

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

О. М. ПШІНЬКО, А. В. КРАСНЮК,
О. В. ГРОМОВА

Вибір матеріалів
для ремонту та відновлення
бетонних та залізобетонних
конструкцій транспортних споруд
з урахуванням критерію сумісності

МОНОГРАФІЯ

ДНІПРОПЕТРОВСЬК
2015

УДК 624.210.340.67/26; 64
ББК 5; 634

Рецензенти:

д-р техн. наук, проф. *М. В. Савицький*,
д-р техн. наук, проф. *В. Д. Петренко*

Рекомендовано до друку вченою радою
Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
(*протокол № 3 від 26.10.15*)

УДК 624.210.340.67/26; 64

Вибір матеріалів для ремонту та відновлення бетонних та залізобетонних конструкцій транспортних споруд з урахуванням критерію сумісності [Текст]: монографія / О. М. Пшінько, А. В. Краснюк, О. В. Громова; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – 195 с.
ISBN 978-966-8471-62-9

Монографія присвячена проблемі раціонального вибору ефективних матеріалів для ремонту різних видів дефектів і пошкоджень, що виникають в різних умовах експлуатації штучних споруд з урахуванням забезпечення сумісності в ремонтній системі.

Матеріал допоможе поліпшити технічне обслуговування бетонних і залізобетонних конструкцій, забезпечити гарантії проектного терміну служби конструкцій.

Для наукових працівників, будівельників, спеціалістів Укрзалізниці з утримання штучних транспортних споруд, викладачів, магістрів, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів будівельної галузі.

Іл. 47. Табл. 28. Бібліогр.: 130 назв.

© О. М. Пшінько, А. В. Краснюк,
О. В. Громова, 2015
© Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп.
ім. акад. В. Лазаряна, оригінал-
макет, 2015

ISBN 978-966-8471-62-9

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО РЕМОНТНИХ РОБІТ, МАТЕРІАЛІВ І ТЕХНОЛОГІЙ.....	8
Висновки до розділу 1.....	13
РОЗДІЛ 2. ОБСТЕЖЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ШТУЧНИХ СПОРУД ТА ЗАСОБИ ВСТАНОВЛЕННЯ ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ.....	14
2.1. Аналіз неруйнівних методів контролю технічного стану та міцності залізобетонних конструкцій, що експлуатуються.....	17
2.1.1. Прилади для вимірювання товщини захисного шару бетону та пошуку арматури	22
2.1.2. Прилади для неруйнівного контролю міцності бетону.....	27
Висновки до розділу 2.....	42
РОЗДІЛ 3. СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ТА АНАЛІЗ ДЕФЕКТІВ ТА ПОШКОДЖЕНЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД.....	45
3.1. Систематизація дефектів і пошкоджень залізобетонних конструкцій транспортних споруд.....	45
3.2. Характерні дефекти і причини їх утворення на конструкціях штучних транспортних споруд.....	65
3.3. Аналіз дефектів бетонних та залізобетонних конструкцій та їх класифікація за впливом на довговічність штучних транспортних споруд.....	74
Висновки до розділу 3.....	88

РОЗДІЛ 4. ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ РЕМОНТУ БЕТОННИХ ТА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД З УРАХУВАННЯМ СУМІСНОСТІ МАТЕРІАЛІВ	90
4.1. Загальні вимоги до вибору ремонтних матеріалів для забезпечення сумісності комплексної системи	90
4.2. Моделювання напружено-деформованого стану елементів конструкцій залізобетонних споруд при різних співвідношеннях фізико-технічних властивостей ремонтного матеріалу та матеріалу основи при ремонті транспортних залізобетонних споруд	104
Висновки до розділу 4.....	116
РОЗДІЛ 5. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ РЕМОНТУ ТА ЗВЕДЕННЯ ШТУЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД.....	118
5.1. Технологічні та експлуатаційні властивості ремонтних матеріалів.....	118
5.1.1. Вибір матеріалів з урахуванням виду дефекту або пошкодження, технології ремонту та властивостей матеріалів	122
5.2. Матеріали на основі мінеральних в'язучих речовин	129
5.2.1. Добавки у розчини та бетони.....	141
5.3. Полімерцементні матеріали.....	150
5.4. Полімерні матеріали.....	163
Висновки до розділу 5.....	168
ВИСНОВКИ.....	170
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	172
ДОДАТКИ.....	182

ВСТУП

На залізницях України експлуатується близько 20 тисяч штучних споруд загальною протяжністю 620,3 км. Зокрема, експлуатуються 7 824 залізничні мости (позакласні – 34; залізничні великі – 270; залізничні середні та малі мости – 7 126; залізничні тимчасові – 86) та 289 пішохідні мости, 10,9 тис. водопропускних труб.

До залізничної інфраструктури належать 44 тунелі (розгорнутою довжиною 18 тис. пог. м): з них 30 од. експлуатуються на Львівській залізниці, 4 – на Донецькій, 7 – на Придніпровській, 2 – на Південній та 1 – на Південно-Західній. Лише 6 з 44 залізничних тунелів – двоколійні. Загальна протяжність земляного полотна залізниць України становить 21 947 км, з них з конструктивними дефектами – 504 км.

На залізничних мостах України встановлено 2,4 тис. металевих прогонових споруд загальною вагою більше 250 тис. т і більше 11,5 тис. залізобетонних прогонових споруд, загальний об'єм яких складає майже 275 тис. м³.

Розвиток мостового господарства відбувався пропорційно розвитку залізниць, мережа яких була в основному сформована у кінці XIX на початку XX століття. У цей час велось активне будівництво штучних споруд, зокрема було збудовано 3 823 мости, які, зрозуміло, переживши численні реконструкції і ремонти, служать до теперішнього часу. Друга численна група споруд – це близько 1 550 мостів, що збудовані у період відбудови країни після Другої світової війни – з 1946 по 1962 рік. Ці споруди розраховувались, з метою економії матеріалів, з використанням полегшених розрахункових норм навантаження, які не відповідають сучасним вимогам. Результатом тривалої експлуатації в режимі підвищених навантажень стало утворення тріщин та інших пошкоджень втомлювального характеру, що

знижують довговічність і в окремих випадках несучу здатність споруд [1–16]. Від своєчасного усунення цих пошкоджень у початковій стадії їхнього розвитку залежить надійність і безвідмовність роботи штучних споруд [6–11].

Станом на початок 2015 р. 4 856 прогонових споруд мають строк служби 50 і більше років. З об'єктивних причин цей показник має тенденцію до збільшення, що вимагає, окрім збільшення коштів на їх поточне утримання та капітальний ремонт, впровадження надійної системи діагностики з використанням найсучаснішого устаткування та новітніх технологій.

У практиці експлуатації мостів з цього приводу виникає необхідність розв'язання задач із встановлення режимів подальшої експлуатації мостових споруд, які мають дефекти, що впливають на міцність, довговічність споруди та безпеку руху поїздів. На залізницях діє прийнята в 2011 р. Галузева програма підвищення експлуатаційної надійності та довговічності інженерних споруд залізниць України на 2011–2020 роки.

На стадії зведення конструктивних елементів зазвичай здійснюються усунення дефектів, допущених в ході будівництва, і лікування тріщин. На стадії експлуатації здійснюються різні види ремонтів, в т. ч. ремонти, пов'язані з відновленням і збільшенням несучої здатності окремих конструкцій або споруди в цілому. У всіх випадках ремонт повинен бути виконаний якісно, гарантувати встановлену довговічність і тривалість міжремонтних термінів.

Характерна для останніх років тенденція до модернізації транспортної системи України, зокрема мережі залізниць, обумовлює збільшення обсягів застосування сучасних високоякісних ремонтних будівельних матеріалів, найбільш масовими з яких є бетони. Перед бетонами конструкцій та споруд залізниць висуваються нові більш високі вимоги, пов'язані із збільшенням швидкості руху поїздів, електрифікацією ділянок, впровадженням нових конструкцій верхньої будови колії, нових технологій зведення конструкцій і споруд, необхідністю економії енерго- і матеріальних ресурсів при виготовленні конструкцій (рис. 1).

За останні 30–50 років вимоги до ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій істотно підвищилися. Для забезпечення виконання підвищених вимог в Європі діє Європейський стандарт EN 1504 [17], який реалізований національними органами стандарти-

зації 28 європейських країн ще до 1 січня 2009 року. Перевагою цього стандарту є те, що на основі правильного концептуального підходу визначено базові правила, які повинні використовуватися окремо або в поєднанні при ремонті або захисті бетонних наземних, підземних, надводних або підводних споруд, а також визначені вимоги до ідентифікації, робочим характеристикам (включаючи термін служби) і безпеки матеріалів і систем, які повинні використовуватися в конст-рукційному і не конструкційному ремонті бетонних споруд [5].

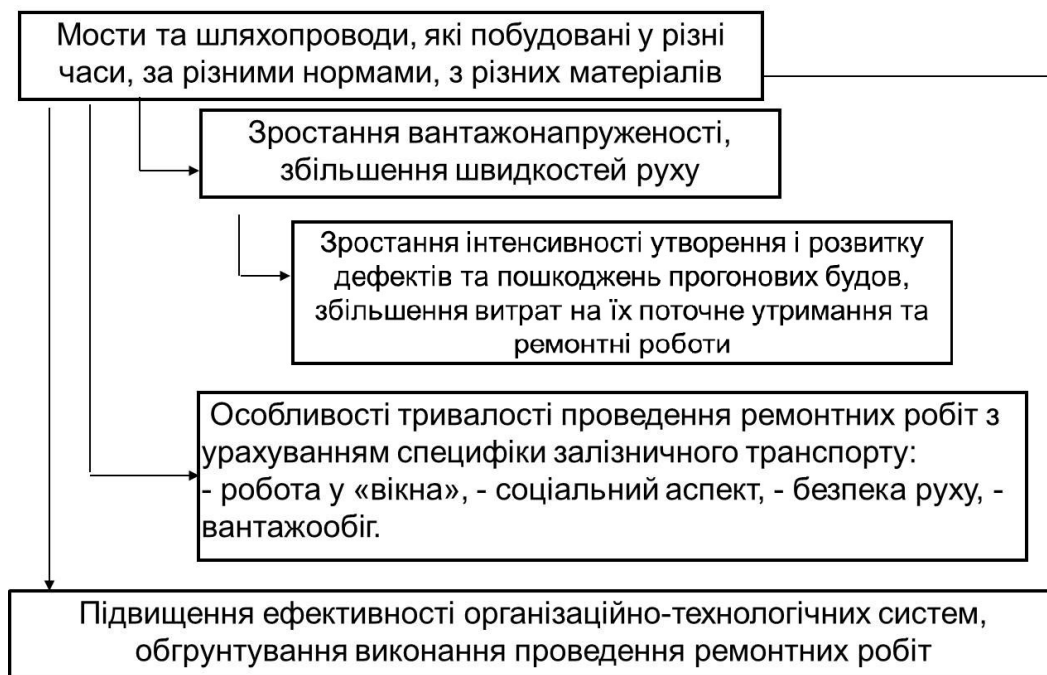


Рис. 1. Актуальність проведення ремонтно-відбудовних робіт на об'єктах транспортної інфраструктури

Монографія присвячена проблемі вибору ефективних матеріалів для ремонту різних видів дефектів і пошкоджень, що виникають в різних умовах експлуатації штучних споруд з урахуванням забезпечення сумісності в ремонтній системі. Матеріал допоможе поліпшити технічне обслуговування бетонних і залізобетонних конструкцій, забезпечити гарантії проектного терміну служби конструкцій. В роботі зроблена спроба врахувати основні положення концептуального підходу до ремонту конструкцій, що викладені у Європейському стандарті EN 1504, а також запропоновано ряд нових матеріалів для практичного використання при виконанні ремонтних робіт і зведенні штучних транспортних споруд.

Загальні вимоги до ремонтних робіт, матеріалів і технологій

В Україні на залізничних магістралях експлуатується більше 20 тисяч штучних споруд, виконаних з бетону та залізобетону. Ще більша кількість на автомобільних шляхах.

Моніторинг свідчить, що близько 50 % бетонних та залізобетонних споруд потребують капітального чи поточного ремонту.

Підтримання працездатного стану інженерних споруд – одна з найважливіших проблем забезпечення безпеки транспорту.

Ремонт залізобетонних конструкцій транспортних споруд здійснюють як на стадії їх зведення, так і при їх експлуатації. На стадії зведення конструктивних елементів зазвичай здійснюють доведення конструкцій до належного стану, пов'язаного з усуненням дефектів, допущених в ході будівництва, і лікуванням тріщин.

На стадії експлуатації здійснюють різні види ремонтів, в т. ч. ремонти, спрямовані на відновлення і збільшення несучої здатності окремих конструкцій або споруди в цілому.

У всіх випадках ремонт повинен бути виконаний якісно, гарантувати встановлену довговічність і збільшення тривалості міжремонтних термінів. Досягти цього можливо лише за умови знання і правильного врахування фізико-технічних основ забезпечення необхідної якості робіт або іншими словами: при забезпеченні організаційно-технічної сторони питання, з одного боку, і правильного вибору матеріалів і технології робіт для ремонту, що враховують особливості взаємодії ремонтного матеріалу з матеріалом, що ремонтується, з іншого (рис. 1.1).

Виконання робіт на всіх стадіях інвестиційного циклу має регулюватися загальними правилами, які перебувають в рамках визначених нормативно-технічних документів, правил і посібників [18–37].

Для забезпечення ефективного ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій, що експлуатуються необхідно мати певну концепцію,

що чітко встановлює послідовність виконання різних робіт. Ремонтні роботи виконуються поетапно, згідно запропонованого алгоритму ремонту (рис. 1.2).

На *першому етапі*, на основі проведених натурних обстежень, встановлюють наявність дефектів і пошкоджень, причини і ступінь руйнування конструкцій, здійснюється прийняття рішення про необхідність і терміновість усунення пошкоджень. Якщо було прийняте рішення про проведення ремонтних робіт – вивчаються вимоги замовника, умови використання і експлуатації споруди. Без цих даних не можна визначити критерії призначення властивостей матеріалів.

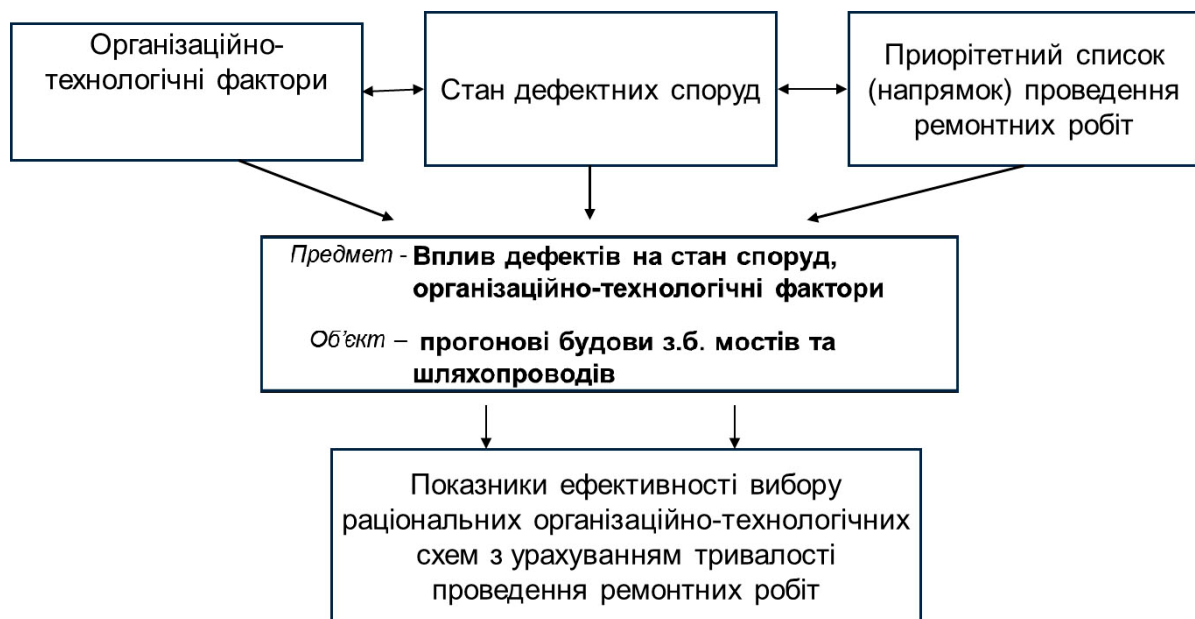


Рис. 1.1. Схема пріоритетності прийняття технологічних рішень

На *другому етапі* проводиться організаційно-технічна підготовка ремонту споруди, що поділяється на попередній збір інформації та аналіз історії експлуатації. В результаті проведення відповідних заходів здійснюється виявлення технічного стану окремих конструкцій та елементів і їх експлуатаційна придатність (чи можливість її відновлення). А також встановлюються причини зниження експлуатаційної придатності конструкцій, вивчення умов експлуатації.

На *третьому етапі* на підставі результатів проведених обстежень, класифікації виявлених дефектів і пошкоджень та вимог замовника складається технічне завдання на розробку проекту проведення ремонтних робіт, що включає вибір ефективної технології і матеріалів,

враховуючи аналіз властивостей матеріалів, які можуть бути використані для ремонту. Визначаються експлуатаційні вимоги до матеріалів і встановлюються їх пріоритети.



Рис. 1.2. Система підтримання експлуатаційної придатності споруд

При цьому в технічному завданні вказуються: очікуваний час експлуатації об'єкта, тривалість міжремонтних термінів, очікувана вартість робіт. При розробці проектно-кошторисної документації встановлюються способи ремонту конструкцій в залежності від виду та ступеню пошкоджень, причин їх виникнення та ступеню впливу на несучу здатність окремих конструктивних елементів і конструкцій в цілому, а також використовувані для ремонту матеріали.

На *четвертому етапі* здійснюється безпосередньо ремонтні роботи. В результаті реалізації дій на цьому етапі проводиться відновлення експлуатаційної придатності конструкції чи елементу, із забезпеченням надійної та довговічної роботи ремонтної системи та конструкції, що підлягає ремонту.

Організаційна структура управління утриманням штучних споруд Придніпровської залізниці України приведена на рис. 1.3.

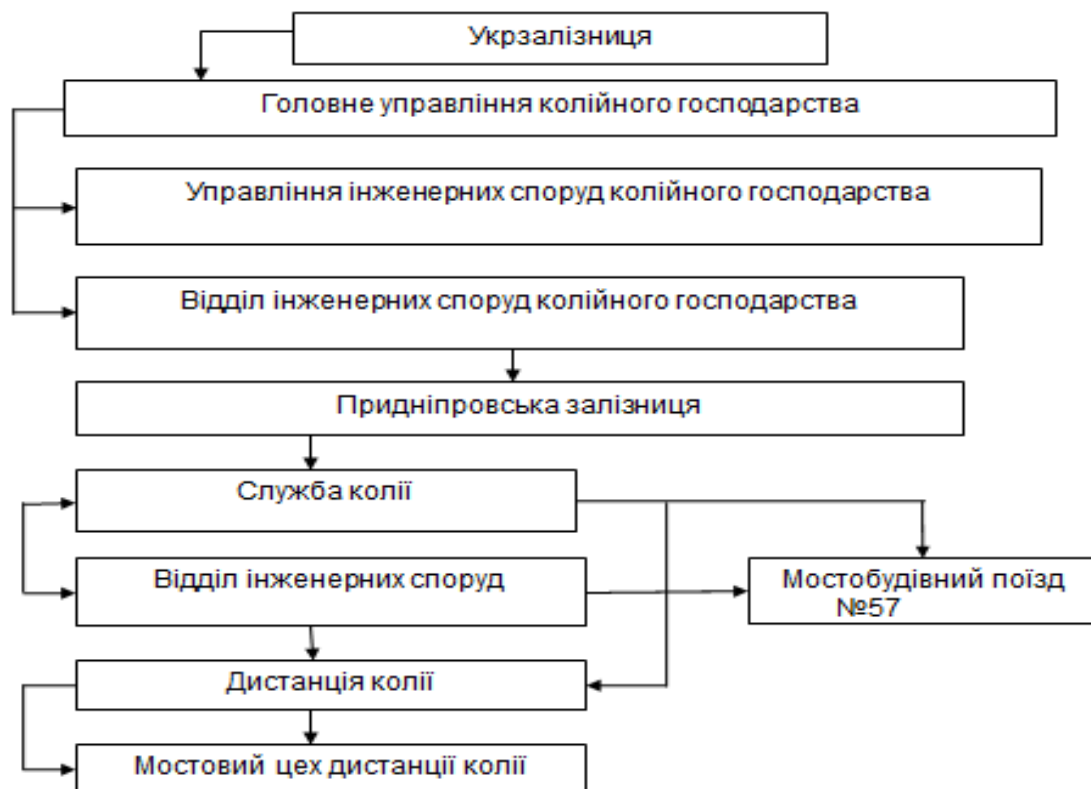


Рис. 1.3. Організаційна структура управління утриманням штучних споруд Придніпровської залізниці України

Систематичні обстеження, технічну діагностику, контроль за станом штучних споруд на залізницях здійснюють мостовипробні станції залізниць, а обстеження найбільш відповідальних споруд покладено на Мостовипробну станцію Головного управління колійного господарства Укрзалізниці. У цих підрозділах працюють справжні знавці мостової справи, які свій багаторічний досвід передають молодому поколінню.

Одним з найважливіших завдань при проведенні ремонтних робіт є вибір ремонтного матеріалу.

У будь-якому випадку враховується для якої мети вибирається матеріал: для конструкційного або неконструкційного ремонту, відновлення геометричної форми, виконання захисних заходів і т. ін.

Зазвичай необхідний ремонтний матеріал вибирають на основі техніко-економічного обґрунтування з урахуванням вимог, що враховують умови експлуатації та тривалість міжремонтних термінів. Однак в умовах ринкової економіки вибір матеріалу зазвичай визначається фінансовими можливостями інвестора і його суб'єктивними побажаннями по використанню певних матеріалів, а також з урахуванням елементів ризику, пов'язаного з недостатнім знанням умов наступної експлуатації об'єктів і фактичних технічних характеристик широко розрекламованих нових матеріалів.

Необхідно прагнути ремонтувати конструкції з використанням матеріалів, подібних матеріалу конструкції, що ремонтується. При виборі матеріалу необхідно не просто дотримуватися цього правила, а й забезпечувати чітко вимоги із сумісності матеріалів, так як однакові матеріали по ряду ознак можуть бути несумісними.

Основні вимоги щодо забезпечення принципів сумісності матеріалів, виготовлених на основі цементу, викладені нижче в розділі 4. Застосування інших матеріалів, що не входять в групу сумісних, допускається в тих випадках, коли сумісні матеріали з певних причин не можуть гарантувати високу якість ремонтних робіт.

Висновки до розділу 1

Для забезпечення ефективного ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій, що експлуатуються необхідно мати певну концепцію, що чітко встановлює послідовність виконання ремонтних робіт. Ремонтні роботи виконуються поетапно, згідно запропонованого алгоритму ремонту.

Алгоритм ремонту включає чотири етапи: на першому етапі проводяться натурні обстеження споруди, на другому етапі проводиться організаційно-технічна підготовка ремонту споруди, на третьому етапі проводиться розробка проекту проведення ремонтних робіт, що включає вибір ефективної технології і матеріалів і на четвертому етапі здійснюється безпосередньо ремонтні роботи.

Одним з найважливіших завдань при проведенні ремонтних робіт є вибір ремонтного матеріалу. При виборі ремонтного матеріалу враховується для якого типу ремонту вибирається матеріал: для конструкційного або неконструкційного ремонту, відновлення геометричної форми, виконання захисних заходів т. ін.

Необхідно прагнути ремонтувати конструкції з використанням матеріалів, подібних матеріалу конструкції, що ремонтується. При виборі матеріалу необхідно не просто дотримуватися цього правила, а й забезпечувати чітко вимоги із сумісності матеріалів, так як однакові матеріали по ряду ознак можуть бути несумісними.

Обстеження залізобетонних конструкцій штучних споруд та засоби встановлення їх технічного стану

Загальними задачами обстеження залізобетонних мостів та інших штучних споруд, які проводяться регулярно, є виявлення їх фактичного фізичного стану і встановлення за результатами обстеження відповідності споруди нормативним вимогам. Крім того обстеження мостів, які експлуатуються, проводиться для розробки проектів ремонту, реконструкції, посилення споруди, уточнення їх розрахункової вантажопідйомності [38–40].

Роботи з обстеження і випробування штучних споруд згідно із ДБН В.2.3-6-2009 [41] повинні виконувати тільки спеціалізовані організацій міністерств і відомств, при наявності у них оформлених належним чином, дозволу і сертифікату на проведення робіт по обстеженню, випробуванню та встановленню умов подальшої експлуатації залізобетонних залізничних мостів.

До початку обстеження залізобетонної споруди вивчається та аналізується весь матеріал, який відноситься до даної споруди: проектна і виконавча документація, історичні дані, акти і звіти про попередні обстеження і випробування споруди, дані про характер пошкоджень і способи їх відновлення, підсилення та ін.

Загальним результатом обстеження і основним документом з метою планування ремонту є акт обстеження штучної споруди з оцінкою її фізичного стану, складений комісією з урахуванням результатів обстеження та рекомендацій спеціалізованої організації (дод. А).

У тому випадку, коли необхідно визначати вантажопідйомність прогонової споруди методом класифікації, додатково складається картка її обстеження згідно з вимогами [38].

При обстеженні на кожній штучній споруді повинні бути виконані наступні види робіт [42–44]: звірка з натурою всіх креслень, а при їх

відсутності – складання схем і ескізів елементів споруди з заміром всіх розмірів; виявлення, зарисовка і фотографування дефектів і пошкоджень споруди, їх характер, розміри, розташування; оцінка впливу дефектів на фізичний стан елементів споруди (плити баластового корита, головних балок, опор) і споруди в цілому; перевірка наявності та визначення зміщення осі колії відносно осі прогонової споруди; визначення фактичної міцності бетону елементів штучної споруди одним із неруйнівних методів.

Відповідність залізобетонних прогонових споруд опалубним конструктивним кресленням перевіряють для кожної прогонової споруди з точністю до 1 см. У тому разі, коли на прогонову споруду арматурні креслення відсутні, необхідно зняти з натури не тільки її опалубні розміри, але і встановити її армування.

При обстеженні мостів за допомогою геодезичних інструментів встановлюють: повздовжній профіль рейкової колії; план рейкової колії з прив'язкою його до осі мосту або до осей прогонових будов; план головних балок прогонових будов; план розташування опорних площадок; вертикальність опор.

Геодезичні зйомки проводяться по надійно зафіксованим точкам і при сприятливих погодних умовах. Точки, в яких проводиться геодезична зйомка, повинні бути позначені на конструкції фарбою і зберігатися та відновлюватися протягом всього періоду експлуатації для можливості подальших вимірювань в тих самих місцях. При оформленні результатів зйомок необхідно вказувати час проведення зйомок, погодні умови, тип і точність використаних геодезичних приладів та інструментів і дані про репери.

При виявленні деформацій опор, зміщення прогонових споруд або розвитку тріщин, організації, які експлуатують споруду, за рекомендаціями мостовипробувальних станцій встановлюють спеціальні марки і репери для ведення довготривалих наглядів за деформаціями.

При огляді споруди основну увагу приділяють виявленню у його частинах і елементах тріщин, сколювань, розлаштування у стикових з'єднаннях, пошкоджень водовідводу і гідроізоляції, пошкоджень деформаційних швів і інших елементів мостового полотна або верхньої будови колії. Складаються ескізи і фотографуються виявлені дефекти і пошкодження. Встановлюються конструктивні дефекти прогонової споруди, оцінюється якість заводського виготовлення

і монтажу, підсилення або ремонту, виявляються пошкодження, які з'явилися під час експлуатації споруди.

Передусім повинні виявлятися дефекти і пошкодження, які знижують вантажопідйомність і довговічність прогонової споруди та опор: корозія арматури, тріщини у бетоні з величиною їх розкриття більше 0,3 мм, тріщини, що заходять у стиснену зону бетону, наявність: виключених з роботи стержнів робочої арматури, сколювань бетону та раковин, косих тріщин в опорних перерізах прогонової споруди, вилуговування цементного каменю бетону плити баластового корита.

