температур);
- можливістю застосування значно меншої товщини шару порівняно з цементними складами.

Крім того, полімерні та полімерцементні ремонтні композиції характеризуються значно вищими показниками міцності на розтяг, міцності зчеплення з основою на відрив та зсув (порівняно з цементними розчинами), здатністю перерозподіляти напруження в контактній зоні з часом завдяки повзучості.

Таким чином, завдання інженера – розробника проекту (рекомендацій) з відновлення конструкції полягає у виконанні оцінки всіх умов хімічного та фізичного впливу середовища експлуатації, на основі чого підбирається ремонтний матеріал, характеристики якого дозволять прийти до компромісного рішення між забезпеченням необхідних експлуатаційних показників та вимог до сумісності складових ремонтної системи.

Контрольні завдання та запитання

1. Які характеристики ремонтного матеріалу можна віднести до технологічних? Їх вплив на формування ремонтної системи.
2. Які характеристики ремонтного матеріалу можна віднести до експлуатаційних? Їх вплив на роботу ремонтної системи.
3. Як впливають властивості ремонтного матеріалу на його деформаційну сумісність з бетоном основи?

4. Як впливають властивості ремонтного матеріалу на його конструкційну сумісність з бетоном основи?
5. Чим зумовлюється адгезійна сумісність ремонтного матеріалу з бетоном основи?
6. У чому суть хімічної та електрохімічної сумісності ремонтного матеріалу з бетоном основи?
7. Як впливає перша стадія взаємодії ремонтного матеріалу з основою на міцність зчеплення в ремонтній системі?
8. Як впливає друга стадія взаємодії ремонтного матеріалу з основою на міцність зчеплення в ремонтній системі?
9. Що можна віднести до основних факторів впливу на міцність зчеплення ремонтного матеріалу з основою?
10. Якими є особливості вибору ремонтного матеріалу для відновлення конструкцій?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баженов Ю. М. Технология бетона : учеб. пособие для технол. спец. строит. вузов. 2-е изд., перераб./ Ю. М.Баженов. – Москва : Высш. шк., 1987. – 415 с.
2. Білий О. В. Фізична хімія / О. В. Білий. – Київ : ЦУЛ, Фітосоціоцентр, 2002. – 364 с.
3. Бліхарський З. Я. Реконструкція та підсилення будівель та споруд : навчальний посібник / З. Я. Бліхарський. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2008. – 108 с.
4. Вербецкий Г. П. Прочность и долговечность бетона в водной среде / Г. П. Вербицкий. – Москва : Стройиздат, 1976. – 128 с.
5. Відшарування штукатурки: причини й ремонт. Сануюча штукатурка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dimcad.in.ua/відшарування-штукатурки-причини-й-ре/> (дата звернення 03.06.2018).
6. Волженский А. В. Минеральные вяжущие вещества (технология и свойства) / А. В. Волженский, Ю. С. Буров, В. С. Колокольников. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1979. – 476 с.
7. ВСН 126-90 Крепление выработок набрызг-бетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов. Нормы проектирования и производства работ. – Москва : Минтрансстрой СССР, 1990. – 70 с.
8. ВСН 31-83 Правила производства бетонных работ при возведении гидротехнических сооружений. – Ленинград : Минэнерго СССР, 1984. – 86 с.
9. Губій М. М. Проектування ремонту й підсилення будівель та споруд із застосуванням сучасних матеріалів і технологій : навчальний посібник / М. М. Губій, Р. М. Ахмеднабієв. – Харків : Тимченко, 2007. – 192 с.
10. ДБН В.2.3-6:2009 Мости та труби. Обстеження і випробування. – [На заміну ДБН В.2.3.6-2002; Чинні від 01.03.2010]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 63 с.
11. ДБН В.3.2-2-2009. Житлові будинки. Реконструкція та капітальний ремонт. – [На заміну ВСН 61-89(р); Чинні від 01.01.2010]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 19 с.
12. Диагностика и оценка технического состояния строительных конструкций / А. Н. Березюк, Н. В. Савицкий, Н. И. Шимон, Е. А. Гузеев, К. В. Баташева. – Днепропетровск, 1996. – 176 с.

13. Дмитриевский В. И. Подводное бетонирование / В. И. Дмитриевский. – Изд. 2-е. – Москва : Изд-во «Транспорт», 1972. – С. 312.
14. ДСТУ Б В.2.6-7-95 (ГОСТ 8829-94) Конструкції будівель і споруд. Вироби будівельні бетонні та залізобетонні збірні. Методи випробування навантаженням. Правила оцінки міцності, жорсткості та тріщиностійкості. – [На заміну ГОСТ 8829-85. Чинні від 01.04.1996]. – Київ : Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997.
15. ДСТУ Б В.2.6-145:2010 Конструкція будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги (ГОСТ 31384-2008, NEQ). – [На заміну СТ СЭВ 4420-83 та СНИП 2.03.11-85. Чинні від 01.07.2011]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010.
16. ДСТУ Б В.2.7-170:2008 Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності. – [На заміну ГОСТ 12730.0-78, ГОСТ 12730.2-78, ГОСТ 12730.1-78, ГОСТ 12730.3-78, ГОСТ 12730.5-78, ГОСТ 12730.4-78. Чинні від 01.07.2009]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009.
17. ДСТУ Б В.2.7-220:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю. – [На заміну ГОСТ 22690-88. Чинні від 01.09.2010]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010.
18. ДСТУ Б В.2.7-226:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності. – [На заміну ГОСТ 17624-87. Чинні від 01.09.2010]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010.
19. ДСТУ Б В.3.1-2:2016 Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. – [На заміну ДБН В.3.1-1-2002; Чинні від 01.04.2017]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 68 с.
20. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. – [Чинні від 01.04.2017]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 44 с.
21. Иванов Ф. М. Защита железобетонных транспортных сооружений от коррозии / Ф. М. Иванов. – Москва : Транспорт, 1968. – 173 с.
22. Інформаційні матеріали Weber–Deitermann [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.netweber.pl/weber-technologie-deitermann.html>. (дата звернення 03.06.2018).
23. Клименко С. В. Методика оцінки відповідальності будівельних конструкцій з урахуванням проведення їх ремонтів / С. В. Клименко, М. О. Овсій // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. / Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – 2007. – Вип. 79. – С. 3–25. (Серия «Технические науки и архитектура»).
24. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев. – Москва : Стройиздат, 1980. – 536 с.
25. Материалы и подбор состава смеси торкретбетона, наносимого методом «сухого» торкретирования (ВСН 126-90) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://torkret.ru/article_02.html (дата звернення 03.06.2018).