При обстеженні прогонових споруд фіксуються усі тріщини у бетоні незалежно від їх розкриття. Підозру на наявність тріщини встановлюють шляхом огляду через лупу з великим збільшенням (ГОСТ 25706-89) і фіксують розкриття тріщин з точністю до 0,01 мм.

Виявлені під час обстеження дефекти повинні бути з необхідною повнотою описані з наведенням даних про час і можливі причини появи. При оцінці небезпеки різних типів тріщин необхідно аналізувати їх вплив на експлуатаційні характеристики прогонової споруди згідно з наведеними нижче рекомендаціями.

У разі наявності корозії робочої арматури прогонової споруди безпосередніми замірами за допомогою штангенциркуля (ГОСТ 166-89) або приборами неруйнівного контролю встановлюють ступінь послаблення перерізу арматури. Величина послаблення арматури крім того дає інформацію про інтенсивність протікання процесів корозії.

При обстеженні сталобетонних прогонових споруд особливу увагу приділяють плиті баластного корита на кінцевих ділянках, а також місцям сполучення плити з металевими балками [46–49].

Під час обстеження і вимірів опорних частин прогонових споруд перевіряються [50–53]: стан поверхонь рухомих опорних частин, рівномірність обпирання елементів опорних частин і прилеглих до них конструкцій опор і прогонових будов, надійність прикріплення балансирів і подушок.

На всіх штучних спорудах перевіряють надійність кріплення перил, влаштування огорожень, знаків судноплавної сигналізації, стан оглядових пристроїв, площадок-сховищ, а на електрифікованих лініях додатково стан щогл і кронштейнів контактної мережі, елементів заземлення.

У разі наявності на мосту комунікацій (водоводи, теплотраси, лінії зв'язку, електролінії, нафтопроводи тощо) перевіряють відповідність проекту конструкцій їх прикріплення до елементів мосту, а також виявляють можливий негативний вплив комунікацій на умови експлуатації штучної споруди, на зміну величини постійного навантаження, на руйнування [26–28].

У разі виявлення при обстеженні прогонових споруд, опор і опорних частин небезпечних дефектів, необхідно разом із лінійними працівниками прийняти заходи із забезпечення безпеки руху поїздів.

При обстеженні водопропускних труб особливу увагу приділяють стану [55–57] укріплень русла, бетонних лотків, швів між секціями, захисного шару, оголовків в цілому, наявності вивалів каменів, оскільки саме через ці дефекти утворюється просипання ґрунту, просочення води, розмив насипу.

2.1. Аналіз неруйнівних методів контролю технічного стану та міцності залізобетонних конструкцій, що експлуатуються

Неруйнівні методи випробування міцності бетону у виробках, конструкціях і штучних спорудах використовують паралельно з руйнівними методами випробування для оцінки міцності бетону [58–60].

Використання методів випробування бетону, без його руйнування, дозволяє з деякою мірою наближеності визначити властивості бетону:

- міцність;
- оцінювати ступінь однорідності бетону за міцністю у спорудах;
- контролювати зростання міцності в спорудах з часом у процесі твердіння бетону;
- визначати марку бетону з водонепроникності;
- визначати вміст хлоридів та карбонізацію бетону.

В експлуатаційних умовах методи випробування бетону в конструкціях, без його руйнування, застосовують у таких випадках:

- для визначення фактичної міцності бетону в монолітних і збірних конструкціях;

- при натурних випробуваннях бетонних і залізобетонних конструкцій споруд, які проводяться з метою оцінки їх експлуатаційної надійності;
- при реконструкції будівель і споруд;
- при необхідності обґрунтування рішення про підсилення залізобетонної споруди;
- при вирішенні питань про можливість подальшої експлуатації прогонових споруд без їх підсилення при збільшені тимчасових навантажень на них;
- при з'ясуванні причин аварій і руйнуванні залізобетонних конструкцій.

Розрізняють механічні та фізичні неруйнівні методи (рис. 2.1).

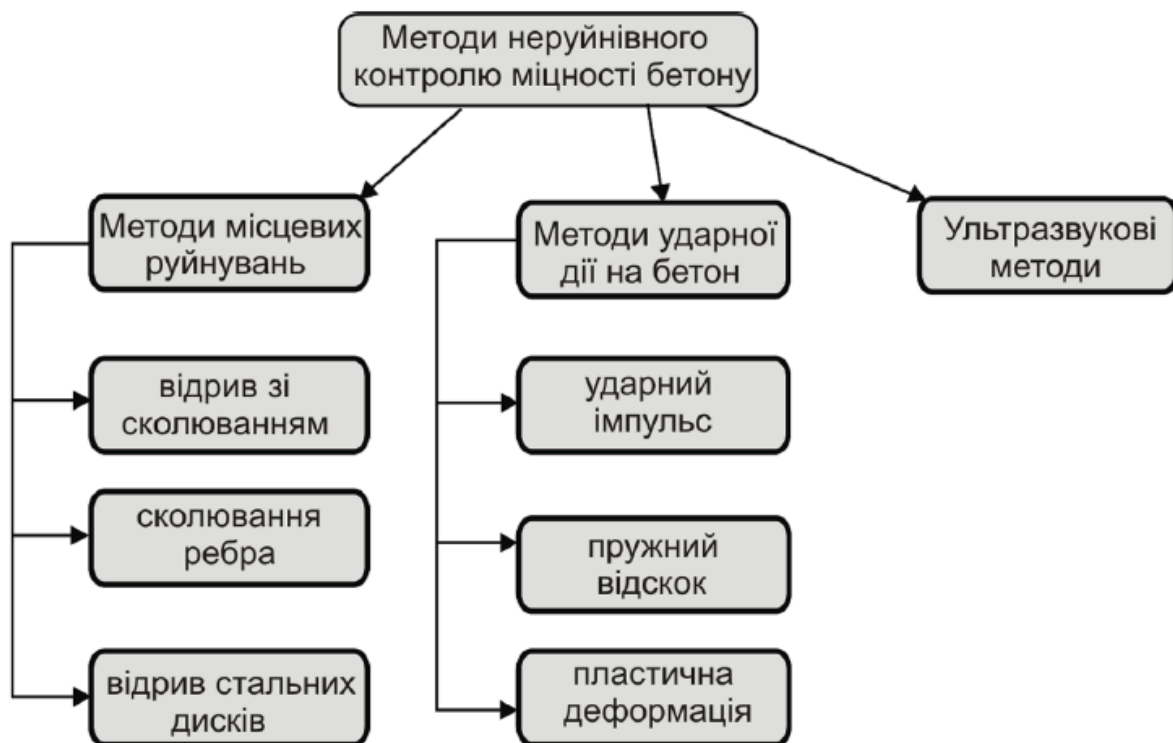


Рис. 2.1. Класифікація методів неруйнівного контролю міцності бетону

Механічні методи базуються на кореляційних зв'язках між міцністю та іншими механічними характеристиками бетону (твердістю, пружністю, здатністю до пластичних деформацій та ін.), а також зусиллями, що викликають його місцеві руйнування. При *фізичних методах* застосовуються кореляційні зв'язки міцності бетону зі швидкістю розповсюдження в ньому ультразвукових хвиль та деякими іншими фізичними характеристиками (частотою коливань,

інтенсивністю гама-опромінювання при проходженні крізь бетон та ін.). Із фізичних методів на практиці застосовується ультразвуковий метод.

Відповідно до ДСТУ Б В. 2.7 – 220:2009 [64] непрямыми характеристиками міцності при застосуванні механічних неруйнівних методів можуть бути:

- значення відскоку бойка від поверхні бетону (або притиснутого до неї ударника);
- параметр ударного імпульсу (енергія удару);
- розміри відбитку на бетоні (діаметр, глибина тощо) або співвідношення діаметрів відбитків на бетоні і стандартному зразку при ударі чи вдавлюванні індентора в поверхню бетону;
- значення напруження, необхідного для місцевого руйнування бетону при відриві приклеєного до нього металевого диска;
- значення зусилля, необхідного для сколювання ділянки бетону на ребрі конструкції;
- значення зусилля місцевого руйнування бетону при вириванні з нього анкерного пристрою.

Область застосування того чи іншого методу залежить від граничних значень вимірюваної міцності (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

**Граничні значення бетону при застосуванні
механічних неруйнівних методів**

Найменування методу	Граничні значення міцності бетону, МПа
Пружний відскок і пластична деформація	5...50
Ударний імпульс	10...70
Відрив	5...60
Сколювання ребра	10...70
Відрив зі сколюванням	5...100

Число випробувань на контрольованій ділянці та інші умови, що нормуються залежно від методу неруйнівного контролю, приведені в табл. 2.2.

Для випробування міцності бетону безпосередньо у елементах штучних споруд використовуються методи пружного відскоку, плас-

тичних деформацій, ударно-імпульсні методи та випробування на відрив та сколювання [26].

Методами пружного відскоку і пластичних деформацій випробовують поверхневий шар бетону, міцність якого практично не відрізняється від міцності бетону в конструкції.

Методом випробування на відрив і сколювання визначається міцність бетону в тілі конструкції.

Таблиця 2.2

Умови випробувань неруйнівними методами

Найменування методу	Число випробувань на ділянці	Відстань між місцями випробувань, мм	Відстань від краю конструкції до місця випробувань, мм	Товщина конструкції, мм
Пружний відскок	5	30	50	100
Ударний імпульс	10	15	50	50
Пластична деформація	5	30	50	70
Відрив	1	2 діаметри диска	50	50
Сколювання ребра	2	200	-	170
Відрив зі сколюванням	1	5 глибин відриву	150	Подвоєна глибина встановлення анкера

Для виявлення дефектів структури і розривів у товщі бетону, оцінці однорідності, а також міцності бетону невисоких марок, використовують ультразвуковий імпульсний метод.

Для контролю міцності бетону використовують різні прилади механічної дії. За їх допомогою визначають один або два показники міцності бетону. По величині показників, користуючись градуйованими кривими, визначають значення межі міцності бетону при стисненні у елементі штучної споруди.

При випробуваннях методом пружного відскоку, в якості побічного показника міцності, використовується величина відскоку бой-

ка h в мм, яка залежить від пружно-пластичних властивостей поверхневого шару бетону.

Випробування бетону методом пружного відскоку проводиться приладами-склерометрами.

Метод випробування на відрив і сколювання бетону, а також комплексний метод з використанням прес-насосів ГПНВ-5, ОНИКС-ОС, який базується на них, рекомендується застосовувати для оцінки міцності бетону в монолітних і збірних конструкціях товщиною не менше 60 мм.

При використанні приладів на основі пружного відскоку і пластичних деформацій, необхідно враховувати вплив поверхневої вологості і віку бетону на побічні показники міцності.

Ділянки для випробування слід вибирати на вертикальних поверхнях у найбільш напружених зонах конструкції (до 2/3 від загальної кількості ділянок, що випробуються). Інші ділянки повинні бути розподілені рівномірно по поверхні конструкції.

Не слід вибирати ті місця, де стикалися листи або дошки опалубки. Ділянки поверхні бетону, які обрані для випробування, повинні бути гладкими або підготовлені шляхом шліфування наждачним каменем.

Випробування механічними приладами виконують при сухій поверхні бетону. Недопустимо випробувати дуже зволожений бетон. Просушування бетону на відкритому повітрі і додатній температурі повітря повинно відбуватися не менше 48 годин.

Випробування бетону в спорудах повинно виконуватися тільки при додатних температурах повітря.

За допомогою приладів, які базуються на принципі пружного відскоку і використовують метод пластичних деформацій, можливо визначати міцність тільки поверхневого шару бетону. У тому разі, коли міцність внутрішніх шарів бетону відрізняється від міцності його поверхневого шару, необхідно ще провести випробування ультразвуковим способом або на відрив і сколювання.

Устаткування провідних країн, що з'явилося на ринку України, дозволяє отримувати надійні результати стану бетонних та залізобетонних штучних споруд не тільки з міцності бетону, але й іншим дуже важливим показникам та визначати (додаткову інформацію по цьому устаткуванню можна одержати у відділі технічної діагностики

споруд Державного науково-дослідного інституту ім. М. П. Шульгіна):

- марку бетону з водонепроникності (TORRENT);
- проводити аналіз корозії арматури (CANIN);
- проводити аналіз ймовірності виникнення корозії в залізобетонних конструкціях (RESI);
- вміст хлоридів в бетоні конструкції (JAMES);
- ступінь карбонізації бетону (CARBO DETECT);
- розташування, діаметр та товщину захисного шару (CM52);
- товщину захисного покриття по арматурі (EBAN 1000) тощо.

2.1.1. Прилади для вимірювання товщини захисного шару бетону та пошуку арматури

Величина захисного шару бетону відіграє велику роль у довговічності залізобетонних прогонових споруд залізничних мостів, опор, водопропускних труб, захищаючи робочу арматуру від проникнення вологи. Проникнення вологи в тіло конструкції приводить до корозії робочої арматури і таким чином до зменшення її діаметру і загальної площі, яка є основною величиною при всіх розрахунках міцності, довговічності, вантажопідйомності.

Таким чином якомога більш точне визначення товщини захисного шару бетону, кількості стержнів робочої арматури, її діаметру та розташування дають основу для забезпечення точності при визначенні зносу прогонової споруди, опори, труби тощо.

Вимірювання товщини захисного шару бетону, діаметру арматури та її розташування у залізобетонних конструкціях проводять з використанням приладів, в основі яких лежать електромагнітний та радіографічний методи.

Наведені нижче прилади дають достовірну інформацію, але не є обов'язковими для використання. Дозволяється користуватись іншими серійними приладами, які пройшли перевірку у встановленому порядку в центрах стандартизації, метрології та нормативного забезпечення і дають можливість отримати інформацію з необхідним ступенем точності.

Вимірювач захисного шару залізобетонних конструкцій «ИЗС-10Н» (рис. 2.2) призначений для вимірювання товщини захисного шару бетону і визначення розташування арматури діаметром від 4 до 8 мм класу АІ і діаметром від 10 до 32 мм класу АІІ в залізобетонних виробках і конструкціях при армуванні згідно ГОСТ 22904 в умовах підприємств будівельної індустрії, будівельних майданчиків, а також будівель і споруд, які експлуатуються.

Принцип дії приладу базується на реєстрації змін комплексного опору датчика-перетворювача, який виникає при взаємодії електро-магнітного поля датчика-перетворювача з арматурним стержнем в залізобетонній конструкції.



Рис. 2.2. Прилад « ИЗС-10Н »

Прилад має такі основні технічні характеристики:

- робоча температура повітря $-10...+40\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість повітря 90 %;
- атмосферний тиск 650...800 мм рт. ст;
- робочий діапазон захисного шару:
 - для діаметрів 4...10 мм – 5...30 мм;
 - для діаметрів 12...32 мм – 10...50 мм;
- робочий діапазон визначення розташування проекцій стержнів арматури на поверхню бетону:
 - діаметром 4...10 мм при товщині захисного шару бетону до 30 мм;
 - діаметром 12...32 мм при товщині захисного шару бетону до 50 мм;
- діаметри, які контролюються, мм, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 22, 25, 28, 32;
- межа допустимої основної похибки виміру товщини захисного шару при кроках арматури 100 мм і більше (діаметр стержнів від 4 до 10 мм) та 200 мм і більше (діаметр стержнів від 12 до 32 мм) $\pm(0,5 + 0,05h)$ мм, де h – товщина захисного шару бетону;

- живлення приладу від електромережі з частотою $50 \pm 0,5$ Гц і напругою 220 ± 22 В або двох пар батарей 3 336;
- час безперервної роботи при живленні від батарей 8 годин;
- габаритні розміри приладу, мм:
електронний блок $282 \times 180 \times 125$;
датчик-перетворювач $220 \times 87 \times 84$;
блок живлення $100 \times 60 \times 55$;
- маса приладу не більше 4,5 кг.

Підготовка приладу до роботи і порядок роботи описані у [65].



Рис. 2.3. Прилад «Поиск-2.3»

Вимірювачі захисного шару бетону та розташування арматури у залізобетонних конструкціях «Поиск-2.3» та «Поиск-2.4» мають такі основні технічні характеристики (рис. 2.3):

- робочий діапазон захисного шару:

- для діаметрів 3...4 мм – 0...90 мм;

- для діаметрів 10...18 мм – 0...120 мм;

- для діаметрів 25...50 мм – 10...130 мм;

- гранична межа чутливості приладу 300 мм;

- гранична робоча товщина 170 мм;

- діаметри, які контролюють-

ся, 3...50 мм;

- похибка виміру діаметрів не нормується;
- мінімальний крок арматури, яка контролюється:
для діаметрів 3...10 мм – 100 мм;
для діаметрів 12...50 мм – 200 мм;
- межа похибки виміру захисного шару $(0,5 + 0,03h)$, де h – товщина захисного шару бетону, мм;
- живлення приладу від акумуляторних батарей типу АА 3,0/2,5 В;
- час безперервної роботи (без підсвітки) 25 годин;

- габаритні розміри приладу, мм:
вимірювач $146 \times 72 \times 25$;
датчик $150 \times 32 \times 37$;
- маса: вимірювача 0,14 кг; датчика – 0,20.

Основні функції приладів такі:

- вимірювання товщини захисного шару бетону при відомому діаметрі арматури;
- вимірювання товщини захисного шару і невідомого діаметра арматури (тільки «Поиск-2.3»);
- автоматизоване налаштування на будь-які марки сталей, у т. ч. і на невідомі (тільки «Поиск-2.3»);
- акустичний пошук арматури (тільки «Поиск-2.3»);
- комбіноване відображення товщини захисного шару у цифровому вигляді і лінійним індикатором;
- енергонезалежна пам'ять 800 результатів вимірювань з реєстрацією у реальному часі і можливістю переглядання результатів по номерах і по датах, а також умов виконання вимірювань;
- адресна орієнтація вимірів за видом арматури (стержні, дріт, канати, пасма) і за видом сталей (тільки «Поиск-2.3»);
- повноцінне відображення результатів вимірювань на графічному дисплеї;
- автоматична термокомпенсація і калібрування приладу;
- діалоговий режим роботи користувача з приладом за допомогою меню, клавіатури і текстових повідомлень;
- індикація ступеню розряду батареї живлення приладу з видачею повідомлення про необхідність її зарядження;
- автоматичне відключення приладу при перервах у роботі;
- вибір мови текстових повідомлень (російська або англійська);
- інфрачервоний оптоінтерфейс для зв'язку з комп'ютером (тільки «Поиск-2.3»).

Особливостями приладів є виконання датчиків із копролону у вигляді призм із боковими проточками. Опорна частина датчиків захищається від стирання стальними кульками, які забезпечують також гарне ковзання датчиків по поверхні конструкції.

Програма комп'ютерної обробки призначається для переносу результатів вимірів у комп'ютер, їх збереження, переглядання і вибору із масиву, а також друкування відібраних результатів у табличній

і графічній формах з наведенням часу і дати проведення вимірів, виду вимірів, значення товщини захисного шару, діаметра і виду арматури.

Передбачено пересилання інформації в EXCEL для подальшої обробки.

Виробник приладу: 454080 Челябінськ-80, а/я 9544, НПП «Карат».



Рис. 2.4. Прилад
«ИНК-2.3»

Вимірювач напруги і коливань **ИНК-2.3** (рис. 2.4) призначається для виміру механічних напруги і параметрів коливань при вібрації об'єктів контролю при рішенні виробничих та наукових задач. Основне призначення приладу – вимірювання частотним методом згідно ГОСТ 22362-77 механічних напруг в окремих елементах залізобетонних конструкцій з попередньо напруженою арматурою із стержнів, дроту або пасм, а також визначення параметрів коливань різних вібраційних установ, які використовуються для ущільнення бетонної суміші.

Визначення величини механічних напруг і параметрів вібраційних коливань здійснюється автоматично з інтелектуальною обробкою інформації і виконанням розрахунків за допомогою сигнального мікроконтролера.

Прилад видає величину напруги у МПа і її відхилення від проектного значення у %, поправку на довжину арматурного стержня в мм, швидкість вібрації, вібраційні переміщення і частоту по кожному із 600 вимірів.

Технічні характеристики приладу такі:

- робочий діапазон температур $-5...+45$ °С;
- відносна вологість повітря 80 %;
- атмосферний тиск 650...800 мм рт. ст.;
- діапазон вимірювання:
 - частот 5...200 Гц;
 - напруги 50...200 МПа;
 - амплітуд коливань 0,01...2 мм;
 - вібраційна швидкість 0,1...250 мм/с;
- межі основної похибки вимірювань, яка допускається:
 - частоти 0,2 %;

- напруги 4,0 %;
- амплітуди коливань і вібраційної швидкості 6,0 %;
- живлення приладу без підсвічування 2,0 мА;
- час безперервної роботи 30 годин;
- габаритні розміри вимірювача 140×70×25 мм;
- маса вимірювача 0,12 кг;
- маса датчика напруги 0,15 кг;
- маса вібродатчика 0,03 кг;
- довгочасна пам'ять результатів 1 200.

Основні функції приладу:

- адресна орієнтація на об'єкт контролю;
- вимірювання частот і амплітуд коливань;
- аналіз і інтелектуальна обробка інформації;
- обчислення і індикація напруги, середньоквадратичного значення, вібраційної швидкості, амплітуди, частоти, відхилення напруги і довжини стержня від проектного значення;
- реєстрація до 1 200 результатів вимірів;
- відображення інформації на графічному дисплеї з підсвіченням;
- інфрачервоний інтерфейс.

Виробник приладу: 454080 Челябінськ-80, а/я 9544, НПП «Карат».

2.1.2. Прилади для неруйнівного контролю міцності бетону

Прилад типу КМ – пружинний напіваавтомат ударної дії із заданою енергією удару (рис. 2.5). При русі ударника всередину корпусу відбувається накопичення потенційної енергії внаслідок розтягнення ударної пружини. На показники приладу впливає вид щебеню і його розташування. Вплив глибини розташування щебеню на показники міцності враховується шляхом вилучення значень, які відрізняються від середніх на 15 %.

На показники приладів, у яких використовують принцип пружного відскоку, впливає вологість бетону, яка враховується при обробці результатів вимірювань, множенням первісного значення на поправочний коефіцієнт. Значення поправочного коефіцієнта приймається при вологості: природній – 1,00; підвищеній – 1,15; повному насиченні – 1,30.

Тарировочні криві для приладу КМ наведені у [27].

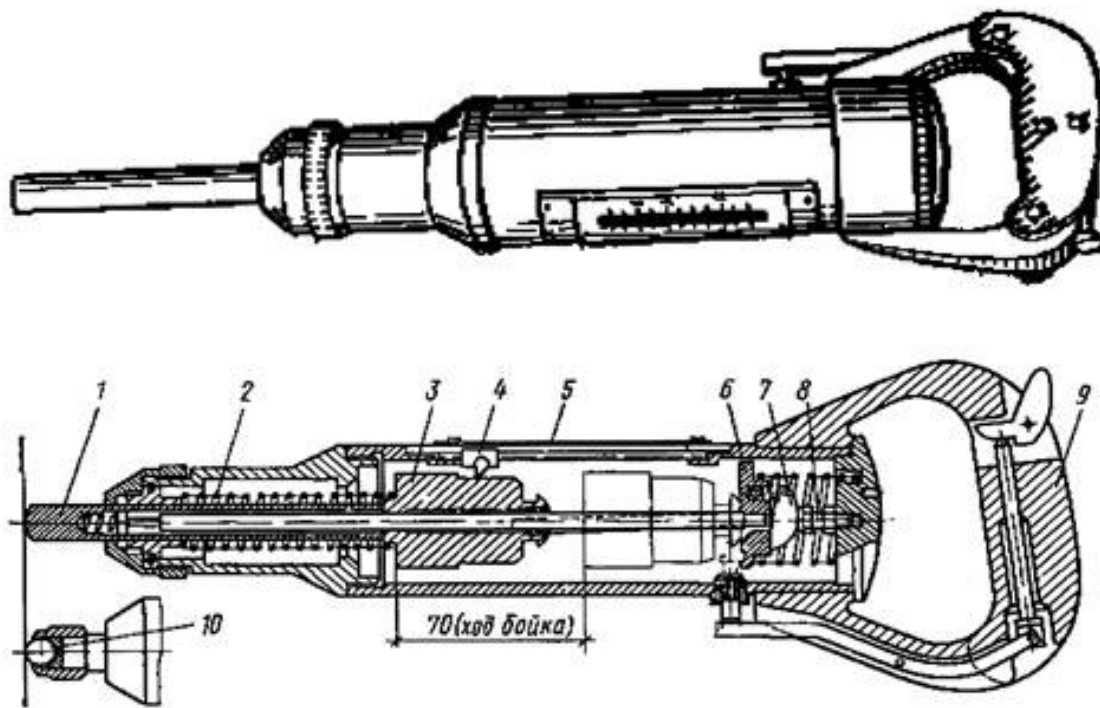


Рис. 2.5. Конструкція приладу КМ:

1 – ударник; 2 – ударна пружина; 3 – бойок; 4 – покажчик; 5 – шкала;
6 – держатель; 7 – засувка; 8 – упорний болт; 9 – рукоятка

Молоток Кашкарова, що призначений для випробування міцності бетону наведено на рис. 2.6. У приладі використовується метод розрахунку міцності бетону через еталон (металевий стержень). Вважається, що модуль пружності металу еталонного стержня відомий. При визначенні міцності бетону удар по його поверхні наноситься змахом самого еталонного молотка. При ударі бойок (сталева кулька діаметром 15 мм від підшипника) залишає на поверхні бетону і на еталонному стержні (круглого перерізу із сталі Ст 5 діаметром 10 мм) відбиток.

Перед випробуванням бетону еталонний стержень загостреним кінцем вставляють в стакан молотка, переборюючи при цьому опір пружини. Під дією пружини кулька молотка прижимається до еталонного стержня, а останній до внутрішнього упору головки.

При підвищеній вологості первісне значення межі вологості слід скорегувати, помноживши його значення на поправочний коефіцієнт, який залежить від вологості конструкції і приймається при: природній вологості 1,00; підвищеній вологості 1,20; повному насиченні 1,40.

Крім цього, вік споруди враховується також відповідним поправочним коефіцієнтом, який при віці більше року становить 0,75.

Для використання приладу в виробничих умовах необхідно будувати тарировочну криву з урахуванням конкретних складів бетонів, які використовуються для виготовлення конструкцій та прийнятої технології. При неможливості побудувати тарировочну криву слід використати криву НІІ Мостобуду, яка наведена у [27].

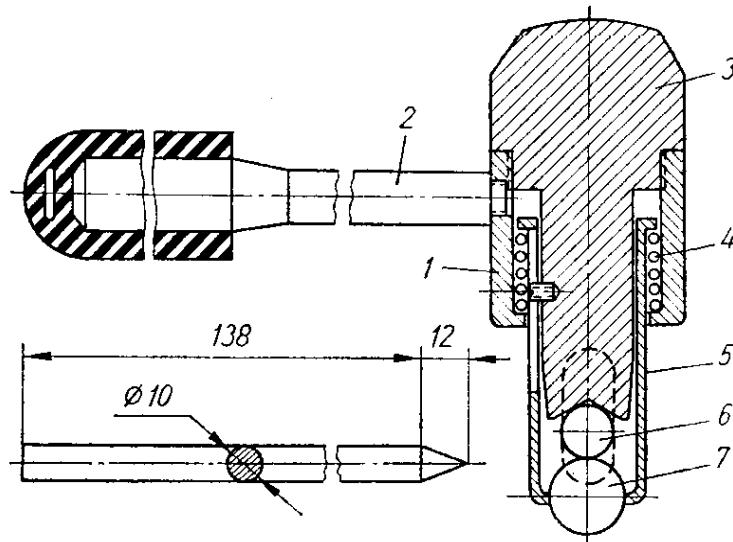


Рис. 2.6. Конструкція еталонного молотка Кашкарова:

- 1 – корпус; 2 – металева рукоятка; 3 – головка; 4 – пружина;
5 – стакан з отворами для кульки і еталонного стержня;
6 – еталонний стержень; 7 – металева кулька

Прилад типу ХПС – пружинний напівавтомат ударної дії з двома заданими енергіями удару (рис. 2.7). Накопичення потенційної енергії відбувається внаслідок стиснення ударної пружини при вдавлюванні ударника всередину корпусу.

На результати випробування міцності бетону впливають підвищена вологість і його вік. Вплив вологості конструкції корегується за допомогою коефіцієнту, значення якого при відсутності експериментальних даних приймається у розмірі при: природній вологості – 1,00; підвищеній вологості – 1,20; повному насиченні – 1,40.

Тарировочні криві для визначення міцності бетону для приладу типу ХПС з енергією удару 4,9 Дж та 1,22 Дж наведені в [27].

Надійні результати випробувань залежать від стану приладів. Поверхні ковзання ударного стержня перед використанням треба

протирати тканиною злегка просоченою мастилом. Кульку і оправу на ударному стержні необхідно систематично чистити, деформовані або пошкоджені кульки замінювати.

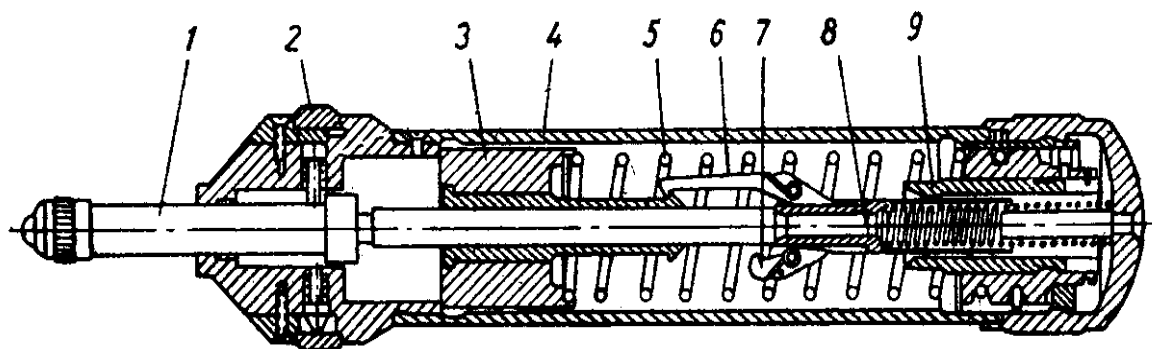


Рис. 2.7. Конструкція портативного приладу ХПС:

1 – ударний стержень; 2 – стержень для переключення; 3 – бойок; 4 – корпус приладу; 5 – ударна пружина; 6 – заскочка для включення сегменту в положення 1/2; 7 – заскочка для включення сегменту в положення 1/1; 8 – держатель заскочок; 9 – конічна гільза

Прес-насос ГПНВ-5 (рис. 2.8). Основною частиною приладу є корпус, який складається із траверси з робочим циліндром 8. Він має отвори для проходу штоку 7 робочого поршня.

До штоку кріпиться муфта підвіски 6 для з'єднання з виливним стержнем або конусом 5. На корпусі передбачені гнізда для видвижних ніжок, насосу і манометра. Робочий циліндр щільно закритий кришкою. Поршень робочого циліндру складається із сталевого диску зі штоком. За допомогою шайби і гайки до диску щільно прижимається манжет із мастиlostійкої гуми. Між робочим поршнем і кришкою розташована пружина.

Насос складається із циліндра, верхньої кришки, поршня з гвинтовим штоком і рукоятки. Циліндр насосу вгвинчується в гніздо корпусу приладу [27].

В ніжках приладу є сферичні заглиблення для розміщення сталевих кульок 4 діаметром 15,88 мм, які вдержуються спеціальними наконечниками 3.

Тарировочні криві для визначення міцності бетону при використанні розжимного конусу, виливного стержня, а також залежно від діаметра відбитка кульки наведені в [27].

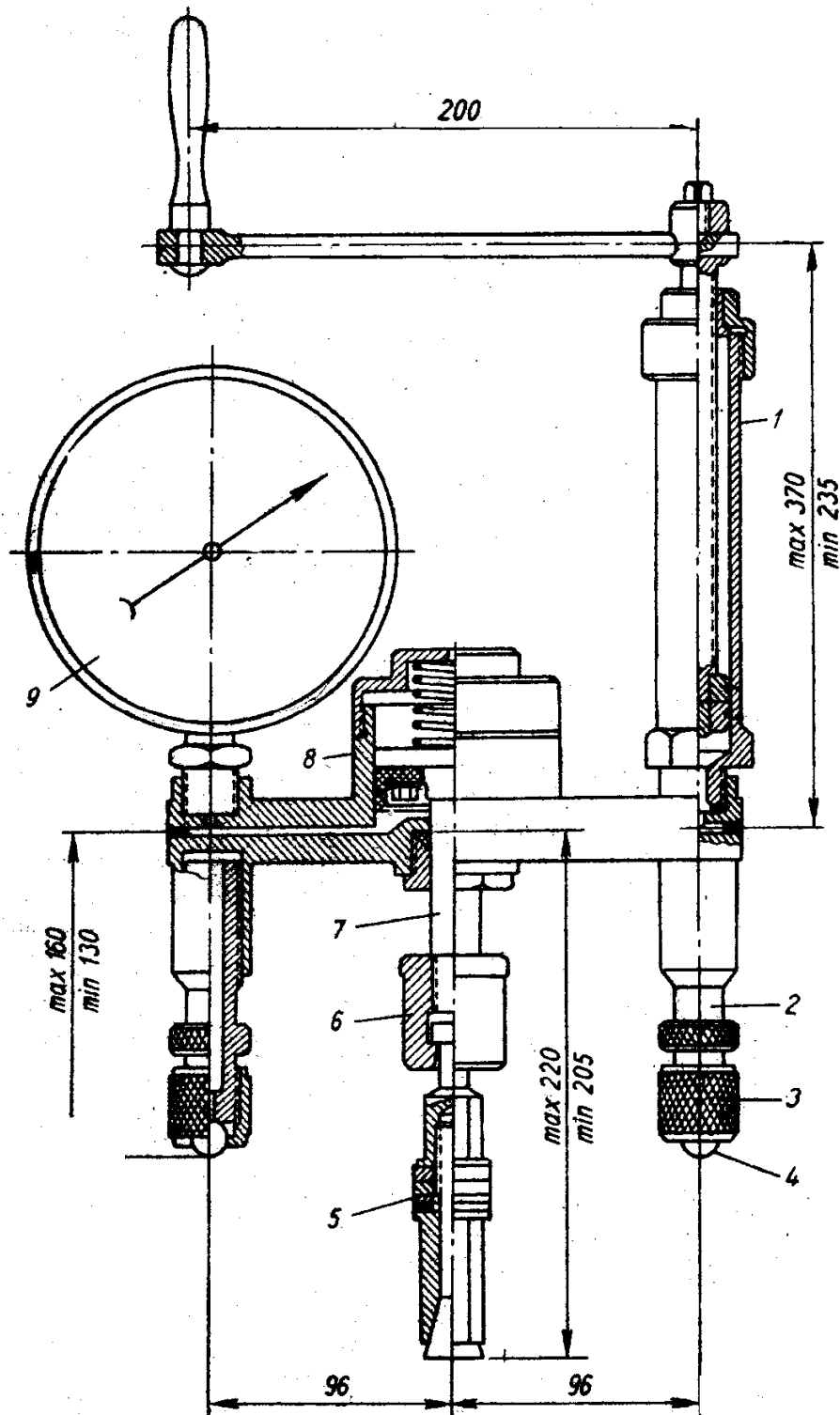


Рис. 2.8. Гідравлічний прес-насос ГПНВ-5:
 1 – насос; 2 – видвижна ніжка; 3 – наконечник; 4 – кулька;
 5 – розжимний конус; 6 – підвісна муфта; 7 – шток (тяга);
 8 – робочий циліндр; 9 – манометр

Склерометр Шмідта. Конструкція цього приладу приведена на рис. 2.9, а описання у [65, 66]. Для визначення міцності бетону прогонових споруд використовується склерометр Шмідта № 24 (для мостів і труб). Його використання дозволяє досить швидко визначати міцність бетону будь-яких елементів бетонних і залізобетонних споруд.

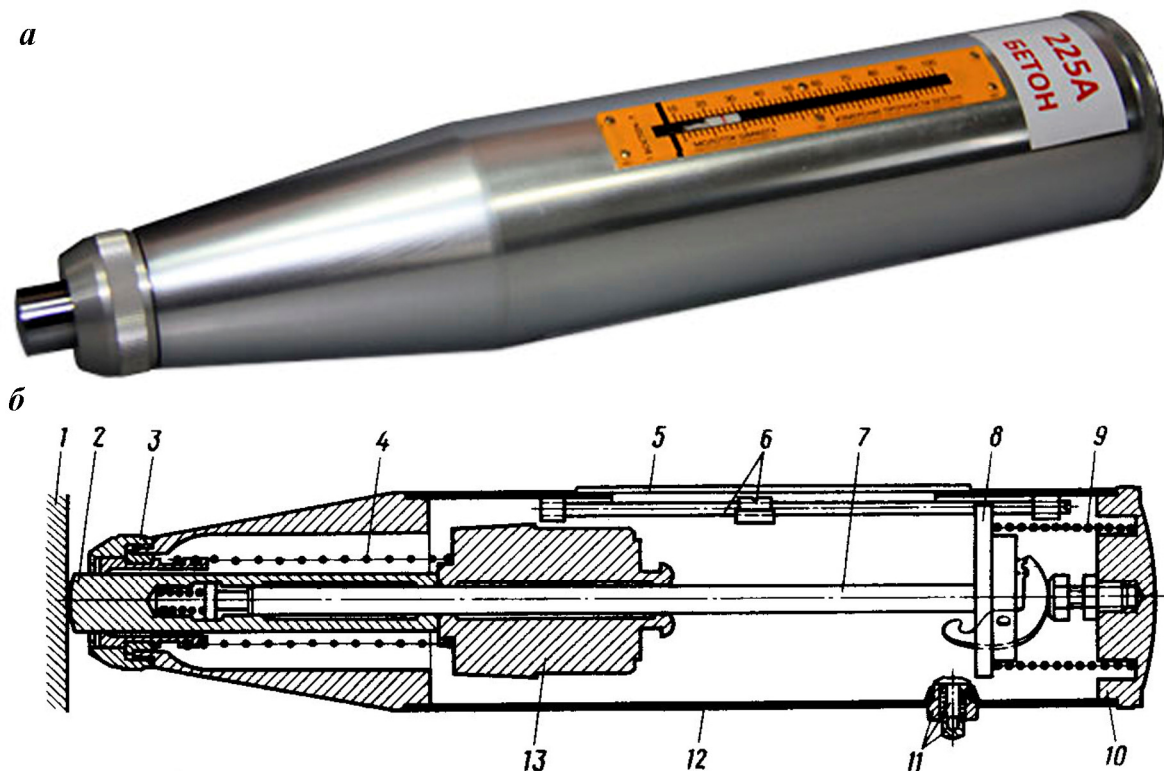


Рис. 2.9. Склерометр Шмідта:

а – загальний вигляд; *б* – конструкція; 1 – бетонна поверхня; 2 – ударний стержень; 3 – ковпачок; 4 – ударна пружина; 5 – вікно з шкалою; 6 – движок з стержнем; 7 – направляючий стержень; 8 – направляюча шайба; 9 – пружина; 10 – кришка; 11 – стопорна кнопка; 12 – корпус; 13 – молот

Місця замірів вибирають таким чином, щоб не було напливів від стиків дощок або листів металевої опалубки, раковин або пористих ділянок. Якщо випробування міцності бетону відбувається на елементах, які мають товщину менше 15 см, то необхідно перед випробуванням встановлювати розпірки для запобігання впливу пружності конструкції.

Перед виконанням замірів необхідно старанно підготувати поверхню бетону. Поверхня бетону на ділянках, які обрані для випробувань повинні бути очищені від пилу і грязі.

Графіки для визначення міцності бетону залежно від величини відскоку ударної частини склерометра приведені для діапазону 10...70 МПа і нанесені на корпус приладу, а також приведені у [13, 29].

Криві склерометра були побудовані на основі вимірів, що виконувалися на дуже великій кількості зразків, які після випробувань склерометром роздавлювали пресом.

Оскільки точність визначення міцності бетону знижується із погіршенням його якостей, при отриманні відліку 25 кількості замірів необхідно збільшувати.

Склерометр має довжину 350 мм, діаметр 55 мм, масу 1 кг.

Прилад «Онікс-2.4» (рис. 2.10) призначається для визначення міцності бетону під час стиснення без його руйнування ударно-імпульсним методом (згідно ГОСТ 22690-88 і ГОСТ 18105-86) при технологічному контролі якості, обстеженні будівель, споруд і різних конструкцій.

Новий метод контролю, який застосовано у приладі, дозволяє у 1,5...2 рази скоротити кількість ударів серії, яка необхідна для отримання результатів заданої точності. Конструкція датчика і його мала вага дозволяють виконувати роботу з високою інтенсивністю.

Цей прилад можливо використовувати і при визначенні твердості, однорідності, щільності і пластичності різних матеріалів, а саме цегли, штукатурки, композитів тощо.

Прилад має такі основні технічні характеристики:

- діапазон вимірів міцності 1...30, 5...100 МПа;
- межа погрішності 5 %;
- живлення приладу від 2 акумуляторних батарей типорозміру АА;
- габаритні розміри приладу: вимірювача 145×75×25; датчика Ø25×160;
- маса вимірювача 0,14 кг; маса датчика 0,16 кг;



Рис. 2.10. Прилад
«Онікс-2.4»

- робочий діапазон температур $-10 \dots + 50$ °С.
- Основні функції приладу такі:
- автоматичне врахування віку бетону;
 - енергозалежна пам'ять з реєстрацією у реальному часі і можливістю візуального контролю серійних і внутрісерійних результатів за номерами і датами, а також умов виконання вимірів;
 - інтелектуальна і статистична обробка серії до 15 вимірів, обчислення коефіцієнтів варіації і розмаху;
 - діапазон вимірів, який переключається програмно;
 - адресна реалізація за видами матеріалів: бетон легкий або важкий, цегла керамічна або силікатна, розчин тощо;
 - можливість легкої орієнтації приладу під будь-які види матеріалів і умови споживача введенням у енергозалежну пам'ять приладу коефіцієнтів перетворення, які були отриманні при тарировці приладу;
 - автоматичне відключення приладу при його непрацездатності;
 - діалоговий режим роботи користувача з приладом за допомогою меню та клавіатури;
 - урахування ресурсу роботи датчика за допомогою лічильника ударів;
 - вибір мови текстових повідомлень (російська або англійська);
 - індикація ступеню розрядження акумуляторної батареї з видачею повідомлення про необхідність її заряду;
 - інфрачервоний оптоінтерфейс для зв'язку з комп'ютером.

Прилад «Пульсар-1.0» (рис. 2.11) призначений для вимірювання часу і швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль у твердих матеріалах при поверхневому і наскрізному прозвучуванні. Прилад дозволяє визначати міцність, щільність і модуль пружності з використанням попередньо встановлених кореляційних залежностей.

Основні види матеріалів, які закладені у меню приладу: бетон легкий і важкий, цегла керамічна і силікатна та вуглеграфіт і абразиви.

Основними галузями застосування приладу є:

- визначення міцності бетону при технологічному контролі, або у разі обстеження будівель і споруд;
- визначення модулю пружності та щільності;
- пошук дефектів у бетонних спорудах за аномальним зниженням швидкості розповсюдження ультразвуку.

Технічні характеристики приладу:

- діапазон вимірів часу 10...2 000 мкс;
- діапазон вимірів швидкості 1 000...10 000 м/с;
- дискретність часу 0,1 мкс;
- межа відносної похибки виміру часу і швидкості 1 %;
- фіксована база вимірів 100 або 120 мм;
- живлення від 3 акумуляторів типу АА 3,6 В;
- маса приладу 500 г;
- маса датчика 540 г.

Прилад має великий графічний дисплей (з підсвіткою), що формує текстові, символні, графічні та цифрові зображення.

При прозвучуванні елементів прогової споруди приладом «Пульсар-1.0» можливо отримати інформацію про міцність і однорідність; модуль пружності і щільності; наявність дефектів і їх локалізацію.



Рис. 2.11. Прилад «Пульсар-1.0»

Молоток для випробувань бетону «DIGI-Schmidt» 2 (рис. 2.12) призначений для визначення неруйнуючими методами однорідності бетону та його міцності під час стискання (відповідно до Європейського стандарту EN 12398). Молотком по бетонній поверхні наноситься удар. Відскок бойка залежить від міцності бетону. Ударна твердість вимірюється датчиком та представляється на дисплеї індикаторного блока та обробляється.

В комплект поставки входить:

1. Індикаторний блок з об'ємом пам'яті на 5 000 значень, що вимірюються.
2. Рідиннокришталевий дисплей 128×128.
3. Інтерфейс RS232C.
4. Вмонтоване програмне забезпечення для друку результатів вимірювань та передачі їх у персональний комп'ютер.

5. Блок живлення (комплект з 6 батарейок LR6, 1,5 В з ресурсом роботи 60 годин).

Прилад працює в діапазоні температури $-10...+600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6. Молоток моделі ND з параметрами:

- енергія удару 2,207 Нм;
- діапазон вимірювань міцності бетону на стиск $10...70\text{ Н/мм}^2$;
- точність вимірювань $\pm 0,2R$;
- відтворюваність $\pm 0,5R$;

7. Кабель, ремінь, наждачний камінь;

8. Футляр для переносу $325\times 295\times 105\text{ мм}$.

9. Загальна маса приладу 3 кг.



Рис. 2.12. Молоток для випробувань бетону «DIGI- Schmidt 2»

10. Додаткові пристрої: кабель для принтера, кабель для передачі даних у персональний комп'ютер, випробувальна наковальня.

Для підготовки приладу до роботи молоток приєднується до індикаторного блоку і далі, після натиску на кнопку ON, на дисплеї з'являється інформація (номер ударного устю та індикаторного блоку, встановлена версія програмного забезпечення та остаточний ресурс роботи батарейок живлення).

При проведенні випробувань при кожному вимірі наноситься 10 ударів молотком при цьому дисплей фіксує такі параметри:

- напрямок удару;
- обчислена величина середнього значення;
- номер виміру;
- одиниці виміру;
- номер переводної кривої ;
- коефіцієнт форми;
- виключення викидів;
- обмеження діапазону міцності;
- представлення значень ударної міцності у вигляді гістограми.

Друкування вимірів проводиться на будь-якому принтері, що має серійний порт.

Після проведення 1 000 вимірів молоток необхідно перевірити на випробувальній наковальні (що додається до нього).

Прилад «Дефектоскоп А 1220» призначається для пошуку різних включень, пустот, тріщин в середині виробів з бетону, залізобетону, каменю, пластмас та подібних ним матеріалів при односторонньому доступі до об'єкту.

Дефектоскоп можна використовувати для виміру товщини виробів, для дослідження внутрішньої структури матеріалів та оцінки міцності.

Область застосування приладу – пошук дефектів у бетоні та залізобетоні та камені, вимірювання товщини при односторонньому доступі, оцінка структури та міцності неметалів наскрізним прозвучуванням.

Зв'язок з комп'ютером здійснюється через ІК порт або через порт USB.

Конструктивні параметри приладу:

- діапазон дії по глибині в бетоні 0...350, 0...700, 0...1 050 мм;
- мінімальний діаметр дефекту, що може бути виявлено, 50 мм;
- похибка виміру глибини ± 10 мм;
- робоча частота ультразвуку 55 кГц;
- живлення 4 сухих елемента або акумулятора типу АА;
- термін роботи від сухих елементів 10 годин;
- габаритні розміри антенного пристосування 145×90×75 мм;
- маса антенного пристрою 0,76 кг;
- габаритні розміри електронного пристрою 234×98×33 мм;
- маса електронного блока 0,80 кг.

Вимірювач міцності бетону «ОНИКС-ОС» (рис. 2.13) призначається для визначення міцності бетону методом відриву зі сколюванням згідно з ГОСТ 22690.

Використовується при обстеженні залізобетонних конструкцій, а також при коректуванні коефіцієнтів приборів ударно-імпульсного типу (ОНИКС 2.4/2.5) та ультразвукових (Пульсар).



Рис. 2.13. Прилад «Оникс-ОС»

З додатковими пристосуваннями прибор може використовуватись при випробуванні розчинних зразків, цементних балочок, проб порід мінералів та для визначення адгезії плитки та покриттів.

Прилад виконано у вигляді гідравлічного пресу з конструкцією, що виключає просковзування анкера.

Мікропроцесорний пристрій забезпечує повний контроль процесу навантаження, зусилля відриву та його момент, обчислювання міцності та реєстрацію результатів.

Технічні характеристики:

- діапазон вимірювання міцності 5...100 МПа;
- зусилля виривання анкера 50 кН;
- похибка по зусиллю 2 %;
- маса приладу 3,7 кг.

Ультразвуковий метод (ДСТУ Б В.2.7–226:2009) базується на зв'язку між міцністю бетону та швидкістю поширення ультразвукових коливань. Цей метод застосовують для прискореного визначення

міцності бетону на стиск класів С8/10...С30/37 збірних і монолітних конструкцій і споруд. Його застосовують також для визначення міцності бетону в пресі тверднення в теплових установках або в природних умовах.

Ультразвукові вимірювання в бетоні виконують способами наскрізного або поверхневого прозвучування [66–69] (рис. 2.14).

Міцність бетону монолітних конструкцій визначають наскрізним прозвучуванням. Для визначення швидкості ультразвукових коливань («швидкості ультразвуку») необхідно знати час проходження ультразвуку на ділянці певної довжини, яку називають *базою прозвучування*.

При вимірюванні часу поширення ультразвуку способом наскрізного прозвучування ультразвукові перетворювачі встановлюють із протилежних сторін зразка або конструкції відповідно до рис. 2.14, *а*.

Швидкість ультразвуку (v), м/с, обчислюють за формулою:

$$v = (L/T)10^3, \quad (2.1)$$

де L – відстань між центрами установки перетворювачів (база прозвучування), мм;

T – час поширення ультразвуку, мкс.

При вимірюванні часу поширення ультразвуку способом поверхневого прозвучування ультразвукові перетворювачі встановлюють на одній стороні зразка або конструкції (рис. 2.14, *б, в*).

Для визначення коефіцієнту переходу (K) від швидкості ультразвуку при наскрізному до швидкості при поверхневому прозвучуванні виготовляють не менше шести призм розміром не менше $100 \times 100 \times 200$ мм із різних замісів бетону номінального складу, за тією ж технологією і при тому ж режимі тверднення, що і конструкції. Вимірюють час поширення ультразвуку в кожній призмі способом наскрізного і поверхневого прозвучування при постійній базі не менше ніж 120 мм.

Згідно ДСТУ Б В.2.7-226:2009 для ультразвукових вимірювань рекомендуються прилади: УК-14ПМ, УК-ЮПМС, УК-39, Пульсар-М та інші (рис. 2.15). При їх виборі необхідно враховувати діапазон вимірювання часу розповсюдження ультразвукових коливань, мкс: для УК-14ПМ він становить 20...9 000, УК-ЮПМС – 8...9 999, УК-39 – 15...999, Пульсар-М – 10...3 000.

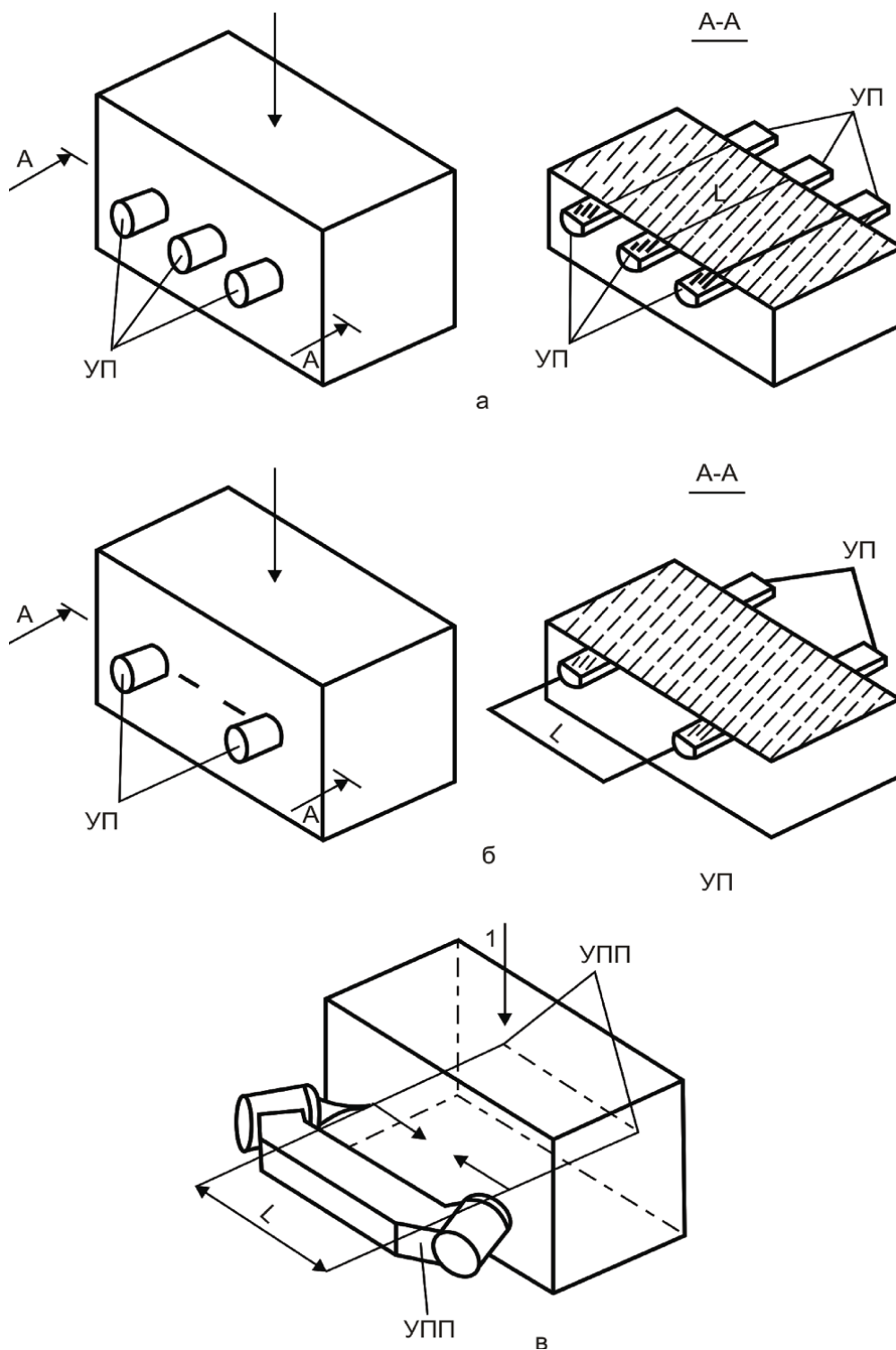


Рис. 2.14. Схеми випробування призм при ультразвуковому прозвучуванні:
 а – схема випробування призм способом наскрізного прозвучування; б, в – схема
 випробування призм способом поверхневого прозвучування; УП – ультразвукові
 перетворювачі; l – напрямок формування; L – база прозвучування; УПП – пристрій
 для поверхневого прозвучування з механічно з'єднаних на постійній базі
 ультразвукових перетворювачів з насадками для точкового контакту з бетоном

Прилади для ультразвукового контролю складаються з п'яти основних частин (рис. 2.16):

- системи збудження, яка включає електронний генератор високочастотних імпульсів і випромінювач, що перетворює електричні імпульси в ультразвукові механічні коливання;
- системи прийому, в якій ультразвукові коливання знову перетворюються в електричні імпульси, які направляються в підсилювач;
- системи вимірювання або індикатора, в якості якого застосовують зазвичай електронно-променеву трубку;
- електронний пристрій, в якому моделюється процес розповсюдження ультразвуку в бетоні;
- мікросекундоміра.