26. Наказ Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України та Держнаглядохоронпраці України 27.11.97 № 32/288. Правила обстежень, оцінки технічного стану та паспортизації виробничих будівель і споруд.
27. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. – Київ : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, Держнаглядохоронпраці України, 2003. – 144 с.
28. Организация работ по торкретированию [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.torkret.ru/article_03.html (дата звернення 03.06.2018).
29. Орловская Е. В. Микробиологическая и химическая коррозия бетонов, в том числе модифицированных серой / Е. В. Орловская, Н. А. Чак // Строительство и техногенная безопасность : сб. науч. тр. / НАПКБ. – Симферополь, 2005. – Вип. 12. – С. 101–107.
30. Предупреждение дефектов в строительстве: Защита материалов и конструкций / А. Грассник, Э. Грюн, В. Фикс и др.; пер. с нем. Ю. М. Веллера. – Москва : Стройиздат, 1989. – 216 с.
31. Пшинько А. Н. Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений / А. Н. Пшинько. – Днепропетровск : Пороги, 2000. – 411 с.
32. Пшінько О. М. Підвищення довговічності бетонних та залізобетонних виробів і конструкцій / О. М. Пшінько. – Дніпропетровськ, 1996. – 155 с.
33. Ройтман А. Г. Ремонт и реконструкция жилых и общественных зданий / А. Г. Ройтман, Н. Г. Смоленская. – Москва : Стройиздат, 1978. – 319 с.
34. Руководство по нанесению материалов «Парад» методом торкретирования при возведении, ремонте и восстановлении строительных конструкций зданий и сооружений [Електронний ресурс] / ТОВ «УкрКийБуд». – Режим доступу: http://aquastop.com.ua/materials_parad24.html. (дата звернення 03.06.2018).
35. Савйовский В. В. Ремонт и реконструкция гражданских зданий / В. В. Савйовский, О. Н. Болотских. – Харьков : Ватерпас, 1999. – 287 с.
36. Санация трубопровода методом нанесения цементно-песчаного покрытия [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://quintal.ru/sanacia_cpp (дата звернення 03.06.2018)
37. Система усиления строительных конструкций композитными материалами. MBrace [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ssr33.ru/docs/catalogs/basf-mbrace.pdf>. (дата звернення 03.06.2018).
38. СНиП 3.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции. – Москва : Госстрой СССР, 1989.
39. Технічна експлуатація, реконструкція і модернізація будівель : навчальний посібник / за ред. А. Г. Гавриляка. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2006. – 540 с.
40. Технология и концепция механизированного ремонта бетона. Решение системами фирмы Sika [Елетронний ресурс]. – Режим доступу: <http://>

protec.lt/site/files/failai/Betono_mechanizutas_remontas.pdf. (дата звернення 03.06.2018).

41. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: «Развитие инновационных технологий прокладки инженерных сетей и создание новых методов их защиты от опасных и техногенных воздействий» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pandia.ru/text/78/042/3003.php> (дата звернення 03.06.2018).
42. Усиление несущих железобетонных конструкций производственных зданий и просадочных оснований / А. Б. Голышев, П. И. Кривошеев, П. М. Козелецкий и др. – Киев : Логос, 2004. – 219 с.
43. Федосов С. В. Сульфатная коррозия бетона / С. В. Федосов, С. М. Базанов. – Москва : Изд-во АСВ, 2003. – 192 с.
44. Физдель И. А. Дефекты в конструкциях и сооружениях и методы их устранения / И. А. Физдель. – Москва : Стройиздат, 1978. – 160 с.
45. Чехов А. П. Защита строительных конструкций от коррозии / А. П. Чехов. – Изд. объединение «Вища школа», 1977. – 216 с.
46. Morgan D. R. Compatibility of concrete repair materials and systems / D. R. Morgan // Construction and Building Materials. – 1996. – Vol.10, No.1. – P. 57–67.
47. Pattnaik, Rashmi Investigation into compatibility between repair material and substrate concrete using experimental and finite element method» [Электронный ресурс] / Rashmi Pattnaik // Clemson University. Tiger prints. 2006. – Режим доступа: http://tigerprints.clemson.edu/all_dissertations/7/. (дата звернення 03.06.2018).
48. Pipe rehabilitation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dejongeexcavating.com/Portals/0/TroliningBrochure.pdf> (дата звернення 03.06.2018).

Для нотаток

Для нотаток

Навчальне видання

Пшінько Олександр Миколайович,
Савицький Микола Васильович,
Зінкевич Андрій Миколайович

**Відновлення
експлуатаційної придатності
бетонних, залізобетонних і кам'яних
конструкцій**

Навчальний посібник

Редактор *О. О. Котова*
Комп'ютерна верстка *О. М. Гончаренко*

Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Ум. друк. арк. 12,90. Обл.-вид. арк. 12,95.
Тираж 50 пр. Зам. №

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003 р.

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010