Рис. 2.15. Ультразвуковий прилад для контролю міцності Пульсар-М

Границя допустимої абсолютної похибки вимірювань часу поширення ультразвуку на стандартних зразках, що входять у комплект приладу, не повинна перевищувати значення:

$$\Delta = \pm(0,01\tau + 0,1), \quad (2.2)$$

де τ – час поширення ультразвуку, мкс.

Між бетоном і робочими поверхнями ультразвукових перетворювачів має бути забезпечений надійний акустичний контакт, для чого застосовують в'язкі матеріали (солідол, технічний вазелін тощо). Застосовують також перехідні пристрої або прокладки, що забезпечують сухий спосіб акустичного контакту.

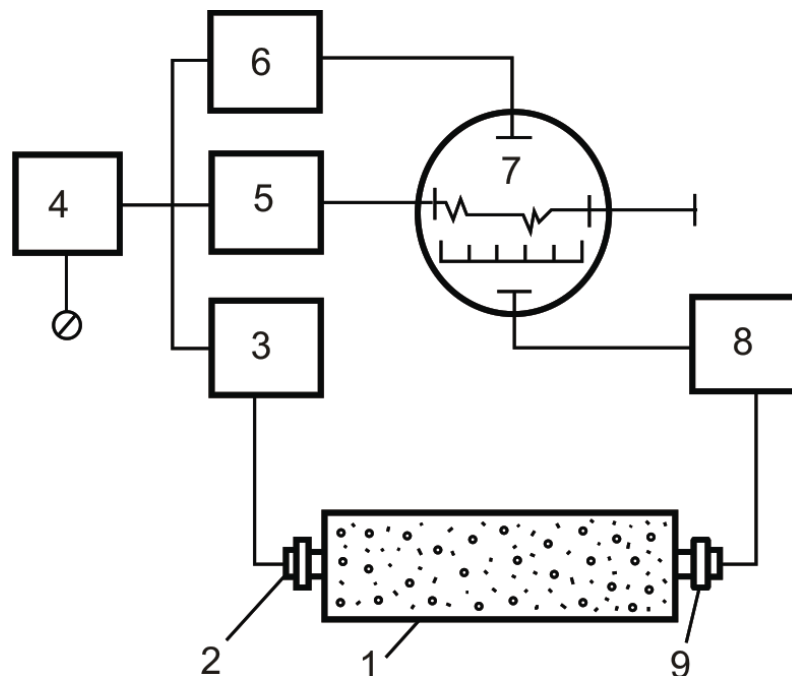


Рис. 2.16. Схема ультразвукового імпульсного приладу:

1 – бетонний зразок; 2 – випромінювач; 3 – генератор імпульсів; 4 – генератор;
5 – електронний пристрій для моделювання розповсюдження ультразвуку в бетоні;
6 – генератор міток; 7 – електронно-променева трубка; 8 – підсилювач; 9 – приймач

Висновки до розділу 2

Загальними задачами регулярного обстеження залізобетонних мостів та інших штучних споруд є виявлення їх фактичного фізичного стану і встановлення за результатами обстеження відповідності споруди нормативним вимогам. Крім того обстеження мостів, які експлуатуються, проводиться для розробки проектів ремонту, реконструкції, підсилення споруди, уточнення їх розрахункової вантажопідйомності.

Неруйнівні методи випробування міцності бетону у виробках, конструкціях і штучних спорудах використовують паралельно з руйнівними методами випробування для оцінки міцності бетону. Використання методів випробування бетону, без його руйнування, дозволяє:

- визначити міцність бетону;
- оцінити ступінь однорідності бетону за міцністю у спорудах;
- контролювати зростання міцності в спорудах з часом у процесі твердіння бетону;
- визначати марку бетону з водонепроникності;
- визначати вміст хлоридів та карбонізацію бетону.

В експлуатаційних умовах методи випробування бетону в конструкціях, без його руйнування, застосовують у таких випадках:

- для визначення фактичної міцності бетону в монолітних і збірних конструкціях;
- при натурних випробуваннях бетонних і залізобетонних конструкцій споруд, які проводяться з метою оцінки їх експлуатаційної надійності;
- при реконструкції будівель і споруд;
- при необхідності обґрунтування рішення про підсилення залізобетонної споруди;
- при вирішенні питань про можливість подальшої експлуатації прогонових споруд без їх підсилення при збільшенні тимчасових навантажень на них;
- при з'ясуванні причин аварій і руйнуванні залізобетонних конструкцій.

Вимірювання товщини захисного шару бетону, діаметру арматури та її розташування у залізобетонних конструкціях проводять з використанням приладів, в основі яких лежать електромагнітний та радіографічний методи.

Для випробування міцності бетону безпосередньо у елементах штучних споруд використовуються методи пружного відскоку, пластичних деформацій, ударно-імпульсні методи та випробування на відрив та сколювання. Методами пружного відскоку і пластичних деформацій випробовують поверхневий шар бетону, міцність якого практично не відрізняється від міцності бетону в конструкції. Методом випробування на відрив і сколювання визначається міцність бетону в тілі конструкції. Для виявлення дефектів структури і розривів

у товщі бетону, оцінці однорідності, а також міцності бетону невисоких марок, використовують ультразвуковий імпульсний метод.

В розділі 2 наведені характеристики приладів для неруйнівного контролю, що застосовуються працівниками ГНДЛ «Матеріали і будівлі для залізничного транспорту» та спеціалістами Придніпровської залізниці для встановлення технічного стану конструкцій транспортних споруд.

Систематизація та аналіз дефектів і пошкоджень бетонних та залізобетонних конструкцій транспортних споруд

3.1. Систематизація дефектів і пошкоджень залізобетонних конструкцій транспортних споруд

В залізобетонних конструкціях штучних транспортних споруд із звичайною та попередньо напруженою арматурою під час виготовлення, монтажу та експлуатації можуть виникнути різні дефекти і пошкодження у вигляді тріщин, сколів бетону, відшарування захисного шару, корозії робочої та розподільчої арматури, розривів стержнів робочої арматури, раковин, руйнування гідроізоляції тощо. Для визначення ступеня небезпечності дефектів за їх впливом на несучу здатність та довговічність споруди, а також для розробки технології по їх усуненню, дефекти штучних споруд класифікують за різними типами (ознаками).

Дефекти бетонних та залізобетонних штучних споруд та їх елементів класифікують за такими ознаками:

1. За типом пошкодження:
 - тріщини;
 - механічні пошкодження;
 - механічний знос;
 - пошкодження втомлюваності.

2. За швидкістю розвитку до небезпечної стадії:
 - тріщини, що миттєво розвиваються (це тріщини під час руйнування, крихкість);
 - тріщини, що розвиваються швидко;
 - тріщини, які розвиваються повільно.
3. За ступенем небезпечності:
 - дуже небезпечні;
 - небезпечні;
 - мало небезпечні.
4. За належністю до типу споруди або її елементів:
 - мостового полотна;
 - бетонних мостів;
 - залізобетонних мостів;
 - водопропускних труб;
 - сталобетонних прогінних будов (залізобетонна плита);
 - плити баластового корита;
 - водовідводу та гідроізоляції;
 - опор тощо.
5. За частотою (масовістю) з'явлення:
 - масові;
 - дефекти, які зустрічаються часто;
 - дефекти, які зустрічаються рідко.
6. За впливом на довговічність споруди:
 - ті, що впливають;
 - ті, що мало впливають;
 - ті, що не впливають.
7. За впливом на безпеку руху поїздів:
 - ті, що впливають;
 - ті, що мало впливають;
 - ті, що не впливають.

На бетонних і залізобетонних конструкціях, що експлуатуються розрізняють п'ять ступенів пошкоджень, а на арматурної сталі – три види корозії (рис. 3.1).

1-й ступінь – забруднення на поверхні бетону (сліди масел, жирів, моху або водоростей), усадочні тріщини і раковини, незначна карбонізація без візуально спостережуваних окремих сколів, але при цьому забезпечена висока міцність бетону.

2-й ступінь – застаріла, облущена або розкрошена поверхня з усадковими тріщинами і невеликими відколами бетону, міцність бетону на 10...15 % нижче проектної марки, низька ступінь карбонізації, що виражається в наявності на поверхні візуально спостережуваних лущень.

3-й ступінь – іржа і тріщини неактивні до 0,2 мм на бетонній поверхні, окремі відколи, міцність бетону на 15...20 % нижче проектної, сильна карбонізація, що виражається в наявності на поверхні бетону візуально спостережуваних суцільних відколів.

4-й ступінь – активні та неактивні тріщини розміром більше 0,2 мм, численні відколи бетону, оголення арматури, міцність бетону більш ніж на 20 % нижче проектної, сильна карбонізація, що виражається в наявності на поверхні бетону продуктів його руйнування у вигляді сталактитів;

5-й ступінь – крихкий бетон з оголеним і неміцно зчепленим заповнювачем, відкрита арматура, глибокі відколи, при простукуванні молотком «глухий» звук, який вказує на наявність пустот, повна втрата бетоном міцності в окремих місцях.

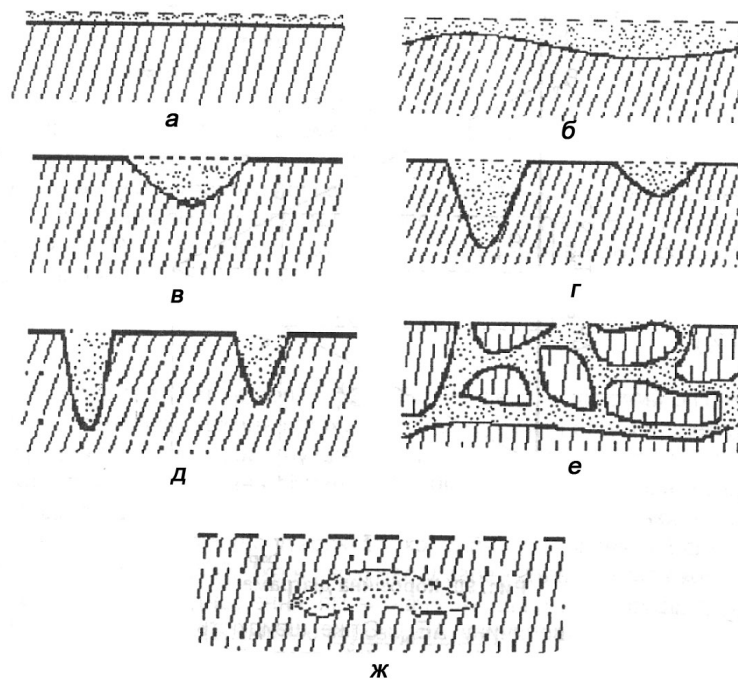


Рис. 3.1. Види корозії арматурної сталі:

a – суцільна рівномірна; *б* – суцільна нерівномірна; *в, г* – виразки;
д – крапки (пітінги); *е* – міжкристалічна; *ж* – підповерхнева

На арматурної сталі спостерігають три види корозії:

- рівномірну суцільну в сплавах, що не утворюють захисних окисних плівок або утворюють рихлі плівки;
- нерівномірну суцільну в багатофазних сплавах;
- локальну у вигляді плям, крапок, виразок у вигляді спучування і розшарування металу, міжкристалічну і підповерхневу.

Різні пошкодження залізобетонних конструкцій мають різний вплив на їх несучу здатність, надійність і довговічність. Відповідно до цього в різних літературних та нормативних джерелах наводяться градації пошкоджень за ступенем цього впливу [1–6, 14, 15, 63, 70–78].

В конструкціях транспортних споруд, що експлуатуються пошкодження поділяють за характером впливу на несучу здатність на три групи:

I група – пошкодження, що практично не знижують міцність і довговічність конструкції (поверхневі раковини, порожнини; тріщини, в тому числі усадкові і враховані розрахунком, розкриттям не більше 0,2 мм, а також ті, в яких під впливом тимчасового навантаження і температури розкриття збільшується не більше ніж на 0,1 мм; відколи бетону без оголення арматури і т. ін.);

II група – пошкодження, що знижують довговічність конструкції (корозійно-небезпечні тріщини розкриттям більше 0,2 мм і тріщини розкриттям більше 0,1 мм, в зоні робочої арматури попередньо напружених прогонових будов, в тому числі і уздовж пучків під постійним навантаженням; тріщини розкриттям більше 0,3 мм під тимчасовим навантаженням; порожнини раковини і відколи з оголенням арматури; поверхнева і глибинна корозія бетону тощо);

III група – пошкодження, що знижують несучу здатність конструкції (тріщини, що не передбачені розрахунком ні за міцністю, ні за витривалістю; похилі тріщини в стінках балок; горизонтальні тріщини в сполученнях плити і прольотних будівель; великі раковини і порожнини в бетоні стислої зони тощо).

Пошкодження I групи не вимагають прийняття термінових заходів, їх можна усунути нанесенням покриттів при поточному утриманні в профілактичних цілях. Основне призначення покриттів при пошкодженнях I групи – зупинити розвиток наявних дрібних тріщин, запобігти утворенню нових, поліпшити захисні властивості бетону і захистити конструкцію від атмосферної та хімічної корозії.

При пошкодженнях II групи ремонт забезпечує підвищення довговічності споруди. Тому і ремонтні матеріали повинні мати достатню довговічність. Обов'язковому закриттю підлягають тріщини в зоні розташування пучків попередньо напруженої арматури, тріщини вздовж арматури.

При пошкодженнях III групи відновлюють несучу здатність конструкції за конкретною ознакою.

Застосовувані матеріали і технологія мають забезпечувати характеристики міцності і довговічності конструкції.

Для ліквідації пошкоджень III групи, як правило, повинні розроблятися індивідуальні проекти.

За впливом на безпеку руху поїздів дефекти поділені в свою чергу на три категорії:

- до першої категорії відносяться дефекти, які погіршують умови обслуговування, знижують довговічність штучної споруди, але розвиток дефекту не впливає на умови пропуску навантаження.

- до другої категорії відносяться дефекти споруд, які можуть обмежувати пропуск рухомого складу і створювати небезпеку руху поїздів.

- до третьої категорії відносяться дефекти штучних споруд, які створюють загрозу безпеці руху поїздів і потребують встановлення особливих умов експлуатації.

Всі дефекти в свою чергу систематизовані по відношенню їх до конкретної технології, яка дозволяє їх усунути і згруповані за такими ознаками:

- порушення захисного шару бетону без огоління або з оголінням та корозією арматури, сколи, раковини;
- наявність тріщин розкриттям до 0,2 мм;
- наявність тріщин розкриттям більше ніж 0,2 мм;
- порушення цілості конструкції;
- порушення гідроізоляції;
- розрив окремих стержнів арматури;
- втрата будівельного підйому без провисання конструкції;
- втрата будівельного підйому з провисанням конструкції;
- вивали окремих бетонних масивів (каменів) у трубах або у надводній та підводній частині опор.

У [27] встановлені категорії технічного стану будівель та споруд залізниць, які наведено у табл. 3.1.

У [46–49, 70, 71] було запропоновано класифікацію пошкоджень плит безбаластного мостового полотна (БМП) з їх розподілом на категорії за впливом на довговічність, несучу здатність і безпеку експлуатації і вказівками щодо нагляду, захисту або заміни для гарантування безпеки експлуатації протягом усього строку служби (табл. 3.2).

Більшість пошкоджень є тріщинами, розташованими в різних місцях у різних напрямках. З урахуванням особливостей виготовлення плит, схеми роботи під навантаженням, можливості корозії арматури, у [72, 73] були припущені причини (фактори) виникнення пошкоджень та їх вплив на довговічність, несучу здатність та безпеку експлуатації (табл. 3.3).

Основні дефекти елементів бетонних, залізобетонних, сталобетонних штучних споруд, класифіковані за їх впливом на несучу здатність, довговічність та безпеку руху поїздів і наведені в табл. 3.4. Знак «+» означає що даний дефект впливає, а знак «–» – що не впливає.

В дод. Б, табл. Б.1 проведено класифікацію тріщин і дефектів, що виникають в процесі будівництва масивних і великорозмірних конструктивних елементів транспортних споруд.

Таблиця 3.1

Категорії технічного стану будівель та споруд залізниці

Категорія	Технічний стан	Ознаки категорії технічного стану	Потрібні заходи
1	Нормальний	Відсутні пошкодження, що перешкоджають нормальній експлуатації, технічний стан такий, як при вводі в експлуатацію	–
2	Задовільний	Наявні пошкодження, що впливають на можливість забезпечення нормального терміну служби будівлі	Потрібний поточний ремонт
3	Непридатний до нормальної експлуатації	Наявні пошкодження, що свідчать про зниження несучої здатності конструктивних елементів	Потрібний капітальний ремонт
4	Аварійний	Неможливе забезпечення цілісності конструктивних елементів на період їх підсилення, можливість їх раптового руйнування	Експлуатація заборонена



Таблиця 3.2

Категорії технічного стану плит БМП




Категорія	Ознаки категорії	Потрібні заходи із забезпечення безпеки експлуатації
1	Пошкодження відсутні	—
2	Наявні пошкодження, що знижують довговічність споруди, але не впливають на несучу здатність та безпеку експлуатації	Постійний нагляд, нанесення захисних покриттів
3	Наявні пошкодження, що знижують довговічність та несучу здатність	Постійний нагляд, нанесення захисних покриттів; можливе обмеження швидкості або навантажень
4	Наявні пошкодження, що знижують несучу здатність і загрожують безпеці руху	Негайна заміна




Таблиця 3.3

Пошкодження (дефекти) плит безбаластного мостового полотна та їх категорії


Опис	Фото пошкодження	Спорууда	Причини пошкодження	Категорія
Повздовжні тріщини на нижній грані плити		Міст через р. Ворскла (187 км), Південна залізниця	Прокладний шар шириною менше 200 мм. Недостатнє зусилля затягування шпильок або його послаблення при експлуатації	При розкритті тріщин: до 0,2 мм – 2; понад 0,2 до 0,5 мм – 3; понад 0,5 мм – 4
Повздовжні тріщини на нижній грані плити біля торців		Міст на 246 км дільниці Одноробівка–Основа Південної залізниці	Недосконалий склад бетону, неякісні складові бетону, низька морозостійкість	–

Продовження табл. 3.3

Опис	Фото пошкодження	Споруда	Причини пошкодження	Категорія
Поперечна тріщина посередині верхньої грані через усю плиту		Міст через р. Стир (153 км), Львівська залізниця	Неправильне розпалублення при виробництві плит. Нерівний прокладний шар	При розкритті тріщин: до 0,2 мм – 2; понад 0,2 до 0,5 мм – 3; понад 0,5 мм – 4
Косі тріщини на верхній грані плити		Міст на 622 км дільниці Зернове–Київ Південно-Західної залізниці	Непаралельність площадок обпірання плити. Недостатнє зусилля натягування або розрив окремих шпильок	–
Косі тріщини на нижній грані плити		Міст через р. Ворскла (187 км), Південна залізниця	Непаралельність площадок обпірання плити. Недостатнє зусилля зтягування або розрив окремих шпильок.	–

Опис	Фото пошкодження	Спорула	Причини пошкодження	Категорія
Сітка тріщин на верхній грані плити			Недосконалий склад бетону, неякісні складові бетону, низька морозостійкість.	–
Сітка тріщин на нижній грані плити		Міст на 340 км дільниці Основа–Букине Південної залізниці	Недосконалий склад бетону, неякісні складові бетону, низька морозостійкість	–
Сітка тріщин навкруги отворів для болтів контруктника, отворів для стропування		Міст через р. Ворскла (187 км), Південна залізниця	Розпалублення плит при низькій міцності бетону (недостатні тепловолігісна обробка)	–

Закінчення табл. 3.3

Опис	Фото пошкодження	Споруда	Причини пошкодження	Категорія
Поверхневі відколи, руйнування або відшаровування захисного шару бетону		Міст через р. Чортослик	Заводський брак при виготовленні плити	Без оголення арматури – 2; при оголенні арматури – 3; зменшенні її перерізу від корозії – 4

Таблиця 3.4

Перелік дефектів бетонних і залізобетонних елементів мостів і труб

№ пор.	Тип дефекту	Вплив дефекту на:		
		міцність	довговічність	безпеку руху
1	2	3	4	5
Залізнична колія на мосту				
1	Надмірна товщина шару баласту	+	-	+
2	Недостатня величина деформаційних зазорів	+	-	+
3	Стики рейок в зоні шафової стінки	+	+	-
4	Недостатня товщина шару баласту під шпалою	+	+	-
5	Зміщення осі колії з осі прогінної будівлі	+	-	+
6	Розлаштування перекриттів деформаційних зазорів	+	-	-
Водовідвід				
7	Відсутні або пошкоджені водовідвідні трубки	-	+	-
8	Не зачеканені отвори навкруги водовідвідних трубок	-	+	-
9	Забиті сміттям входні отвори водовідвідних трубок	-	+	-
10	Недостатня довжина водовідвідних трубок прогінних будівель	-	+	-
11	Застій води в баластному кориті прогінної будови	-	+	-
12	Іржаві водовідвідні трубки прогінних будівель	-	+	-
Гідроізоляція і вилуговування розчину				
13	Окремі сухі смуги вилуговування розчину	+	+	+
14	Вилуговування розчину вертикальних ребер прогінної будови	+	+	+
15	Вилуговування розчину в зоні діафрагм прогінної будови	-	+	-
16	Вилуговування розчину в зоні поздовжнього стику прогінної будови	-	+	-

1	2	3	4	5
17	Вилуговування розчину в зоні опорних частин прогінної будови		+	-
18	Пошкодження гідроізоляції плити баластового корита прогінної будівлі на консолях		+	-
19	Вилуговування розчину плити баластного корита між балками прогінної будови	+	+	
20	Порушення гідроізоляції плити баластового корита на дільниці між балками	-	+	-

Стан бетону прогінної будови

21	Не зачеканені стропові отвори в прогінних будовах	-	+	-
22	Відколи та раковини в бетоні без оголення робочої арматури	-	+	-
23	Відколи бетону торців прогінних будов в місцях обпирання	-	+	-
24	Недостатня товщина захисного шару бетону прогінних будов	-	+	-
25	Щебениста поверхня бетону прогінної будови	-	+	-
26	Руйнування захисного шару бетону з оголенням арматури	+	+	
27	Руйнування бетону в зоні шарнірів відкидних консолей	+	+	+
28	Руйнування бортів плити баластового корита прогінних будов	+	+	+
29	Відколи і раковини в бетоні з оголенням робочої арматури	+	+	+

Стан арматури прогінної будови

30	Корозія хомутиків прогінної будови	+	+	+
31	Корозія робочої арматури нижнього поясу прогінної будови	+	+	+
32	Корозія арматури плити баластового корита прогінної будови	+	+	+
33	Обрив арматури в зоні шарнірів консолей прогінних будов системи Артамонова	+	+	+

1	2	3	4	5
34	Розрив окремих стержнів робочої арматури прогінних будов	+	+	+
Тріщини у елементах прогінних будов				
35	Незафарбовані тріщини з розкриттям до 0,3 мм	-	+	-
36	Усадочні тріщини в елементах прогінних будов	-	+	-
37	Силові тріщини в нижніх поясах прогінних будов з розкриттям до 0,3 мм	+	+	+
38	Нахилені тріщини по стінці ребра в зонах обпирання	+	+	+
39	Вертикальні тріщини по стінці ребра прогінної будови	+	+	+
40	Вертикальні тріщини, які переходять в плиту баластного корита	+	+	+
41	Поздовжні тріщини в консолях плити баластного корита	+	+	+
42	Поперечні тріщини в консолях плити баластного корита	+	+	+
43	Тріщини в плиті баластового корита на ділянці між ребрами	+	+	+
44	Поздовжні тріщини біля примикання ребра до плити баластного корита	+	+	+
45	Поздовжні тріщини в нижніх поясах прогінних будов	-	+	-
46	Горизонтальні тріщини на торцевих ділянках балок	-	+	-
47	Тріщини в зонах розташування опорних частин	+	+	-
48	Тріщини в зонах омоноличування елементів прогінних будов	-	+	-
49	Поздовжні тріщини в бортах плити баластного корита	+	+	+
50	Тріщини в діафрагмах прогінних будов	-	+	-
Верхня будова залізничної колії				
51	Дефекти залізобетонних плит безбаластового мостового полотна (БМП), які потребують їх заміни	+	+	+
52	Руйнування прокладного шару між плитами безбаластового мостового полотна (БМП) і верхніми поясами балок		+	

1	2	3	4	5
Сталобетонні прогінні будови				
53	Застій води в плиті баластового корита і забруднення конструкцій	-	+	-
54	Упирання прогінних будов одне в одне або у шафову стінку стоянів при прогонах до 23 м	+	-	+
55	Провисання прогінної будови	+	+	+
56	Втрата будівельного підйому (без провисання прогінної будови)	+	+	+
57	Розлад у конструкціях упорів плити баластового корита	+	+	+
58	Руйнування бетону швів омоноличування у швах сполучення секцій збірної плити баластового корита до верхніх поясів головних балок	+	+	+
59	Клас прогінної будівлі нижче класу навантаження	+	+	+
60	Негабаритність прогінної будови	+	-	+
Залізобетонні прогінні будови				
61	Відсутні або пошкоджені водовідвідні трубки, незамазані отвори навкруги водовідвідних трубок, не замазані стропові отвори	-	+	-
62	Місцями оголена іржава розподільча арматура	-	+	-
63	Тріщини у тротуарних частинах консолей		+	+
64	Корозія (до 20 % площі) оголеної робочої арматури	+	+	-
65	Поздовжні і поперечні тріщини у консолях із вилуженням розчину	+	+	+
66	Не змінювані під навантаженням незароблені тріщини розкриттям більше 1 мм	+	+	-
67	Недостатня ширина деформаційних швів	+	-	+
68	Відсутність листів, які перекривають деформаційні зазори	-	-	+
69	Нахил відкидних консолей, тріщини у корні консолей	+	+	+
70	Тріщини, які змінюють своє розкриття під навантаженням	+	+	+
71	Наявність поперечних тріщин розкриттям більше 0,2 мм у попередньо напружених прогінних будовах	+	+	+

1	2	3	4	5
72	Клас прогінної будови нижче класу рухомого складу	+	+	+
Кам'яні і бетонні арокні мости				
73	Радіальні тріщини в арках, більше 60 % перерізу	+	+	+
74	Радіальні тріщини в арці, від 44 до 60 % перерізу	+	+	+
75	Радіальні тріщини в арці, до 44 % перерізу	+	+	+
76	Тріщини, які пересікають склепіння під гострим кутом більше 51 % перерізу	+	+	+
77	Тріщини, які пересікають склепіння під гострим кутом від 32 до 51 % перерізу	+	+	+
78	Тріщини, які пересікають склепіння під гострим кутом до 32 % перерізу	+	+	+
79	Тріщини, які розшаровують склепіння більше 60 % перерізу	+	+	+
80	Тріщини, які розшаровують склепіння від 25 до 60 % перерізу	+	+	+
81	Тріщини, які розшаровують склепіння до 25% перерізу	+	+	+
82	Тріщини між аркою і надарочною будівлею з розкриттям більше 8,5 мм	+	+	+
83	Тріщини між аркою і надарочною будівлею розкриттям від 3,6 до 8,5 мм	+	+	
84	Тріщини між аркою і надарочною будівлею розкриттям до 3,6 мм	-	+	-
85	Тріщини у надарочній будові більше 6,3 мм	+	+	+
86	Тріщини у надарочній будові від 3,1 до 6,3 мм	+	+	-
87	Тріщини у надарочній будівлі до 3,1 мм	-	+	-
88	Випирання надарочної будівлі більше 54 мм/м	+	+	+
89	Випирання надарочної будови від 30 до 54 мм/м	+	+	-
90	Випирання надарочної будови до 30 мм/м	-	+	-
91	Сколи і руйнування кладки глибиною більше 10 мм	+	+	+
92	Сколи і руйнування кладки глибиною від 5 до 10 мм	+	+	-

1	2	3	4	5
93	Сколи і руйнування кладки глибиною до 5 мм	-	+	-
94	Вилуговування розчину кладки при окремих патьоках	-	+	-
95	Вилуговування розчину кладки при суцільних патьоках	+	+	-
96	Руйнування розчину на значній частині прогінної будови	+	+	+
Опорні частини прогінних будов				
97	Нещільне обпирання прогінних будов на опорні частини	-	+	+
98	Забруднені, незмащені, непофарбовані опорні частини, відсутність футлярів	-	+	-
99	Незатягнуті або відсутні гайки анкерних болтів	-	+	+
100	Наявність дерев'яних підфермених брусів висотою більше 40 см	-	+	+
101	Виколі і тріщини в опорних плитах	+	+	+
102	Підріз більше 2 мм упорних зубців секторних опорних частин	-	-	+
103	Слабі або частково відсутні анкерні болти опорних частин	-	+	+
104	Невідповідність типу опорних частин типу прогінної будови	-	-	+
105	Опорні частини не прикріплені до прогінних будов і опор	+	-	+
Залізобетонні опори мостів і шляхопроводів				
106	Забруднення підфермених площадок і зливів	-	+	-
107	Дефекти (дрібні тріщини і раковини) поверхні верхніх площадок опор, підфермеників, зливів	-	+	-
108	Нещільності до 2 мм в обпиранні підфермених блоків (каменів)	-	+	+
109	Підферменики з окремими тріщинами, які мають розкриття до 0,3 мм і розташовані за межами зони розподілення тиску опорними частинами	+	+	+
110	Тріщини, які сколюють підфермені площадки, вертикальні тріщини у верхніх частинах опор	+	+	+
111	Руйнування бетону підфермеників (опорна частина втплена у блок) з утворенням сколів і тріщин	+	+	+

1	2	3	4	5
112	«Гра» підфермених блоків, тріщини, які змінюють своє розкриття під навантаженням	+	+	+
113	Тріщини по швам бетонування	+	+	-
114	Тріщини до 5,4 мм у зворотних стінках устоїв	+	+	+
115	Незмінні тріщини у насадках і палях розкриттям до 1 мм	-	+	-
116	Тріщини на передній стінці устоїв із-за деформації фундаментів	+	+	+
117	Тріщини у насадках і палях, які змінюються під навантаженням	+	+	+
118	Тріщини у корні консолей устоїв, руйнування бетону консолей	+	+	+
119	Тріщини розкриттям більше 7,6 мм у бокових стінках устоїв	+	+	+
120	Наскрізнi тріщини у бокових і передніх стінках устоїв	+	+	+
121	Вивітрілі шви, сліди вилуження по швам облицювання	-	+	-
122	Розладнання каменів облицювання	+	+	-
123	Недопустима деформація стоякових опор	+	+	+
124	Глибинне розладнання кладки, інтенсивне вилуження розчину, мокрі смуги вилуження	+	+	+
125	Пусті шви у плитному мостінні конусів	+	+	+
126	Не обсіпані ґрунтом фундаменти опор, відсутність гідроізоляції	+	+	-
127	Відсутність або порушення мостіння конусів устоїв при відсутності впливу водного потоку	+	+	+
128	Несправність сполучення насипів з устоями. Необхідність подовження зворотних стінок устоїв, досипка баласту. Наявність дефектів у елементах подовження	+	+	+
129	Підмив конусів водним потоком	+	+	+
130	Випинання до 41 мм/м зворотних стінок устоїв		+	+
131	Випинання 41...72 мм/м зворотних стінок устоїв з утворенням наскрізних тріщин розкриттям 5,4–7,6 мм	+	+	+

1	2	3	4	5
132	Випинання (більше 72 мм/м довжини стінки) бокових стінок устоїв з утворенням наскрізних тріщин і вилу- женням розчину	+	+	+
133	Порушення штукатурки. Раковини, відшарування	-	+	-
134	Відсутність окремих елементів перильного огороження на опорах і спусках на опори	-	-	+
Галереї, залізничні і пішохідні тунелі				
135	Випадіння або послаблення окремих каменів кладки у склепінні	+	+	+
136	Ненаскрізнi вивали в облицюванні стін тунелю, галереї	+	+	+
137	Руйнування швів кам'яного або збірного облицювання	+	+	+
138	Наявність замкнутих поперечних тріщин, які збільшу- ються у своїх розмірах	+	+	+
139	Деформація зворотного склепіння	+	+	+
140	Наявність поздовжніх і косих тріщин, які не збільшуються у своїх розмірах	-	+	-
141	Наявність поздовжніх і косих тріщин, які збільшуються у своїх розмірах	+	+	+
142	Наскрізнi вивали в облицюванні тунелю і ненаскрізнi ви- вали у склепінні	+	+	+
143	Відлущення кладки або захисного шару	-	+	-
144	Течі та капання води із попаданням вологи на пристрої контактної мережі	-	+	+
145	Винесення ґрунту із-за облицювання	+	+	+
Водопрпускні труби				
146	Порушення штукатурки тіла труби і головків	-	+	-
147	Незашпаровані тріщини, які стабілізувалися, відколи, ого- лення арматури в елементах конструкцій труб	-	+	-
148	Місцеве руйнування лотка труби, наявність зворотних ухилів і застій води	-	+	-
149	Окремі смуги вилуження розчину із тіла труби	+	+	-
150	Зруйнований на довжині 5...10 м лоток труби	+	+	-

1	2	3	4	5
151	Відсутність головків, головочних блоків	+	+	+
152	Низькі кордонні камені головків	-	+	+
153	Незашпаровані тріщини в конструкціях труб і головків з можливістю подальшого розвитку	+	+	-
154	Ослаблення кладки з вивалом окремих каменів	+	+	+
155	Незашпаровані шви між кільцями і секціями труби розкриттям 2–5 см без просипання ґрунту	-	+	-
156	Тріщини у тілі труби і головків, які збільшують своє розкриття під навантаженням	+	+	+
157	Вивітрювання цегляної, кам'яної кладки, вивали більше 2 м довжиною і 40 см глибиною	-	+	-
158	Деформації конструкцій труб і головків	+	+	+
159	Деформації і просадки труб, які потребують введення обмеження швидкості поїздів	+	+	+
160	Просипання ґрунту насипу у шви між секціями або кільцями труб під колією	+	+	+
161	Замулювання русла. Зменшення отвору труби до 20 % наносами, сміттям, наледями без виникнення підпору	-	+	-
162	Розмиви підводящих та відводящих русел за межами мостіння	-	+	-
163	Місцеві деформації мостіння по укосам і руслам без підмиву	-	+	-
164	Пересипане ґрунтом русло нижче труби	-	+	+
165	Розмив русла на вході і виході труби	+	+	+
166	Зменшення отвору труби (від 20 до 50 %) наносами, наледями, сміттям	+	+	+
167	Пересипане ґрунтом русло вище труби	-	+	-
168	Просочування води під мостінням, секціями, кільцями, а також мимо труби	-	+	+
169	Збільшення крутизни укосів земляного полотна із-за недостатньої довжини труб, відсутність узбіччя земляного полотна	-	+	-

1	2	3	4	5
170	Зменшення отвору труби більше 50 % наносами, наледями, сміттям при небезпеці переливу води через насип або її підмиву	+	+	+
171	Підмив фундаментів труб	+	+	+
172	Сповзання укосів насипу біля труби	+	+	+

3.2. Характерні дефекти і причини їх утворення на конструкціях штучних транспортних споруд

Характерні дефекти і причини їх утворення на конструкціях бетонних і залізобетонних транспортних споруд, наведені нижче.

Виступи на поверхні бетону утворюються в результаті неправильної установки опалубки, недостатньої її жорсткості або низької якості.

Напливи з бетону або розчину утворюються при недостатній герметичності опалубки.

Недостатня товщина або відсутність захисного шару спостерігається при неправильній установці або зсуві опалубки, зриві захисного шару, відсутності прокладок, «сухарів» і т. ін. (рис. 3.2 і 3.3).

Раковини на поверхні бетону утворюються в результаті нестачі розчину, скупчення води і повітря поблизу опалубки, недостатнього ущільнення бетону (рис. 3.4 і 3.5).

Значна щебенистість бетону виникає при розшаруванні бетонної суміші, її невиправдано високої жорсткості, витіканні цементного молока і т. ін.

Порожнини в бетоні утворюються через зависання бетонної суміші на арматурі і опалубці, а також у місцях влаштування технологічних швів, при передчасному тужавленні раніше укладеного бетону і недостатній підготовці основи при укладанні верхніх шарів бетону (рис. 3.6).

При недостатньому вологісному догляді за бетоном утворюються усадкові тріщини (рис. 3.7).



Рис. 3.2. Ділянка залізобетонної конструкції
з оголеною арматурою

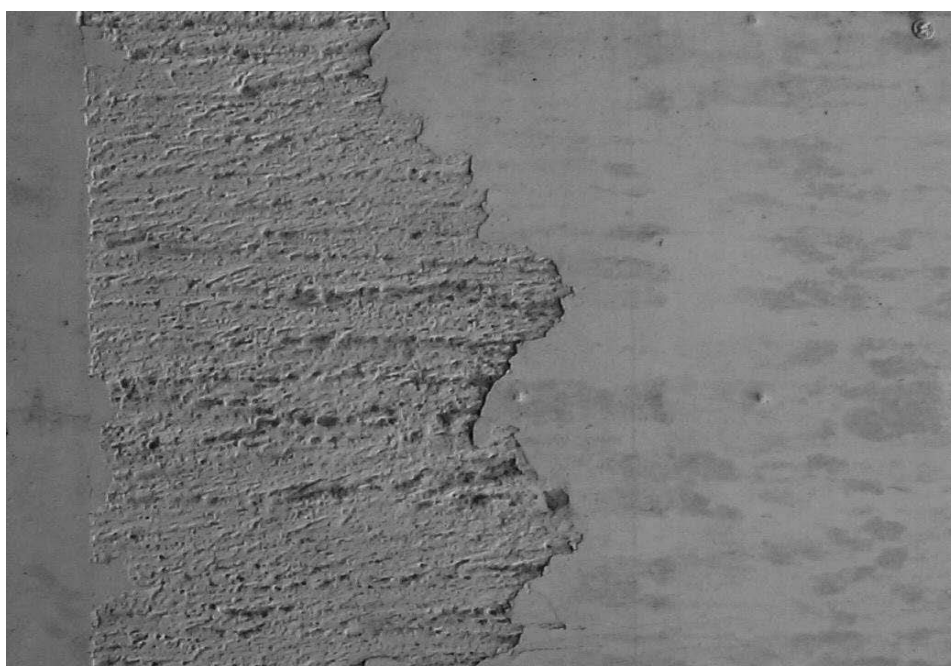


Рис. 3.3. Зрив захисного шару бетону



Рис. 3.4. Щебенистість на поверхні стіни та порожнини незаповнені бетоном



Рис. 3.5. Нещільності в бетоні, викликані порушенням технології ущільнення



Рис. 3.6. Зависання бетонної суміші в зоні «сухарів»



Рис. 3.7. Усадкові тріщини на бетонній поверхні
транспортної споруди

При будівництві в бетонних конструкціях виникають тріщини різного походження: конструктивні, технологічні та організаційно-технологічні.

При виконанні робіт з лікування тріщин завжди потрібно враховувати, що всі наскрізні технологічні температурні тріщини, що виникли в зоні защемлення, а також тріщини в зовнішніх стінах, що виникли в робочих швах, слід лікувати в весняний або осінній періоди року, коли температура навколишнього повітря становить $+6...10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура бетону не перевищує $+8...10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Тріщини конструктивного походження, викликані завищенням допустимих відстаней між температурно-деформаційними швами, слід лікувати восени або навесні.

Тріщини, що виникли в процесі будівництва і не змінюють величини свого розкриття при підвищенні температурних і будівельних навантажень без додаткових перевантажень, при використанні традиційних ремонтних матеріалів допускається лікувати в міру їх виникнення відповідно з необхідністю і можливостями будівельної організації при температурі бетону не нижче $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При експлуатації маломасивних опор і ригелів найчастіше зустрічається руйнування захисного шару, оголення арматури і корозія арматури (рис. 3.8, 3.9).



Рис. 3.8. Руйнування бетону в прогоновій будові

При експлуатації масивних опор спостерігають значна кількість різних пошкоджень. Наприклад, при обстеженні фахівцями опор моста, де не здійснювалося поточне технічне утримання конструкцій протягом 15 років, виявлено значну кількість різних дефектів [2, 3, 5, 14]:

- поодинокі силові тріщини у контурних блоках;
- групові силові тріщини в оголовках опор;
- температурно-усадочні тріщини в оголовках опор, шафових стінах, задніх гранях засад;
- усадкові тріщини в ростверку, контурних блоках, крилах засад;
- відколи у контурних блоках і крилах засад;
- відшарування захисного шару в контурних блоках;
- вилуговування в ядрі тіла опор і оголовках, ригелях, опорних тумбах;
- раковини і каверни у контурних блоках, опорних тумбах;
- точкове світіння арматурних елементів у контурних блоках.



Рис. 3.9. Руйнування бетону маломасивної опори з оголенням і корозією арматури

При обстеженні прогонових будов мостів і шляхопроводів спостерігається руйнування захисного шару бічних поверхонь балок, наявність тріщин на нижній і бічних поверхнях балок, значне пошкодження консолей (рис. 3.10).



а



б



в



г

Рис. 3.10. Руйнування захисного шару конструкцій:

а – опори; *б* – опори ЛЕП; *в* – балки

При обстеженні конструктивних елементів мостів значні пошкодження бетону виявлено у зоні розташування температурно-деформаційних швів і в зонах, де пошкоджена гідроізоляція й інші покриття [2] (рис. 3.11).

При обстеженні бетону покриттів автомобільних доріг і злітно-посадкових смуг найчастіше зустрічаються пошкодження поверхневого шару і в зоні різних видів швів (рис. 3.12).

На автомобільних дорогах, крім того, часто спостерігається прискорене руйнування бордюрного каменю.

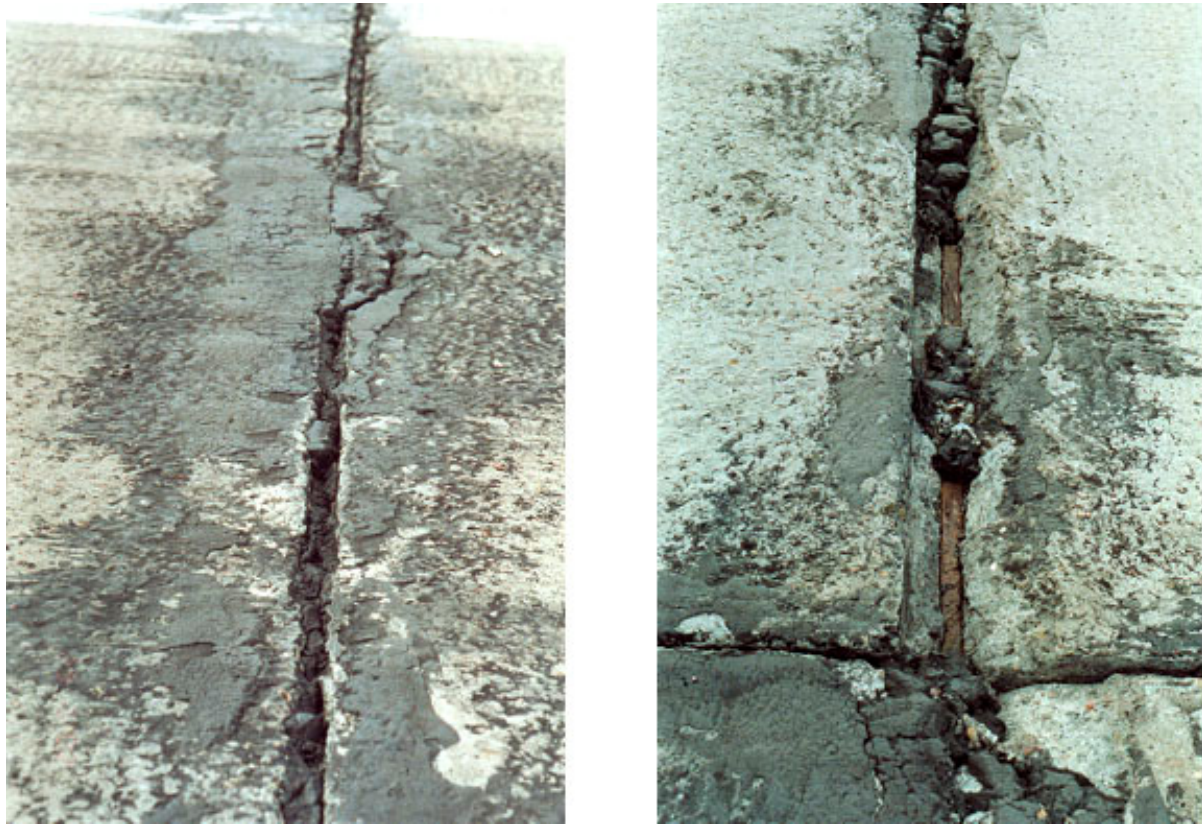


Рис. 3.11 Разгерметизація деформаційних швів

На різних об'єктах можуть спостерігатися й інші види руйнувань. Всі вони повинні відображатися в дефектних відомості і картах і по кожному з них слід приймати конкретне рішення з ремонту.

При утриманні автомобільних мостів проводять класифікацію ремонтних робіт, пов'язаних з витратами на їх виконання. Зокрема, до утримання моста запропоновано відносити роботи, вартість яких не перевищує 5 % від вартості будівництва (балансової вартості), до дрібного ремонту – до 25 %, до середнього ремонту – до 50 %, до капітального ремонту – до 75 %, до реконструкції – понад 75 %. Досвід експлуатації споруд протягом останніх 20 років показав, що фактичні вартості робіт укладаються в запропоновані вище інтервали.

а



б



Рис. 3.12. Пошкодження поверхневого шару
і швів покриттів автомобільних доріг (*а*)
і злітно-посадкових смуг (*б*)

3.3. Аналіз дефектів бетонних та залізобетонних конструкцій та їх класифікація за впливом на довговічність штучних транспортних споруд

Для аналізу впливу дефектів на довговічність штучної споруди нижче наведені причини виникнення самих дефектів. З великої кількості причин виникнення дефектів основними слід вважати наступні:

- нестійкість бетону та залізобетону до впливу навколишнього середовища, яке з часом стає більш впливовим;
- корозія арматури залізобетонних конструкцій;
- вплив фізичних факторів на конструкцію в цілому або на її складові;
- помилки при проектуванні;
- порушення технології будівництва;
- неякісне поточне утримання та експлуатація споруди в цілому.

Нестійкість бетону та залізобетону до впливу навколишнього середовища характеризується тим, що з часом властивості всіх матеріалів змінюються. Реальний строк експлуатації залізобетонних конструкцій саме залежно від умов навколишнього середовища може знижуватись з 70–80 років до 30–40 років.

Довговічність бетону залежить від двох основних показників які можна проконтролювати, а саме – *карбонізації та непроникності*.

Карбонізація передбачає зміни з часом хімічної структури бетону яка приводить до активізації процесу корозії арматури, а непроникність характеризує здатність бетону протистояти проникненню вологи крізь товщу конструкції певний термін часу.

Структура цементного каменю пориста і не може не пропускати вологу зовсім.

Основним фактором, за рахунок якого бетон набуває більшої міцності, є водоцементне відношення. Вважається що оптимальною величиною водоцементного відношення є величина 0,4.

Бетон є лужним матеріалом. Процес карбонізації впливає на лужність бетону. Лужність вимірюється за допомогою водневого показника рН. Залежно від показника рН матеріали і саме середовище можуть бути кислими ($\text{pH} < 7$), нейтральними ($\text{pH} = 7$) та лужними ($\text{pH} > 7$). Вважається, що карбонізація та корозія арматури почина-

ються при досягненні значення $pH = 9$. Лужний характер бетону є основним фактором захисту арматури від корозії.

В результаті корозії арматура збільшується за об'ємом і розриває захисний шар бетону. Відколювання захисного шару бетону свідчить про те, що арматура повністю або частково кородувала. Ознакою останньої стадії карбонізації є поява тріщин уздовж арматурних стержнів. На інтенсивність карбонізації впливають підвищена температура, висока вологість повітря, значна концентрація агресивних газів, високе водоцементне відношення, зavelика кількість цементу та порушення технології. Час повної карбонізації суттєво залежить від товщини захисного шару, а тому у літературних джерелах рекомендується його збільшення в 1,5...2,0 рази.

Корозія арматури у залізобетонних конструкціях як правило є електрохімічною яка виникає під впливом електролітів (вода, кисень, кислота та ін.). В умовах експлуатації штучних споруд між двома металами, які перебувають у контакті, виникає електрохімічна взаємодія. У конструкціях штучних споруд маловуглецева сталь є анодом по відношенню до низьколегованої.

Арматуру захищає від корозії захисний шар. Якщо бетон карбонізує (pH зменшується до 9) починається процес корозії.

Другою причиною виникнення корозії є тріщини. Руйнування захисного шару та поява тріщин приводить до проникнення кисню і початку електрохімічної корозії. Швидкість корозії в основному залежить від кількості кисню, що проникає у конструкцію, та самої проникності. Корозія арматури приводить до зменшення площі її перерізу і як результат до зменшення несучої здатності.

Корозія бетону виникає внаслідок вилуговування вапна. Оскільки вапно є складовою практично усіх цементів, то цей процес є дуже небезпечним для бетону. В процесі вилуговування у розчині бетону починається руйнування інших гідратів. Зовнішньою ознакою корозії бетону є білий наліт на поверхні конструкції у місцях виходу вологи. Сам білий наліт є не що інше, як осадил солей гідрату окису кальцію, які розчинені у бетоні.

Вилуговування перших 16 % вапна приводить до втрати 20 % міцності, а 14 % послідуєчих до втрати 50 % міцності. Повне руйнування бетонної або залізобетонної конструкції настає при вилуговуванні 50 % вапна.

Вплив фізичних факторів характеризується кавітацією (місцеве порушення суцільності плинущу), стиранням водою з наносами, замерзанням та відтаюванням, агресивністю навколишнього середовища (водне та ґрунтове).

Кавітація виникає у тому випадку коли швидкість плинущу води стає більшою ніж 15 м/с. У цьому випадку поглиблення та нерівності на поверхні опори приводять до кавітації. Біля конструкції утворюються маленькі бульби, які лопаються і викликають у потоці води ударну хвилю. Серія таких ударів руйнує не тільки бетон, а навіть метал. Поверхня такої конструкції має шорсткий вигляд і вкрита зазубринами.

Стирання водою з наносами відбувається внаслідок дії плинущу води, яка несе з собою пісок та гравій, які в даному випадку діють як терпуг. В результаті тривалої дії значна площа підводної частини конструкції може бути зруйнована. Інтенсивність стирання залежить від швидкості плинущу, від фракції піску, гравію та інших включень.

Періодичне замерзання та відтаювання приводить до руйнування та відшарування поверхневих площ бетонних конструкцій. Оскільки бетон є пористим матеріалом то волога, що проникає у поверхній шар при замерзанні розширюється і відриває частки бетону товщиною до 20 мм.

Агресивні середовища поділяються за складом на три типи: тверді (пил, ґрунти), рідинні (розчини кислот, лугу, солей та нафти, масла, бензин), газові (сполуки сірководню, сам вуглець, сірчистий газ). Дія всіх з них впливає на довговічність конструкції.

Повітряне середовище впливає на стан конструкції через наявність в атмосфері пилу, газів, хімічних речовин, через зміну температури, радіацію. Повітряне середовище діє на прогонові споруди та опори вище рівня води. Штучні споруди, що розташовані у зонах промислових підприємств руйнуються значно інтенсивніше ніж ті що розташовані у сільській місцевості.

Ґрунтове та водне середовище впливає на частину опори, що лежить нижче рівня води та фундаменту. Крім показника кислотності значно впливають на стан бетону присутність у воді кислот: сірчиста, сірчана та вуглекислота. Дія кислот під час хімічної реакції руйнує бетон. Під час реакції утворюється алебастр з надлишками води, який майже на розчиняється у воді і вимивається з бетону.

При наявності сульфатів середовище стає агресивним і навіть надто агресивним, оскільки сульфати сприяють кристалізаційному руйнуванню бетону.

Помилки на стадії проектування в основаному виникають з причини не враховування умов будівництва та експлуатації. З основних помилок, які згодом впливають на довговічність та несучу здатність можна відмітити такі:

- заниження товщини захисного шару бетону, що приводить до його руйнування а також сприяє більш інтенсивній корозії арматури;
- застосування консольних та ригельних опор, що приводить до появи тріщин у нижній зоні ригеля (насадки);
- неякісне рішення по водовідводу, а саме недостатня довжина водовідвідних трубок, занижений діаметр;
- погане рішення відносно улаштування деформаційних зазорів між торцями прогонових будов, або між прогоновою будовою і шафвою стінкою стояна;
- невдале рішення перекриття поздовжніх швів Т-подібним металевим листом, внаслідок чого вода переливається через бортик блока прогонової будови і стікає по його поверхні, викликаючи вилугування розчину і сприяє корозії робочої та розподільчої арматури.

Дефекти будівництва у більшості випадків складають близько 70 % від загальної кількості дефектів, що має конструкція. Дефекти будівництва обумовлені в основному відступом від проектних рішень, застосуванням неякісних матеріалів, порушенням технологій виробництва. В перелік дефектів на даній стадії відносять:

- порушення правил технології виготовлення конструкцій та будівництва в цілому;
- неточність монтажу, яка приводить до появи додаткових зусиль від ексцентричного навантаження;
- неякісне замоноличування отворів навкруги трубок (вилугування бетону, корозія арматури плити);
- занижений клас бетону (напрямую впливає на довговічність та несучу здатність);
- відхилення від проекту під час занурення паль приводить до відхилення осей обпирання прогонових будов і до виникнення в опорі додаткових не врахованих зусиль;
- зміщення діафрагм та неякісне їх об'єднання у плані приводить до неможливості зварювання закладних деталей взагалі або до

неякісного об'єднання, а застосування додаткових оцупків у більшості випадків не дає якісного результату;

- завищення та заниження висотних відміток окремих елементів та всієї конструкції приводить до збільшення постійного навантаження на несучі конструкції;

- неякісна гідроізоляція напряду впливає на довговічність конструкції оскільки через неякісну гідроізоляцію волога проникає у бетон конструкції, викликає вилуговування розчину і руйнує арматуру внаслідок корозії;

- використання неякісних матеріалів, або матеріалів, які непридатні для влаштування гідроізоляції елементів штучних споруд.

Дефекти, які виникають в процесі експлуатації з'являються, як правило вже у перші роки після введення споруди в експлуатацію, оскільки більшість із них закладена вже на стадії проектування і, особливо, під час виготовлення і монтажу конструкцій. Найбільш важливими із них слід вважати:

- механічні пошкодження прогонових будов (сход рухомого складу, удари негабаритними вантажами): відколи, тріщини, руйнація захисного шару, порушення гідроізоляції, пробоїни у стінках головних балок, розрив стержнів робочої арматури тощо;

- механічні пошкодження опор (провезення негабаритних вантажів, навал суден, дія криг, корчів та інших предметів під час повені або паводку, підмив фундаментів опор);

- деформація прогонових будов в результаті процесів усадки та повзучості бетону, розвиток тріщин, розшатування анкерів арматури;

- порушення цілісності гідроізоляції внаслідок чого відбувається просочування вологи у тіло прогонових споруд, вилуговування розчину, корозія арматури;

- переміщення опор, особливо стоянів (недостатня несуча здатність основи, підмив фундаментів, збільшення тиску ґрунту) приводить до зменшення зазорів між торцями прогонових будов, упирання прогонової будови в шафову стінку;

- провисання прогонової будови без втрати або з втратою будівельного підйому (в основному сталебетонних прогонових будов) в результаті порушення цілості анкерів між сталеву балкою та залізобетонною плитою або порушення цілісності самої залізобетонної плити;

– недостатня рухомість опорних частин приводить до появи значних горизонтальних зусиль, що впливають на виникнення тріщин у боковій стінці стояна;

– нещільне обпирання опорних частин на підферменики (тріщини у підферменниках опорних плитах, розшарування кладки опор та ін.);

– дефекти водопропускних труб у більшості своїй з'являються в результаті неякісного будівництва та утримання. До основних дефектів можна віднести: тріщини у ланках та головках, розкриття швів між ланками, просадка окремих ділянок труби, порушення цілісності головок, порушення гідроізоляції, порушення цілісності кладки, вимивання ґрунту з під труби та біля труби.

При недостатній товщині захисного шару і низькій якості бетону волога просочується до арматури. Це приводить до корозії арматури і руйнуванню захисного шару бетону, внаслідок чого він відшаровується, а арматура оголюється. Такі пошкодження зустрічаються в прогонових будовах, при бетонуванні яких для прискорення твердіння бетону вводили добавки хлористого натрію або хлористого кальцію.

Відшарування захисного шару бетону залізобетонних штучних споруд впливає на довговічність прогонових будов і опор оскільки дає змогу волозі проникати до розподільчої та робочої арматури, що в свою чергу приводить до її корозії, зменшення діаметру та розрахункової площі арматури.

Вивітрювання поверхонь опор відбувається внаслідок тривалої експлуатації особливо у перерізі, де рівень води не постійний. Ознакою такого дефекту є лущення поверхонь (відділення дрібних лещадок). Порушення поверхового шару приводить до повного його руйнування і згодом дістає поверхні арматури, яка з часом інтенсивно кородує.

У рівні льодоходу можливі вибоїни, вивали, а також відшарування поверхового шару. Значний вплив у цьому випадку має хімічна агресивність, удари плаваючими предметами. Вивали та вибоїни можуть значно знизити несучу здатність опори, а відшарування поверхового шару приводить крім того до корозії арматури, що також знижує несучу здатність та довговічність.

Переміщення опор можуть проходити з різних причин, а саме: підмив опор, недостатня несуча здатність основи, збільшення горизонтального тиску ґрунту, сповзання ґрунтових масивів. Даний

дефект може значно знизити несучу здатність опори, або привести до припинення руху поїздів (нахил опори, просідання).

Переміщення проміжних опор і, особливо, стоянів приводить до упирання прогонової будови у шафову стінку і потребує вилучення кладки устою, скорочення довжини консолей або пересування прогонової споруди.

Пошкодження бетонних та залізобетонних штучних споруд неминуче супроводжується тріщиноутворенням. Визначення причин утворення тріщин найважливіший момент у загальній проблемі їх ремонту. Тріщини не обов'язково свідчать про руйнування конструкції.

Причини виникнення тріщини можуть бути встановлені тільки після детального обстеження конструкції. Практика експлуатації показує, що тріщини з'являються незважаючи на те, що конструкція запроектована згідно норм. Це в свою чергу можна пояснити такими факторами:

- корозія арматури в процесі карбонізації відбувається приховано і за 2–3 роки (до повного відколювання захисного шару) настільки збільшується за обсягом, що починає розривати бетон навколо себе;

- у попередньо-напружених прогонових спорудах в реальних умовах експлуатації втрати попередньої напруги не відповідають теоретичним, що пов'язано з емпіричністю формул, за якими визначаються втрати.

Першопричиною виникнення тріщин може бути як неякісне виготовлення, будівництво, прорахунки проєктантів, так і вплив навколишнього середовища тощо.

Умовно всі тріщини поділяють на три категорії: такі, що не знижують довговічність, такі, що знижують довговічність і такі, що знижують несучу здатність. Тріщина як правило поступово переходить з однієї категорії до іншої і перетворюється з тріщини, що не впливає на початку навіть на довговічність, а з часом вже суттєво впливає на несучу здатність.

Класифікація тріщин за впливом на довговічність та несучу здатність наведено у табл. 3.5.

Тріщини усадки бетону взагалі не загрожують стану залізобетонної конструкції, але слід мати на увазі, що досить часто усадочні тріщини сприяють виникненню силових тріщин, або самі переходять в силові.

Класифікація тріщин за впливом на довговічність та несучу здатність

Характер тріщини	Причини виникнення	Вплив на стан конструкції
Усадочні поверхневі тріщини	Високий відсоток вмісту цементу у бетоні, стислість усадки	Не впливають на довговічність
Похилі тріщини в опорних зонах	Високий рівень головних напруг розтягу	Знижують несучу здатність
Поздовжні тріщини в місцях сполучення плити і балки	Результат порушення технології виробництва	Знижують несучу здатність
Поперечні тріщини у верхній зоні прогонової будови	Збільшення початкових контрольних напруг, або порушення технології будівництва	Знижують довговічність або несучу здатність
Поперечні тріщини у розтягнутій зоні прогонової будови	Завищений рівень напруги розтягу від тимчасового навантаження	Знижують довговічність, а при корозії арматури і несучу здатність
Поздовжні тріщини у нижній розтягнутій зоні прогонової будови	Надмірне обтискування бетону, карбонізація захисного шару	Знижують довговічність, а при корозії і несучу здатність
Тріщини у зоні опорних частин	Неякісна робота або заклинювання опорних частин	Знижує довговічність
Тріщини у зоні відводу пучків до опор	Місцеві напруги у конструкціях, які не мали місцевого армування в зоні анкерів	Знижує довговічність
Поперечні тріщини в склепінних арок	Деформації опор прогонової будови	Знижує довговічність та несучу здатність

Характер тріщини	Причини виникнення	Вплив на стан конструкції
Глибокі наскрізні тріщини в стояках мостів	Надмірна зволоженість насапу	Впливає на довговічність
Вертикальні тріщини в тілі опор і стояків в місцях опорних частин	Заклинювання опорних частин	Впливає на довговічність
Вертикальні тріщини в тілі масивних опор і стояків	В результаті напруги розтягу у верхній зоні опор	Знижує несучу здатність
Тріщини у ригелях та у верхній частині масивних опор	Спирання прогонової будови на ригель або підферменник надто близько до її краю	Впливає на несучу здатність
Поверхневі тріщини у стояках опор	Різниця температур масивної частини опори та стояків	Не впливає
Тріщини у тілі масивних опор та льодорізів	Навал суден, льодохід, корчохід, підмив	Впливає на довговічність
Поверхові неглибокі сколи бетону	Тривала перерва у бетонуванні, зчеплення бетону з опалубкою, велике насичення арматурою	Накопичення вологи, вилугування бетону
Внутрішні раковини	Скидання бетону з висоти, недостатнє ущільнення при вібруванні бетону	Зниження вантажопідйомності
Оголення та корозія арматури	Надмірне насичення арматурою, неадекватне ущільнення бетону, карбонізація захисного шару, недостатня товщина захисного шару	Зниження несучої здатності

Закінчення табл. 3.5

Характер тріщини	Причини виникнення	Вплив на стан конструкції
Корозія бетону (вилуговування)	Неякісна гідроізоляція, протікання води через неї	Зниження довговічності (з часом несучої здатності)
Низька міцність бетону споруди	Низька якість виконання робіт, відсутність тепляків за від'ємних температур при бетонуванні, заморозування бетону	Знижує довговічність
Зміщення діафрагм у плані та профілі	Дефект виготовлення або виконання робіт, розбіжності у геометричних розмірах	Знижує несучу здатність з умов зміни розподілу навантаження

Не силові тріщини розкриттям до 0,2 мм допускаються нормативним документом СНиП 2.05.03-84. Припускається, що при такій величині розкриття, волога, що попадає на поверхню залізобетонної конструкції, не досягає через тріщини поверхні розподільчої та робочої арматури і не викликає її корозії.

У випадках, коли *захисний шар бетону менше ніж 3 см*, волога просочується через захисний шар, а наявність таких тріщин сприяє змочуванню арматури і, згодом, безперечно впливає на довговічність.

Не силові тріщини розкриттям більш ніж 0,2 мм вважаються недопустимими і є такими, що впливають на довговічність залізобетонної конструкції штучної споруди. Вплив на довговічність у цьому випадку здійснюється за рахунок проникнення вологи до робочої та розподільчої арматури, яка починає кородувати і в наслідок цього зменшується розрахункова площа робочої та розподільчої арматури.

Не силові тріщини розкриттям 0,2 мм і більше в залізобетонних конструкціях мостів із попередньо напруженою арматурою не допускаються ні в якому разі. Вважається, що навіть при такій малій величині розкриття тріщини, волога, що попадає на поверхню залізобетонної конструкції, досягає через тріщини поверхні арматури із дровових пучків, окремих дротин або канатів і викликає її корозію. Оскільки складові дротинки пучків або канатів попередньо напруженої арматури мають невеликий діаметр, то у разі їх корозії загальна несуча здатність попередньо напруженої арматури зменшується досить швидко і довговічність такої конструкції стає надзвичайно малою.

Похилі тріщини в стінках балок особливо небезпечні в попередньо напружених прогонових будовах, тому що вони можуть значно знизити вантажопідйомність споруди.

Подовжні тріщини в місцях сполучення плити баластного корита із стінками балок відносяться до категорії небезпечних, тому що значно знижують несучу здатність прогонової будови. Головною причиною утворення цих тріщин вважається порушення технології виготовлення ребристих прогонових будов.

Поперечні тріщини в плиті баластного корита виникають у попередньо напружених прогонових будовах внаслідок перетяжки нижньої поздовжньої арматури і дії згинальних моментів, що виникають при монтажі балок кранами.

У плитах баластних корит прогонових будов із звичайною арматурою поперечні тріщини виникають внаслідок дії згинальних моментів, що виникають у перерізах балок при монтажі кранами. Тріщини такого характеру в плитах баластних корит можуть виникати і при порушенні правил складування блоків прогонових будов.

Поперечні тріщини в нижніх розтягнутих поясах попередньо напружених прогонових будов свідчать про недостатній натяг попередньо напруженої арматури, втрати попереднього напруження внаслідок усадки, повзучості бетону і порушення нормальної роботи анкерних пристроїв. Ці тріщини не знижують розрахункової несучої здатності прогінної будівлі, але можуть сприяти розвитку корозії арматури і знижувати її довговічність.

Поперечні тріщини в нижніх розтягнутих поясах прогінних будівель із звичайною арматурою виникають внаслідок пропуску по мосту тимчасового навантаження, що наближається до розрахункового. Ці тріщини не знижують розрахункової несучої здатності прогонової будови, але сприяють розвитку корозії арматури при затіканні в них води і знижують довговічність.

Поздовжні тріщини в попередньо обтиснутих поясах з'являються протягом перших років експлуатації після зведення. Утворення їх викликано поперечними деформаціями, що виникають при стисненні бетону і впливом обмеженої усадки. небезпека цих тріщин виникає внаслідок інтенсивної корозії арматури.

Поздовжні тріщини у залізобетонних прогонових будовах із звичайною арматурою виникають внаслідок корозії поздовжньої робочої і розподільчої арматури. При корозії арматури значно збільшується об'єм продуктів корозії і внаслідок цього створюється внутрішній тиск, який приводить до подальшого розкриття поздовжніх тріщин, прискорюючи процес руйнування захисного шару бетону.

Горизонтальні тріщини на торцевих ділянках прогонових будов, як правило, виникають під дією місцевих напруг, що викликані силами попереднього напруження арматури. Розвиток тріщин цього типу спостерігається тільки в перші роки експлуатації прогонових будов із попередньо напруженою арматурою.

Тріщини в зонах встановлення опорних частин виникають внаслідок конструктивних недоліків опорних вузлів прогонових будов у місцях їх сполучення з опорними частинами (насиченість анкерами, короткі опорні листи тощо). Нещільне обпирання прогонової будови

на опорні частини приводить до збільшення динамічного впливу і до розлаштування вузлів обпирання конструкції на опорні частини, прискорює процес утворення тріщин і зменшує довговічність прогонової будови.

Значні вертикальні тріщини, що широко розкриті знизу та звужуються доверху, як правило, присутні у монолітних опорах і свідчать про нерівномірну осадку або взагалі про недостатню несучу здатність основи.

Силові тріщини в стоянах мають місце з причини недостатньої рухомості опорних частин. У цьому випадку на опори передаються значно більші горизонтальні зусилля ніж розрахункові (за рахунок збільшення коефіцієнту тертя) що приводить до появи тріщин в зоні спирання опорної частини на підферменик.

Силові тріщини в стоянах з оборотними стінками виникають як правило з приводу неякісного дренажного шару. Неякісний водовідвід приводить до заморожування водонасиченого ґрунту і приводить до появи тріщин значного розкриття і навіть до відриву оборотних стінок.

Надмірна товщина шару баласту приводить до збільшення постійних навантажень на прогонову будову, але водночас до зменшення динамічного впливу тимчасового навантаження на неї, внаслідок чого вантажопідйомність споруди може не зменшуватися до певної її товщини (поки ефект від збільшення навантаження компенсується ефектом від зменшення динамічного коефіцієнту), але надмірна товщина баластного шару зменшує стійкість колії і впливає на безпеку руху поїздів. При товщині шару баласту більше 60 см прогонова будова вважається гостро дефектною.

Недостатня товщина шару баласту під шпалою приводить до збільшення динамічного впливу тимчасового навантаження на конструкцію, до руйнування захисного шару і пошкодження гідроізоляції. У свою чергу пошкодження гідроізоляції приводить до вилужування цементного каменю із тіла прогонової будови, зменшення міцності і довговічності конструкції.

Недостатня величина деформаційних зазорів приводить до того, що під впливом температури та тимчасового вертикального навантаження прогонова будова не може вільно переміщуватися. У цьому разі дефект буде зменшувати вантажопідйомність прогонової будови і впливатиме на умови руху поїздів.

Розлаштування перекриттів деформаційних зазорів приводить до того, що у зазори між прогоновими будовами або між прогоною будовою і шафовою стінкою стояноча попадає баласт і створює труднощі для переміщення прогонової будови від дії тимчасового навантаження та зміни температури. При неможливості вільного переміщення у прогоновій будові виникають додаткові зусилля і дефект буде зменшувати вантажопідйомність і впливатиме на умови руху поїздів.

Розташування стиків рейок в зоні шафової стінки приводить до збільшення динамічного впливу тимчасового навантаження на прогонову будову і до розлаштування вузлів обпирання конструкції на опорні частини. Дефект приводить до зменшення довговічності будови.

Зміщення осі колії з осі прогонової будови безпосередньо впливає на міцність будови і безпеку руху поїздів у зв'язку з перевантаженням однієї із сторін споруди або одного з блоків.

Надійний відвід води і якість гідроізоляції мають велике значення для забезпечення високої довговічності залізобетонних прогінних будівель, зокрема:

- відсутність або пошкодження водовідвідних трубок, не зачеканені отвори навкруги водовідвідних трубок, а також недостатня їх довжина приводять до зволоження бокових поверхонь прогонових будов і до поверхневого вилужування цементного каменю. Бетонна поверхня втрачає свою щільність і починається більш швидке руйнування бетону. Дефект викликає зменшення довговічності прогонової будови;

- забиті сміттям вхідні отвори водовідвідних трубок не дають змоги надійно відводити воду з баластного корита і приводять до застою води в баластному кориті прогонової будови. При неякісному відводі води і несправній гідроізоляції вода просочується у тіло конструкції, вилужує цементний камінь і викликає корозію арматури. Бетон плити баластного корита прогонової будови втрачає свою міцність за рахунок вилужування цементного каменю;

- іржаві водовідвідні трубки прогонових будов з часом руйнуються і не забезпечують надійного відводу вологи з баластного корита;

- білі смуги на поверхні бетону – ознака вилуження цементного каменю в зонах фільтрації води і у будь-якому місці прогонової

будови приводить до втрати міцності бетоном прогонової будови і зменшення довговічності споруди.

Дуже небезпечним дефектом мостових опор є загальні їх деформації. Причинами їх виникнення є просадка ґрунту, підмив опори, збільшення горизонтального тиску насипу. За такими опорами встановлюється нагляд, який проводять за допомогою нівеліру, теодоліту, рівня, віска.

В дод. В наведено методику визначення ступеню пошкоджень залізобетонних прогонових будов залізничних мостів і оцінка ступеню зносу штучних споруд.

Висновки до розділу 3

В залізобетонних конструкціях штучних транспортних споруд із звичайною та попередньо напруженою арматурою під час виготовлення, монтажу та експлуатації можуть виникнути різні дефекти і пошкодження у вигляді тріщин, сколів бетону, відшарування захисного шару, корозії робочої та розподільчої арматури, розривів стержнів робочої арматури, раковин, руйнування гідроізоляції тощо.

Для визначення ступеня небезпеки дефектів за їх впливом на несучу здатність та довговічність споруди, а також для розробки технології по їх усуненню, дефекти штучних споруд класифікують за різними типами (ознаками).

Основні дефекти елементів бетонних, залізобетонних, сталобетонних штучних споруд, класифіковані за їх впливом на несучу здатність, довговічність та безпеку руху поїздів.

Наведено характерні дефекти і причини їх утворення в конструкціях бетонних і залізобетонних транспортних споруд.

Проведено аналіз дефектів бетонних та залізобетонних конструкцій та їх класифікація за впливом на довговічність штучних транспортних споруд. Для аналізу впливу дефектів на довговічність штучної споруди необхідно встановити причини виникнення самих дефектів. З великої кількості причин виникнення дефектів основними слід вважати наступні:

– нестійкість бетону та залізобетону до впливу навколишнього середовища, яке з часом стає більш впливовим;

– вплив фізичних факторів на конструкцію в цілому або на її складові;

– корозія арматури залізобетонних конструкцій;

– помилки при проектуванні;

– порушення технології будівництва;

– неякісне поточне утримання та експлуатація споруди в цілому.

Наведено методику оцінювання ступеню зносу штучних споруд і методику визначення ступеню пошкоджень залізобетонних прогонових будов залізничних мостів. Методика оцінювання ступеню зносу штучних споруд дозволяє визначити умови подальшої експлуатації штучних споруд і оцінити їх технічний стан. Методика визначення ступеню пошкоджень залізобетонних прогонових будов залізничних мостів дає можливість об'єктивно оцінити стан пошкоджень залізобетонних прогонів залізничних мостів і може використовуватися при прийнятті управлінських рішень при складанні списку пріоритетності проведення ремонтних робіт.

Вибір матеріалів для ремонту бетонних та залізобетонних конструкцій транспортних споруд з урахуванням сумісності матеріалів

4.1. Загальні вимоги до вибору ремонтних матеріалів для забезпечення сумісності комплексної системи

При виконанні ремонтних робіт завжди вибір необхідних матеріалів для виробництва робіт базується на результатах поетапного багатофакторного аналізу і, по суті, є процесом пошуку компромісу, заснованого на використанні достовірної технічної інформації, вимог та фінансових можливостей інвестора (замовника).

В ході розробки технічних рішень щодо ремонту орієнтуються на сучасні матеріали і технології, що забезпечують за умови правильного вибору подовження терміну служби конструкцій від 15–20 до 30–40 років.

При виборі ремонтного матеріалу підлягають врахуванню:

- ступінь відповідальності елементів конструкції, включаючи залежність несучої здатності споруди від їх цілісності;
- глибина руйнувань;
- умови експлуатації (температурний режим, вологість і агресивність середовища, динамічні дії);
- естетичні вимоги;
- положення і доступність конструкції;
- обсяг виконання робіт.

У будь-якому випадку потрібно чітко усвідомлювати, що на вибір матеріалів може також вплинути вид проведеного ремонту: конструкційний або неконструкційний, при яких можливо виконання таких робіт, як:

- усунення дефектів і лікування тріщин, виявлених в ході зведення об'єктів;
- косметичний ремонт експлуатованих бетонних і залізобетонних конструкцій;
- поточний ремонт конструкцій, що не вимагає відновлення їх несучої здатності;
- ремонт конструкцій з відновленням їх несучої здатності;
- ремонт конструкцій із збільшенням їх несучої здатності по відношенню до несучої здатності, закладеної в початковому проекті споруди.

В Україні для проведення ремонтних робіт зазвичай використовують матеріали, що випускаються спільними підприємствами, або ввезеними із-за кордону. У зв'язку з цим при використанні матеріалів рекомендується враховувати вимоги Європейського стандарту EN 1504 до характеристик ремонтних матеріалів на цементній основі, що наведені в табл. 4.1.

Для забезпечення ефективного ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій і вибору необхідних матеріалів необхідно розробити певну концепцію, що чітко встановлює послідовність та умови виконання робіт, дозволяє обґрунтувати правильний вибір матеріалів, необхідних для ремонту.

При розробці концепції ремонту необхідно мати чіткі вимоги замовника на виконання робіт, де повинна бути викладена інформація про об'єкт, передбачувані терміни служби, зовнішній вигляд, особливості умов роботи об'єкту, терміни виконання робіт та умови фінансування ремонтних робіт.

При виборі матеріалів необхідно визначити умови експлуатації об'єкта з оцінкою зовнішніх факторів, включно погодні умови, хімічне середовище і тимчасові навантаження, що дозволить визначити вимоги до фізико-механічних характеристик матеріалів.

На вибір матеріалів можуть вплинути погодні умови, доступ до місця нанесення матеріалу, тимчасові рамки виконання робіт та інші виробничі умови.

**Характеристики ремонтних матеріалів на цементній основі
при конструкційному і неконструкційному ремонті за європейським стандартом EN 1504 [17]**

Робочі характеристики	Метод випробування	Вимоги таблиця 3 в частині 3 EN 1504				
		Конструкційний		Неконструкційний		
		R4	R3	R2	R1	
		≥ 45 МПа	≥ 25 МПа	≥ 15 МПа	≥ 10 МПа	
Міцність при стисканні	EN 12190				≤ 0,05 %	≥ 0,05 %
Вміст іонів хлориду	EN 1015-17					
Адгезія	EN 1542	≥ 2 МПа	≥ 1,5 МПа		≥ 0,8 МПа	
Обмежений стиск/розширення	EN 12617-4	Адгезія				Немає вимог
		≥ 2 МПа	≥ 1,5 МПа	≥ 0,8 МПа		
Стійкість до карбонізації	EN 13295	$d_k \leq$ контрольного бетону		Немає вимог		
Сумісність теплових властивостей замерзання/відтавання	EN 12617-4	Сила зчеплення після 50 циклів				
		≥ 2 МПа	≥ 1,5 МПа	≥ 0,8 МПа		
Стійкість після удару грозового дощу	EN12617-4	Сила зчеплення після 30 циклів				
		≥ 2 МПа	≥ 1,5 МПа	≥ 0,8 МПа		
Сумісність теплових властивостей. Цикли роботи у сухому стані	EN 12617-4	Сила зчеплення після 30 циклів				
		≥ 2 МПа	≥ 1,5 МПа	≥ 0,8 МПа		

Візуальний контроль

Робочі характеристики	Метод випробування	Вимоги таблиця 3 в частині 3 EN 1504			
		Конструкційний		Не конструкційний	
		R4	R3	R2	R1
Модуль пружності	EN 13412	≥ 20 ГПа	≥ 15 ГПа	Немає вимог	
Стійкість до ковзання	EN 13036-4	Клас I: > 40 од. вим. при випробуванні у мокрому стані			
		Клас II: > 40 од. вим. при випробуванні у сухому стані			
		Клас I: > 55 од. вим. при випробуванні у мокрому стані			
Капілярна адсорбція	EN 130-57	≤ 0,5 кг/м²год		≤ 0,5 кг/м²год	Немає вимог

Для виконання ремонтних робіт розробляється та затверджується в установленому порядку проектно-кошторисна документація. До початку розробки проекту проводиться обстеження об'єкта або конструкцій, які необхідно ремонтувати. При цьому обстеження і встановлення причин і ступеню руйнування можуть проводитися, як це вказувалося раніше, проектною або спеціалізованою організацією, що має дозвіл на виконання даного виду робіт.

При виборі матеріалів для ремонту, передбачається створення комплексної ремонтної системи, основними елементами якої є існуючий субстрат (матеріал існуючої конструкції), контактна поверхня і ремонтний матеріал (рис. 4.1).

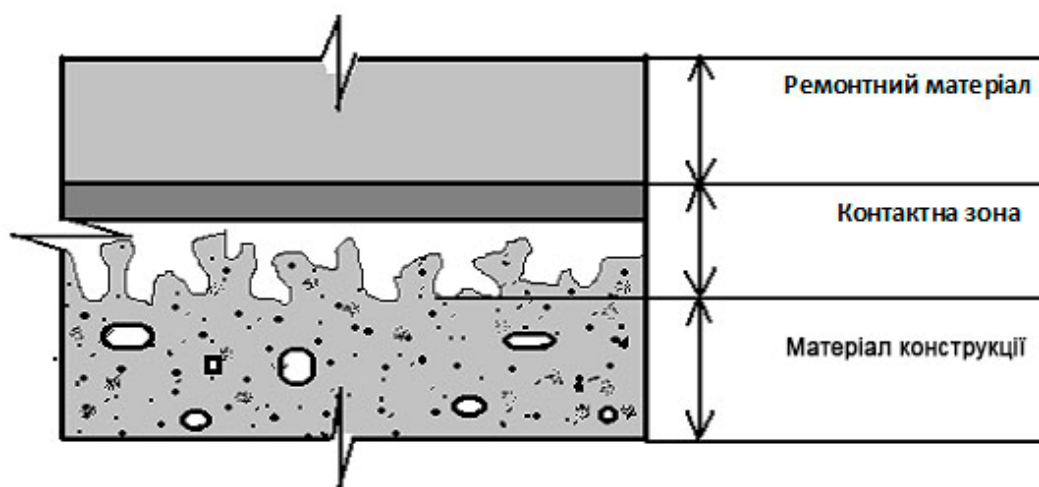


Рис. 4.1. Модель ремонтної системи

При цьому слід пам'ятати, що будь-який інший матеріал (навіть бетон, який має точно такі ж характеристики, як і бетон тіла існуючої конструкції), насправді буде відрізнятися від субстрату.

У зв'язку з цим для ремонту вибирається матеріал, що відповідає вимогам по нанесенню і забезпеченню характеристик по міцності і довговічності, але і забезпечуватиме сумісність з субстратом, що гарантує довговічності ремонту.

Сумісність – це співвідношення між фізичними, хімічними і електрохімічними характеристиками елементів ремонтної системи споруди.

Це співвідношення є обов'язковим, якщо ремонтна система повинна витримувати всі зусилля і напруги, що викликаються експ-

луатаційними навантаженнями і при цьому не втрачати своїх властивостей і не руйнуватися в конкретних умовах навколишнього середовища і протягом заданого часу експлуатації. Саме несумісність матеріалів є головною причиною неякісного ремонту. Загальні вимоги за сумісністю матеріалів наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

**Загальні вимоги до матеріалів для ремонтних робіт
для структурної сумісності [79]**

Властивості	Співвідношення ремонтного шару (P) до бетонної основи (C)
Міцність при стисканні	$P \geq C$
Модуль пружності	$P \sim C$
Коефіцієнт Пуасона	Залежить від модулю і типу ремонту
Коефіцієнт термічного розширення	$P \sim C$
Адгезія, міцність на зріз та відрив	$P \geq C$
Розширення при зволоженні	$P \geq C$
Здатність деформуватися без руйнування	$P \geq C$
Повзучість	Залежить від позитивного чи негативного ефекту (впливу) повзучості
Характеристика втомлюваності	$P \geq C$

Сумісність передбачає характер поведінки матеріалу як у затверділому, так і в твердіючому стані.

Найважливіша вимога до матеріалу – поведінка його різновимірних характеристик щодо розмірних характеристик субстрату.

При виборі ремонтних матеріалів ефективність ремонту визначається як відношення напружень, які витримує ремонтний матеріал до напружень, які витримує елемент до руйнування і ремонту. В ідеалі ремонтний матеріал повинен сприймати на себе певний рівень напруги і розподіляти її так, як це було б при повному функціонуванні елемента, що ремонтується.

Рішення щодо вибору ремонтних матеріалів приймається тільки після того, як будуть визначені характеристики матеріалів, які най-

кращим чином відповідають реалізації проектного рішення. У зв'язку з цим рекомендується визначити зазначені характеристики і присвоїти їм пріоритети.

Після визначення вимог та критеріїв складається перелік відповідних властивостей. Властивості необхідно систематизувати і сформувати як основні, так і спеціальні.

До *основних властивостей* відносять ті, наявність яких необхідна для проведення ретельного і якісного ремонту.

До *спеціальним властивостей* належать ті, за допомогою яких коригується ефективність матеріалу, щоб продовжити термін його служби в межах визначених навантажень.

Спеціальні властивості розподіляють за рангом в порядку спадання значущості. Властивості, до яких не пред'являються вимоги, в такий список не включаються.

При виборі матеріалів для ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій необхідно враховувати таку властивість, як міцність зчеплення ремонтного матеріалу з субстратом, що є основною вимогою якісного ремонту. Погане зчеплення між ремонтним матеріалом і підготовленим бетонним субстратом часто відбувається із-за різниці температурних деформацій твердіючого ремонтного складу і основи із-за його усадки при твердінні. Часто зчеплення знижується при поганій підготовці поверхні субстрату перед укладанням ремонтного складу.

Під *адгезійною сумісністю* мається на увазі утворення достатньої величини зчеплення між бетоном основи і ремонтним матеріалом. Цей параметр особливо важливий при нанесенні ремонтного шару без використання анкерування, закріплення за допомогою існуючої або нової арматури, внаслідок чого забезпечення довговічності ремонту повністю залежить від характеристик зчеплення нового матеріалу з основою.

Якість роботи ремонтної системи «матеріал–контакт–основа» буде характеризуватись самою слабкою ланкою. У випадку впливу на систему надлишкових напружень, руйнування відбудеться або в бетоні основи, або в ремонтному шарі чи в зоні контакту двох шарів.

Ремонтні матеріали адгезійносумісні у випадку приблизної рівності міцності на зріз і/або розтяг між бетоном основи, ремонтним матеріалом і контактною зоною – руйнування буде відбуватися частково в межах цих трьох зон.

Досягнення найбільшої адгезійної сумісності та міцності для ремонтних матеріалів відбувається при забезпеченні оптимального вологісного (температурного) стану бетону основи, крім того, можливе застосування матеріалів-підготовок (праймерів).

При зміні температури величина деформацій конструкції пропорційна коефіцієнту температурного лінійного розширення матеріалу. При виборі матеріалу для ремонту введення полімерів в розчини призводить до збільшення коефіцієнтів температурного лінійного розширення ремонтного складу в 1,5...5 разів, що може призвести до появи значної напруги в контактній зоні і бути причиною розтріскування, викривлення і лущення ремонтного матеріалу.

Теплова сумісність ремонтного складу і субстрату в зв'язку з цим повинна розглядатися особливо уважно.

При виборі ремонтних складів їх марку з *морозостійкості* пов'язують із маркою за морозостійкості субстрату.

При дії на бетон солей проти обледеніння, які викликають лущення бетону, необхідно в перелік необхідних властивостей ремонтних складів включати їх стійкість до лущення.

При розробці проектів ремонтних робіт потрібно враховувати *агресивність середовища*, в якій експлуатується конструкція. У зв'язку з цим при виборі ремонтних матеріалів слід враховувати, наприклад, таку властивість як сульфатостійкість.

Агресивний вплив сульфатів проявляється через хімічне розкладання певних в'язучих сполук гідратованого цементу. Першою ознакою агресивного впливу сульфатів є розтріскування. Характеристика сульфатостійкості повинна бути відображена в специфікаціях на ремонт споруд, працюючих в умовах сульфатної агресії.

При виборі матеріалів для проведення ремонтних робіт важливо враховувати ймовірність протікання *реакції між лугами в цементі і заповнювачем*. Відомі два види реакцій між лугами, які містяться в портландцементі або в інших джерелах: це взаємодія лугів цементу з кремнеземом заповнювача в бетоні і взаємодія лугів цементу з карбонатом заповнювача у бетоні. Продукти цих реакцій призводять до розширення бетонів і будівельних розчинів і до їх розтріскування.

При використанні цементу для мостових конструкцій у нормативних документах накладено обмеження на величину лугів у цементі. Використання цементів із завищеним вмістом лугів (більше 0,6 %) при виробництві і ремонті мостових конструкцій не допускається.

При ремонті покриттів доріг, аеродромів, опор мостів у зоні льодоходу необхідно мати дані з опору ремонтних матеріалів стиранню.

Особлива увага приділяється використанню звичайних важких бетонів для ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій, що піддається принципу «ремонтуй подібне подібним». Однак при цьому можна допустити грубу помилку, пов'язану із дотриманням вимог щодо сумісності матеріалів.

Недооблік формування фізико-механічних властивостей бетону конструкції, що ремонтується і ремонтного складу в різні терміни може призвести до негативних наслідків або до відмови від застосування для ремонту звичайного бетону, що відповідає всім вимогам нормативних документів або до виконання додаткових робіт.

Деформаційна сумісність забезпечує здатність відремонтованої ділянки витримувати зміни об'єму без втрати адгезії та відшарування [32, 79]. При її відсутності може відбуватися розшаровування в результаті наступних причин:

- надлишкова деформація усадки ремонтного матеріалу (пластична усадка, усадка при висиханні, зміни об'єму викликані внутрішніми процесами усадки при карбонізації);
- надлишкове розширення в ремонтних матеріалах з компенсацією усадки;
- надлишкове термічне розширення з наступним охолодженням (вміст цементу з високою екзотермією, деякі полімербетони);
- надлишкове термічне розширення ремонтних матеріалів внаслідок добових або сезонних змін температури.

Основними властивостями, що забезпечують ефективну сумісну роботу системи та перш за все деформаційну сумісність являються модуль пружності, усадка та повзучість при розтягу.

Ці властивості мають вагомий вплив для будь-якого методу ремонту (ручного нанесення, бетонування або торкретування), оскільки взаємодія в системі залежить від властивостей матеріалів, а не від методу ремонту.

Співвідношення модулів пружності ремонтного матеріалу (E_{rm}) та бетону конструкції (E_{sub}) особливо важливе при виборі ремонтної системи, і за останніми дослідженнями, повинно складати $m = E_{\text{rm}}/E_{\text{sub}} \sim 1,3$.

При $E_{rm} \sim 1,3E_{sub}$, більша частина усадки буде перенесена на бетон основи, що призведе до зменшення напружень розтягу у ремонтному матеріалі до незначної величини: розтяг, що визначається, як різниця між деформацією переданою на бетон конструкції і вільною усадкою ремонтного матеріалу, зменшиться.

На практиці важко виконати таку умову, але важливо, щоб $E_{rm} > E_{sub}$ (обмеження – дотримання конструкційної (механічної) сумісності).

Якщо E_{rm} близький за значенням до E_{sub} , підвищується ризик утворення тріщин в ремонтному матеріалі, оскільки менша частина вільної усадки буде переноситись на основу. Це стосується як стиснутих, так і розтягнених конструктивних елементів, що ремонтуються в завантаженому стані. При виборі ремонтних складів необхідно врахувати величину *модулю пружності*. Він повинен бути близьким до модуля пружності субстрату.

За літературними даними, різниця між модулями пружності ремонтних матеріалів при стисканні та при розтягу становить приблизно 9 % ($E_{comp} > E_{tens}$).

Величина усадки при твердінні гідравлічних в'язучих на основі цементу має великий вплив на зчеплення ремонтного складу з основою і його міцність. З матеріалів, які володіють іншими необхідними властивостями, при виборі ремонтних матеріалів перевагу слід віддавати тим, які характеризуються самою низькою усадкою при твердінні.

Всі звичайні цементні суміші в процесі тверднення в тій чи іншій мірі піддаються усадці. Усадка представлена у двох формах: лінійна вільна усадка та невольна усадка.

Величина невольної усадки напряму пов'язана із співвідношенням модулів, вільною усадкою та повзучістю ремонтного матеріалу (релаксацією напружень протягом часу). Незначна усадка ремонтного матеріалу призведе до виникнення незначних напружень розтягу у ремонтному матеріалі, проте матеріали що застосовуються на практиці часто володіють значною усадкою.

В ремонтному матеріалі з відносно високою усадкою не обов'язково виникнуть тріщини, якщо йому властива висока повзучість та коли виконується умова співвідношення E_{rm}/E_{sub} .

Проте компенсуючий ефект повзучості призведе до того, що ремонтна ділянка буде працювати як косметичний ремонт, оскільки ремонтний матеріал не матиме здатності сприймати зовнішнє навантаження через високу характеристику повзучості.

Якщо зменшити кількість води замішування, щоб зменшити усадку, то суміш стає твердою і жорсткою для укладання і ущільнення і, крім того, вона не зможе заповнити повністю ремонтну порожнину (рис. 4.2, а).

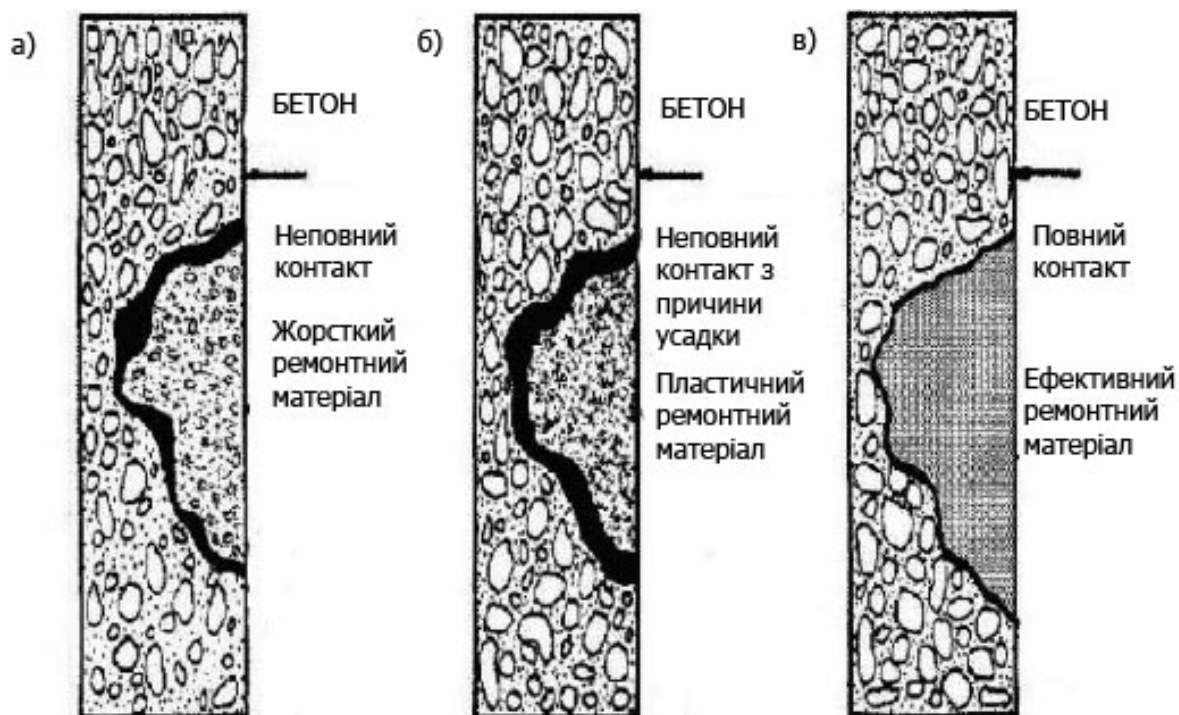


Рис. 4.2. Взаємодія ремонтних складів з матеріалом конструкції:

а – не забезпечений повний контакт; б – неповний контакт з причин усадки;
в – бездефектне заповнення

Усадка суміші спостерігається навіть при зниженому вмісті води. Якщо збільшити кількість води замішування, щоб поліпшити текучість суміші для повного заповненні ремонтної структури, то значно збільшується усадка (рис. 4.2, б). Більш того, фізико-механічні властивості такого бетону (міцність, водонепроникність, морозостійкість і довговічність) знизяться із-за високої пористості ремонтного матеріалу.

Для забезпечення ефективного ремонту в таких випадках доцільно застосувати реопластичні і водонепроникні бетонні суміші, наприклад складу Емако (рис. 4.2, в).

При виборі ремонтних матеріалів враховується *повзучість* ремонтних матеріалів. У ряді випадків підвищена повзучість матеріалу може бути корисною. Знижена повзучість ремонтного складу порівняно з матеріалом основи навпаки може призвести до негативних наслідків.

Величина повзучості для кожного матеріалу залежить від відношення напруження до міцності, структури матеріалу, і не обов'язково від виду напруженого стану (стиску, розтягу).

Повзучість сприяє зменшенню напруження розтягу у ранньому віці матеріалу, коли властивості ще формуються і $E_{rm} < E_{sub}$, та при частковому обмеженні усадки у разі, коли оптимального E_{rm} досягти не вдається.

За показником *конструкційної сумісності* ремонтні матеріали можна розділити за двома напрямками використання:

- «неконструкційний» або косметичний ремонт, при якому сприйняття напружень не є головною умовою для ремонтної ділянки;
- «конструкційний» ремонт, при якому матеріал відремонтованої ділянки сприймає навантаження, що початково передавалось на вилучений бетон.

Крім звичайних вимог сумісності усадки і термічних явищ, що пред'являються для неконструкційного ремонту, при конструкційному ремонті може виникнути несумісність в робочій стадії в результаті таких факторів, як розходження в модулях пружності і характеристиках повзучості між ремонтним матеріалом і бетоном основи.

Для забезпечення конструкційної сумісності повинні забезпечуватись наступні загальні вимоги до матеріалів для ремонту окремих ділянок:

- міцність при стисканні, вигині і розтягу ремонтного матеріалу повинна перевищувати відповідні характеристики бетону основи;
- модулі пружності і коефіцієнт термічного розширення ремонтного матеріалу і бетону основи повинні бути рівні.

Проектування ремонту з використанням матеріалів, що мають істотні розбіжності в таких характеристиках, як модуль пружності і коефіцієнт термічного розширення може привести до небажаних

наслідків. Результати ремонту будуть залежати від наступних факторів:

- величини і стану поля напружень (розтягу, стиску, згину або зрізу);
- робочого стану конструкції на час проведення ремонтних робіт;
- повзучості ремонтного матеріалу;
- міцності зчеплення на відрив і зріз між ремонтним матеріалом і бетоном основи;
- температури, при якій проводилися ремонтні роботи і наступний діапазон температур протягом терміну служби.

При виборі ремонтних матеріалів необхідно мати дані з міцності при розтяганні. Для тих ділянок конструкцій, де ремонтна система піддається розтягувальним навантаженням, наприклад, верхня сторона консолі, в технічних умовах слід відображати характеристику міцності матеріалу при розтягуванні. При виборі ремонтних матеріалів міцність на розтяг далеко не завжди корелюється з міцністю при стисканні. У зв'язку з цим міцність ремонтного матеріалу на розтяг повинна визначатися експериментально.

Міцність матеріалу при розтягу визначається як показник стійкості матеріалу до вигину. Якщо ремонтна система буде піддаватися вигину, то міцність при вигині повинна бути відображена в технічних умовах, і використовуватися при виборі ремонтного матеріалу.

При виборі матеріалів для ремонту, необхідно уважно ставитися до міцності при стисканні, як базовому показнику матеріалу. Показник міцності під час стискання такого матеріалу повинен відповідати міцності субстрату. Розходження міцності при стисканні матеріалів показує на різницю в модулях пружності. Відмінність таких показників у ремонтного складу і субстрату може призвести до несумісності напруги і викликати перерозподіл навантажень.

При розробці проектів ремонту конструкцій необхідно ретельно зважувати відносну значимість цієї властивості в порівнянні з іншими необхідними характеристиками довговічності. Висока міцність при стисканні може в ряді випадків негативно впливати на інші властивості, які необхідні для забезпечення якісного ремонту.

Під *хімічною сумісністю* мають на увазі підбір ремонтного матеріалу, що не володіє негативним хімічним впливом на ділянка конструкції, що підлягає ремонту. Наприклад, вивільнення хлорів-

іонів може негативно вплинути на захисні властивості бетону до арматурної сталі, іони натрію або калію можуть викликати реакцію між лугом і заповнювачем бетону основи, якщо використаний заповнювач, схильний до реакції даного типу.

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 залізобетону.

Видалення бетону із зони кородуючої арматури і його заміна різними видами ремонтних матеріалів може по різному вплинути на наступний розвиток корозії у відремонтованих і навколишніх ділянках.

В випадку великого розходження в проникності або вмісту хлоридів між ремонтною ділянкою і бетоном, корозія буде сконцентрована в обмеженій зоні – швидкість може збільшитись, що приведе до передчасного руйнування арматури в зоні ремонту або прилеглому бетоні.

При виборі матеріалів для ремонту, необхідно враховувати *проникність* ремонтного матеріалу. Низька проникність ремонтного матеріалу є позитивним фактором з позиції зменшення швидкості проникнення хлоридів через захисний шар бетону і негативним фактором з позиції карбонізації, так як зменшує водневий показник рН, що може залежно від наявності вільної вологи призвести до внутрішньої корозії бетону.

Якщо основа є елементом конструкцій гідротехнічних споруд, при односторонньому впливі вологості (дамби), низька проникність або непроникність (наприклад, полімербетон) може привести до водонасичення бетону основи під шаром ремонтного матеріалу.

У районах з глибоким промерзанням, морозна деструкція в насиченому бетоні основи може привести до руйнування бетону основи та відшарування ремонтного матеріалу від бетону основи.

4.2. Моделювання напружено-деформованого стану елементів конструкцій залізобетонних споруд при різних співвідношеннях фізико-технічних властивостей ремонтного матеріалу та матеріалу основи при ремонті транспортних залізобетонних споруд

Вивчення існуючих технологій ремонту та відновлення залізобетонних споруд показало, що, незважаючи на багаторічний досвід використання залізобетону в будівництві, питання ремонту виробів і споруд, виконаних з бетону і залізобетону, залишаються відкритими і недостатньо дослідженими. Необхідно відзначити, що, як правило, прийняття рішень з ремонту, відновленню та заміні конструкцій в основному проводиться на підставі обстеження споруд та виходячи з досвіду роботи. Подібна експертиза в більшості випадків закінчується прийняттям не обґрунтованих рішень по заміні дефектних конструкцій на нові. Це приводить до здорожчання ремонтно-відновлювальних робіт.

Практична робота по відбудові відповідальних залізобетонних споруд поставила ряд проблем, що привели до залучення сучасних інформаційних технологій. Проведені дослідження із застосуванням новітніх інформаційних технологій і зокрема математичного моделювання привели до розробки комплексної системи відновлення працездатності залізобетонних штучних споруд. Структурна схема розробленої системи представлена на рис. 4.3.

Ефективність роботи запропонованої системи істотно залежить від наповнення бази даних штучних споруд. На даний час замовники відновлення штучних споруд не розуміють важливості і необхідності створення математичних моделей споруд, що можуть давати істотний економічний ефект на всіх етапах експлуатації споруд.

Розробка системи пов'язана зі створенням математичних моделей як типових, так і оригінальних конструкцій штучних споруд і методик розробки вищезгаданих моделей і обліку дефектів конструкції в процесі аналізу несучої здатності споруди, що досліджується.

В наслідок досліджень отримані практичні дані з реалізації, як окремих блоків, так і відпрацьовування всієї системи в цілому. При розробці і відпрацьовуванні математичних моделей ряду споруд були

виявлені помилки проектування конструкцій, що обумовлені недосконалістю й обмеженістю існуючих методик розрахунку міцності конструкцій. Так само необхідно відзначити відсутність нормативної бази для ремонту залізобетонних споруд, що використовують новітні матеріали і технології.

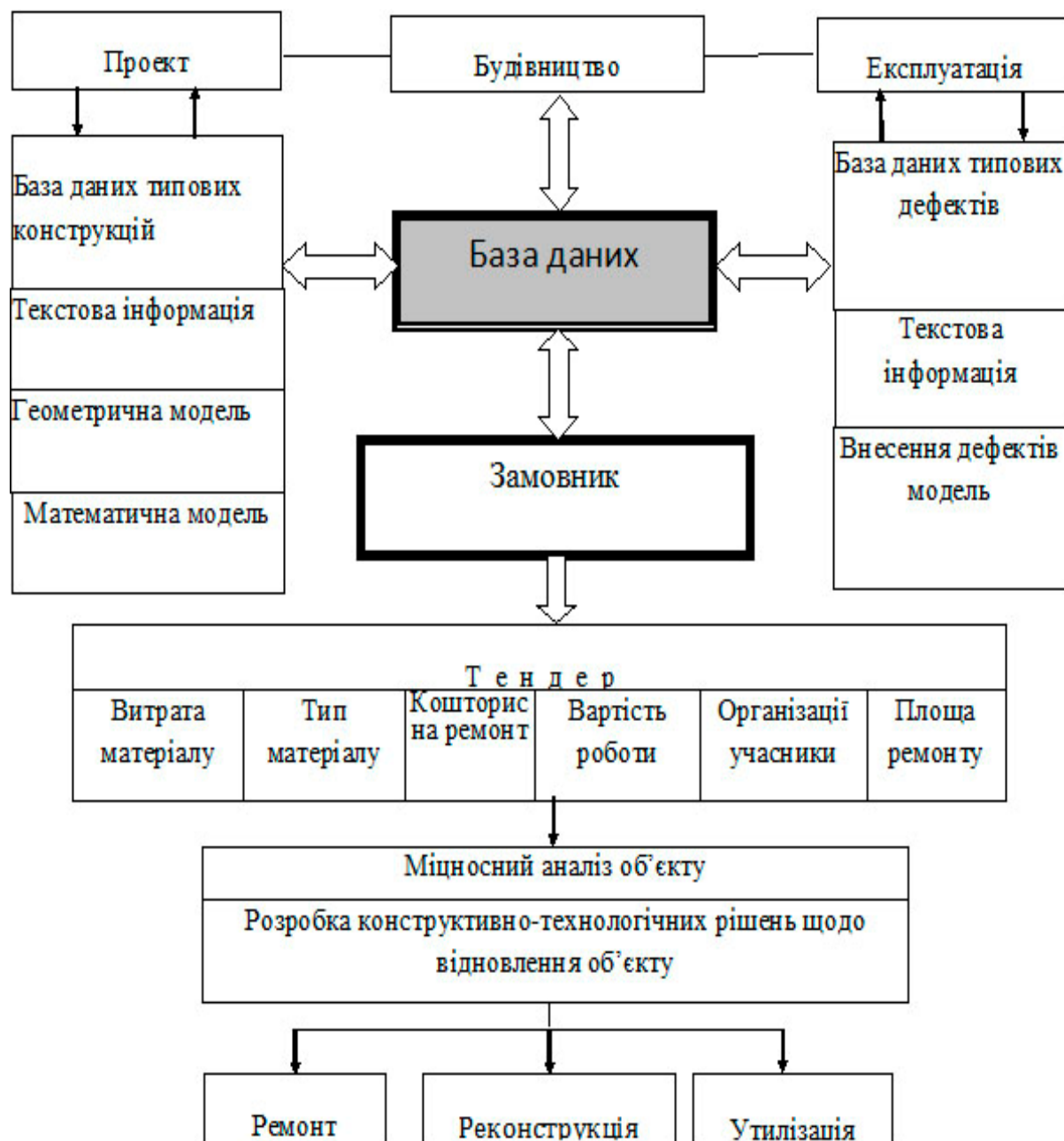


Рис. 4.3. Структурна схема комплексної системи відновлення працездатності залізобетонних штучних споруд

Бібліотека типових деталей і конструкцій (рис. 4.4) містить у собі геометричні і математичні моделі, результати випробувань і аналізу цих виробів.

Наявність подібної бібліотеки істотно знизить час і вартість розробки базових моделей споруд, дозволить проводити поглиблений аналіз і оптимізацію різних проектних рішень. Базові моделі необхідно коректувати на всіх етапах життєвого циклу виробу за результатами їхніх періодичних оглядів. Для ефективності цієї роботи запропоновано використовувати бібліотеку типових дефектів, як показано на рис. 4.5.

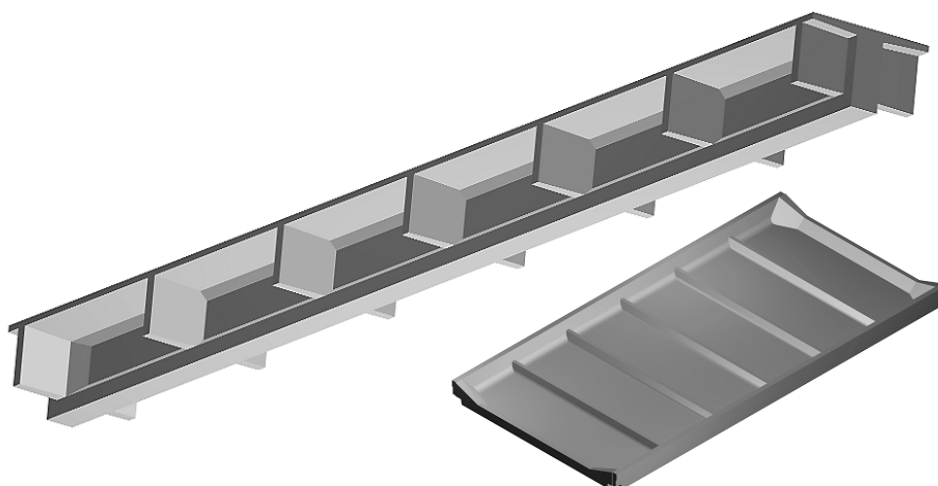


Рис. 4.4. Бібліотека типових деталей і конструкцій

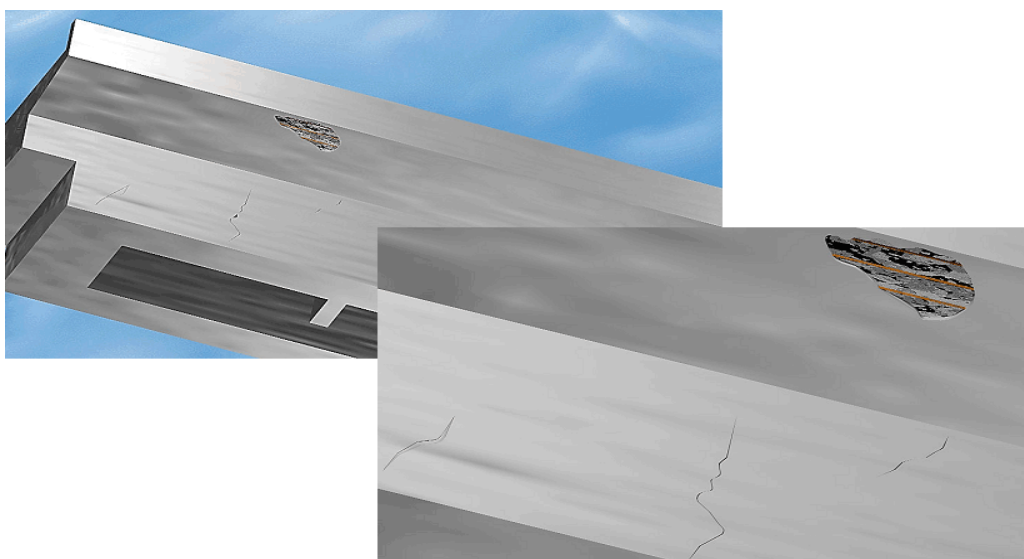


Рис. 4.5. Бібліотека типових дефектів

Основною задачею розробленої системи є забезпечення об'єктивності й ефективності прийняття рішень при ремонті і реконструкції залізобетонних споруд. Для цього, на основі створених і відкоректованих моделей запропоновано проводити на першому етапі уточнену оцінку залишкової несучої здатності дефектних конструкцій і визначення найбільш небезпечних зон конструкції потребуючих особливого контролю.

На рис. 4.6, 4.7 представлені результати аналізу, що дозволили визначити зони силових дефектів аркового мосту і залізничного шляхопроводу.



Рис. 4.6. Зона силового дефекту залізничного шляхопроводу

Подібний аналіз дозволяє визначити причини і розвиток катастрофічних руйнувань залізобетонних споруд, як показано на рис. 4.8.

На наступному етапі система припускає проведення відпрацювання різних конструктивно-технологічних рішень ремонту і застосування сучасних ремонтних матеріалів за результатами обчислювальних експериментів на розроблених моделях.

Іншою важливою задачею при проведенні ремонтних робіт з відновлення залізобетонних конструкцій є визначення технічних вимог до ремонтних складів та створення моделі, що буде відображати сумісну роботу ремонтного матеріалу та існуючої конструкції.

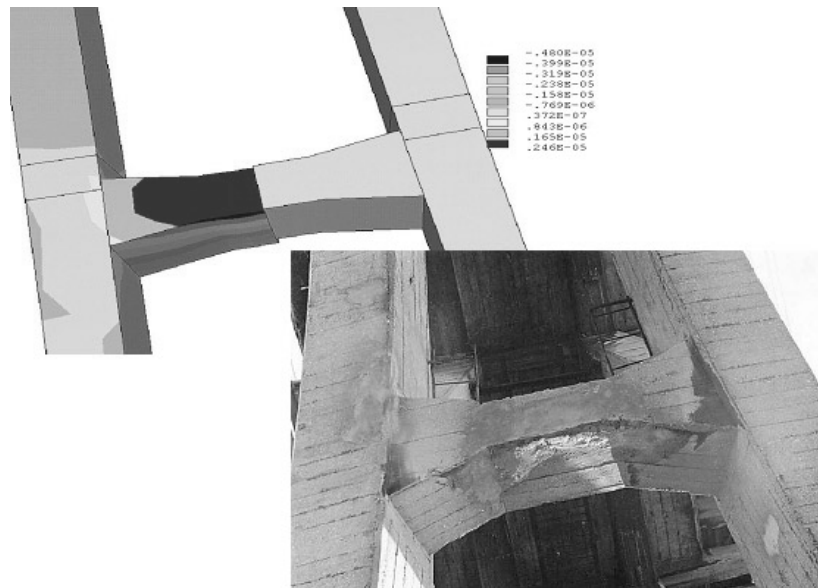


Рис. 4.7. Зона силового дефекту аркового мосту

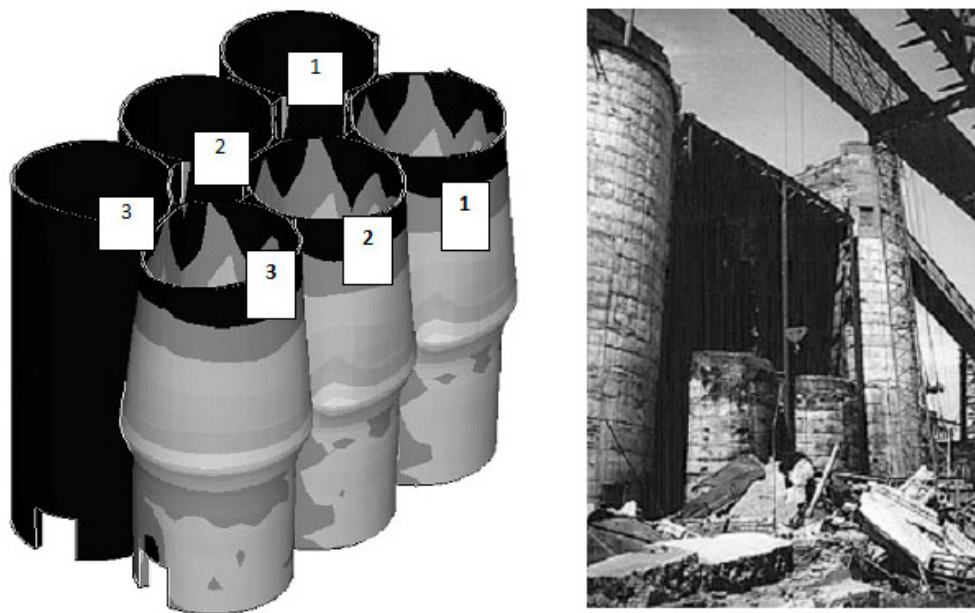


Рис. 4.8. Руйнування залізобетонних вугільних силосів

Технічні вимоги можна визначити цілим рядом факторів, а саме: адгезійною і хімічною сумісністю матеріалів, сумісністю за коефіцієнтом лінійного розширення, технологією ремонту, вартістю матеріалу та інше. Дуже часто спільна робота матеріалів старого і нового бетонів не розглядається взагалі. Під спільною роботою мається на увазі сумісність матеріалів по такому параметру, як міцність.

Для проведення досліджень була розроблена математична модель [81, 82]. Розрахункова схема випробування лабораторного зразка для дослідження спільної роботи матеріалів старого і нового бетонів представлена на рис. 4.9.

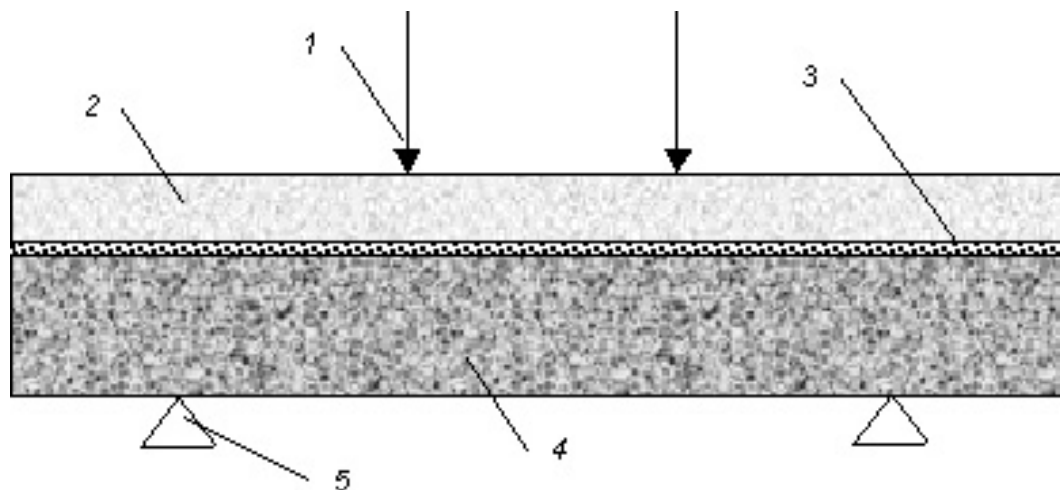


Рис. 4.9. Розрахункова схема випробування лабораторного зразка:
 1 – навантаження; 2 – новий бетон; 3 – контактний шар; 4 – старий бетон;
 5 – умови обпирання

Геометрична і кінцево-елементна моделі досліджуваного зразка розроблені в препроцесорі кінцево-елементної програми. На рис. 4.10 представлена кінцево-елементна модель двошарового зразка.

Граничні умови прийняті у вигляді заборони по лінії (показана пунктиром) переміщень по осі Y і умови симетрії по осях X і Z відповідно, як показано на рис. 4.10.

На першому етапі дослідження проведений вибір методу моделювання умов взаємодії шарів старого і нового бетонів при прокладенні навантаження. Порівняльний аналіз різних умов взаємодії шарів нового і старого бетонів проведений за допомогою обчислювального експерименту.

Для моделювання умов взаємодії шарів старого і нового бетону було тестовано елемент зв'язку. Елемент зв'язку комбінує паралельно властивості пружного зрушення, демпферування і приєднаного по-спідовно зазору. Маса може бути зв'язана з одними чи обома центральними вузловими точками. Елемент має один ступінь свободи в кожному вузлі або центральний зсув, обертання, тиск і температуру. Маса, пружність, зрушення, демпфер чи зазор можуть бути вилучені

з елемента. Сполучний елемент показаний на рис. 4.11. Елемент визначається двома вузлами, двома пружними константами $K1$ і $K2$ (Н/м), коефіцієнтом демпферування C (Н·с/м), масою M (Н·с²/м), величиною зазору GAP (м чи радіан) і силою тертя (обмеження ковзання) $FSLIDE$ (Н).

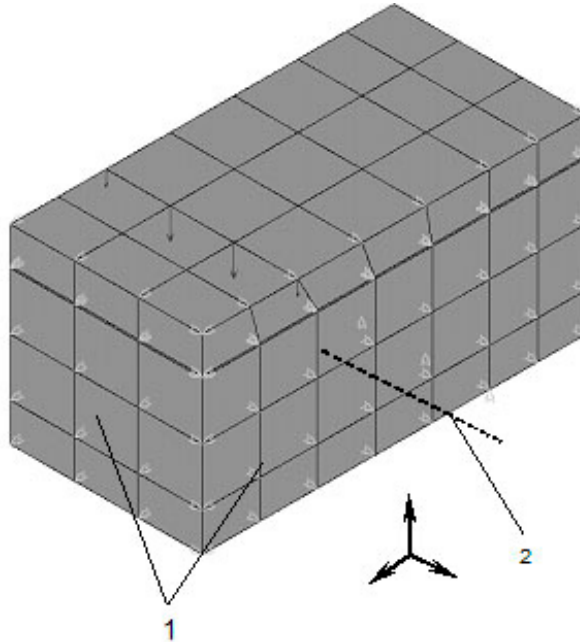


Рис. 4.10. Кінцево-елементна модель з навантаженнями і граничними умовами:

1 – симетричні граничні умови; 2 – умови обпирання

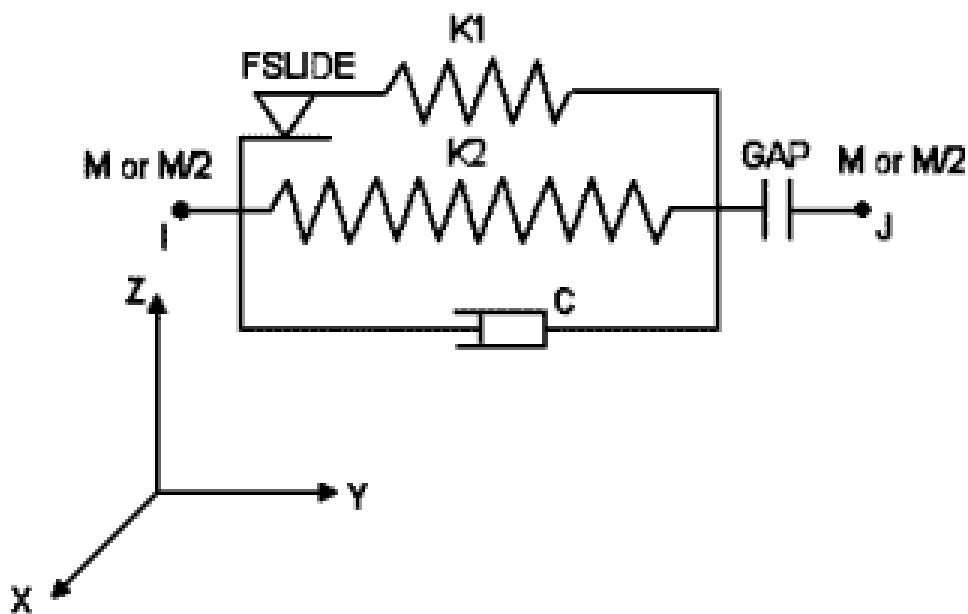


Рис. 4.11. Сполучний елемент

Для аналізу умов контактної взаємодії шарів двошарового бетонного зразка використані контактні елементи типу «поверхня–поверхня». Проведено аналіз напружено-деформованого стану двошарових зразків з матеріалів нового і старого бетонів. Досліджено умови спільної роботи матеріалів із завданням у приконтактному шарі умов контактної взаємодії й елементів зв'язку. На рис. 4.12, 4.13 представлені результати аналізу.

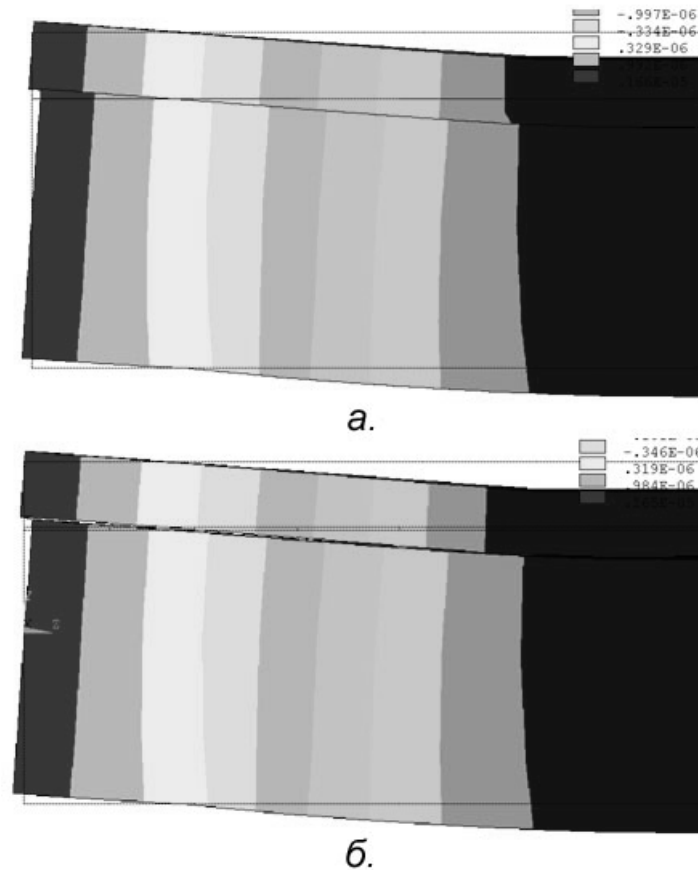


Рис. 4.12. Поле переміщень (м), нормальних до поверхні контакту:
а – умови контактної взаємодії; *б* – елементи зв'язку

Пунктиром відображений вихідний стан ненавантаженого зразка. Переміщення для наочності збільшені в 2 000 разів. Нормальні до поверхні контакту переміщення для умови контактної взаємодії рівні:

- максимальні: $-0,431 \cdot 10^{-5}$ м;
- мінімальні: $0,166 \cdot 10^{-5}$ м;

і для елементів зв'язку:

- максимальні: $-0,434 \cdot 10^{-5}$ м;
- мінімальні: $0,165 \cdot 10^{-5}$ м.

Порівняльний аналіз напружено-деформаційного стану двошарових зразків показав як якісну, так і кількісну збіжність результатів розрахунку при завданні умов контактної взаємодії (з коефіцієнтом тертя рівним нулю) і взаємодії шарів через елемент зв'язку.

Для моделювання різних умов міцності на зсув приконтактного шару двошарового зразка були задані умови контактної взаємодії між шарами з різними значеннями коефіцієнта тертя ($\mu = 0; 0,3; 0,7$).

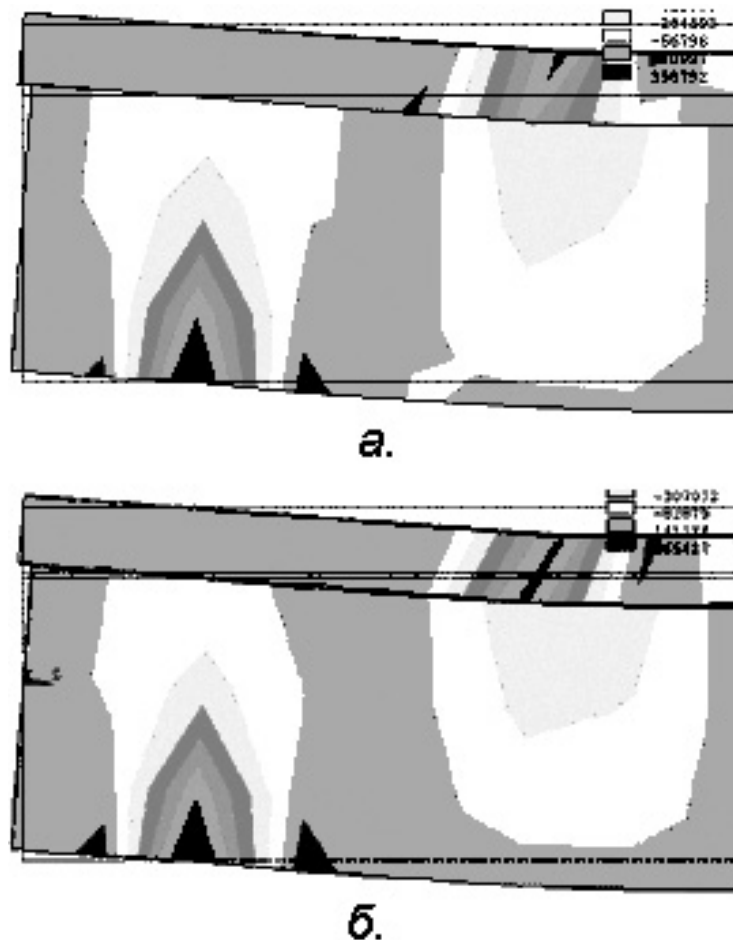


Рис. 4.13. Поле нормальних напруг (Па):
а – умови контактної взаємодії; б – елементи зв'язку

Нормальні напруги для умови контактної взаємодії рівні:

- максимальні при стисканні: $-0,165 \cdot 10^7$ Па;
- максимальні при розтягу: 398 792 Па;

і для елементів зв'язку:

- максимальні при стисканні: $-0,165 \cdot 10^7$ Па;
- максимальні при розтягу: 365 427 Па.

У табл. 4.3 наведено чисельні значення параметрів спільної роботи: переміщення, нормальні до поверхні контакту, напруження і інтенсивність напруг, як у зразку в цілому, так і в окремих його шарах.

Таблиця 4.3

Чисельні значення параметрів спільної роботи

Показник			Коефіцієнт тертя μ		
			0	0,3	0,7
Нормальні переміщення, м	max		$0,166 \cdot 10^{-5}$	$0,151 \cdot 10^{-5}$	$0,131 \cdot 10^{-5}$
	min		$-0,431 \cdot 10^{-5}$	$-0,390 \cdot 10^{-5}$	$0,334 \cdot 10^{-5}$
Нормальні напруги, МПа	Стиск		$-0,165 \cdot 10^7$	$-0,160 \cdot 10^7$	$-0,156 \cdot 10^7$
	Розтяг	Зразок в цілому	398 792	—	374 952
		Нижній шар	264 173	251 380	235 171
Інтенсивність напруг, МПа	Приконтактний шар		—	$0,208 \cdot 10^7$	$0,197 \cdot 10^7$
	Нижній шар		$0,293 \cdot 10^7$	$0,265 \cdot 10^7$	$0,227 \cdot 10^7$

На рис. 4.14 наведено зміну якісної картини полю інтенсивності напруг залежно від коефіцієнта тертя між шарами.

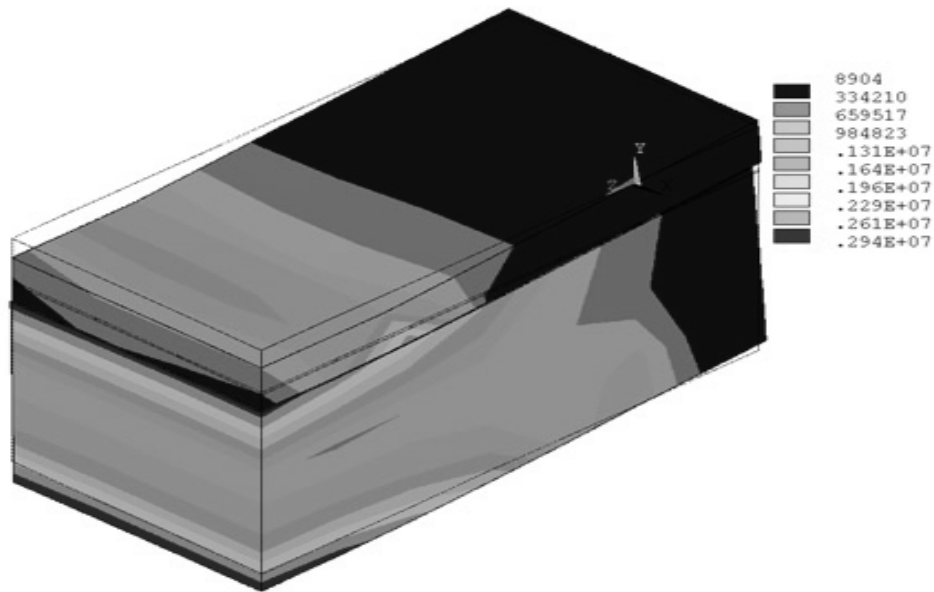
Міцність на зсув – один з найважливіших параметрів, що визначає спільну роботу ремонтного слою та споруди, що ремонтується. Один з варіантів адекватного моделювання цього параметру – це задання коефіцієнту тертя.

З метою проведення порівняльного аналізу напруженого стану двошарових зразків при різному моделюванні умов контактної взаємодії, і обліку різномодульності матеріалів були досліджені умови спільної роботи різномодульних матеріалів при різних умовах моделювання контакту. Модуль пружності: верхнього шару – $2 \cdot 10^{10}$ Па, нижнього шару – $2 \cdot 10^{10}$ Па. На рис. 4.15 представлені результати аналізу. Переміщення для наочності збільшені в 2 000 разів.

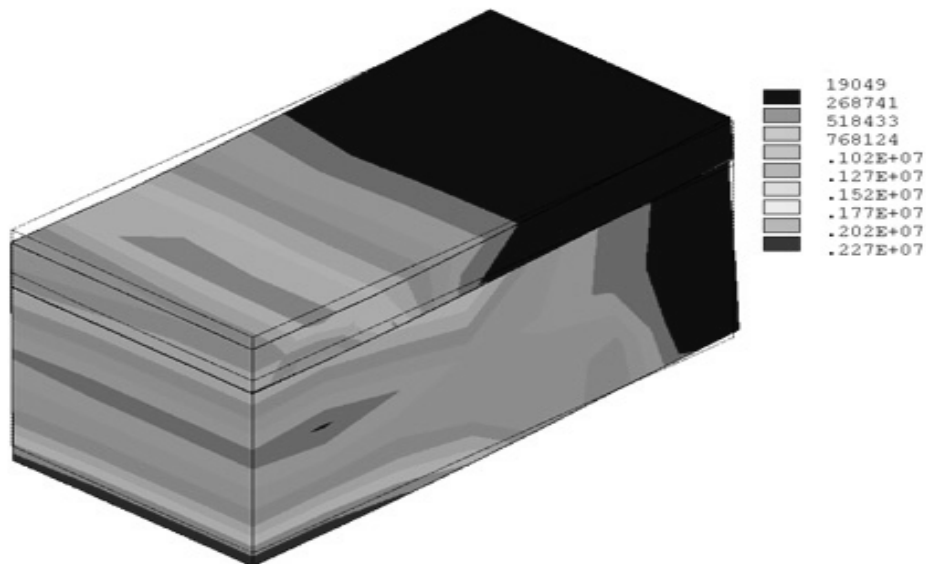
Переміщення, нормальні до поверхні контакту для варіанта з заданням приконтактного шару рівні:

- максимальні: $0,144 \cdot 10^{-5}$ м;

- мінімальні: $-0,487 \cdot 10^{-5}$ м;
- для умови контактної взаємодії:
- максимальні: $0,718 \cdot 10^{-5}$ м;
 - мінімальні: $-0,585 \cdot 10^{-5}$ м;
- і для варіанта з елементами зв'язку:
- максимальні: $0,167 \cdot 10^{-5}$ м;
 - мінімальні: $-0,587 \cdot 10^{-5}$ м.

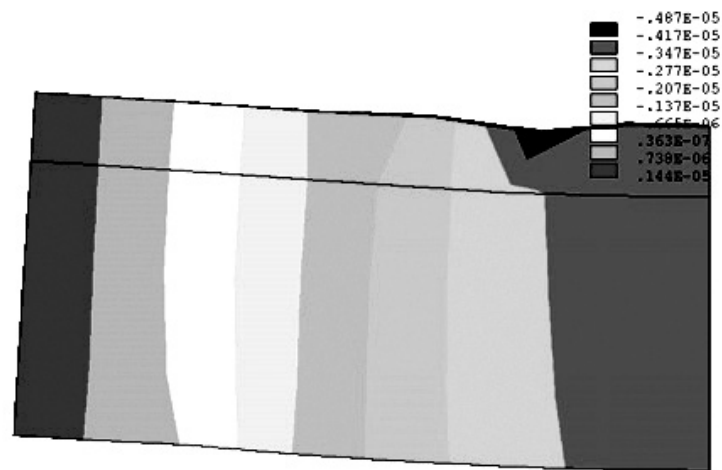


а.

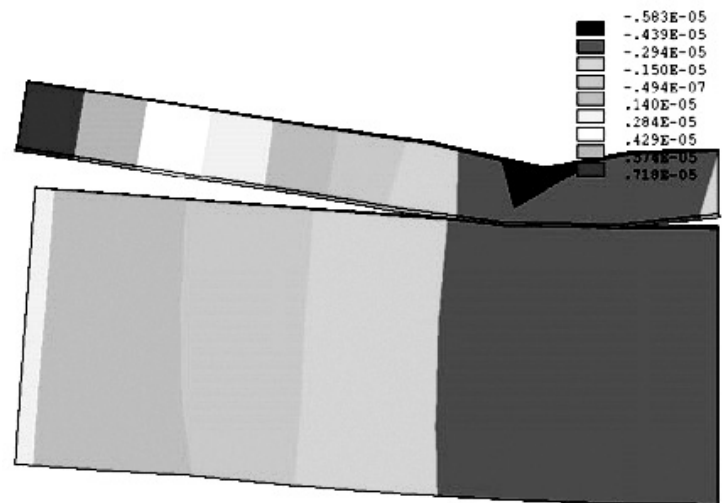


б.

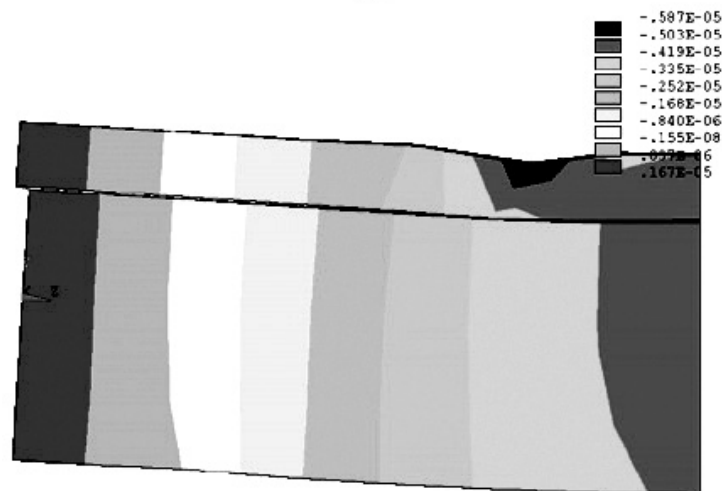
Рис. 4.14. Поле інтенсивності напруг (Па):
 а – коефіцієнт тертя $\mu = 0$; б – коефіцієнт тертя $\mu = 0,7$



a.



б.



в.

Рис. 4.15 Поле переміщень (м), нормальних до поверхні контакту:
a – заданий приконтактний шар; *б* – задана умова контактної взаємодії, *в* – задані елементи зв'язку

Зміна модуля пружності ремонтного шару при різних умовах контактної взаємодії матеріалів приводить до істотно різних результатів спільної роботи цих матеріалів [84, 85].

Для адекватного моделювання умов контактної взаємодії багатошарових бетонних зразків за допомогою методу кінцевих елементів потрібно використовувати елемент, що добре б працював на стиск і на зсув і, крім того, дозволяв би розірвати зв'язки між вузлами, що з'єднує (тобто між шарами) при досягненні в ньому напруг, що перевищують припустимі. Умова контактної взаємодії між шарами бетону дозволяє адекватно моделювати стиск і міцність на зсув (за допомогою завдання коефіцієнта тертя), але не дозволяє моделювати відрив/відшарування, тому що не передбачає зв'язків між поверхнями контакту. Елемент зв'язку, у свою чергу, працює тільки в одному напрямку (не працює на зсув) і як показали дослідження (порівняння з контактною задачею), працює адекватно. Елемент зв'язку дозволяє моделювати розрив зв'язку при досягненні визначеного рівня напруг. При визначенні міцностних властивостей ремонтного складу також необхідно враховувати знак і величину деформацій поверхні споруди, що ремонтується, які у свою чергу залежать від геометрії виробу і діючих на нього навантажень.

Застосування запропонованої системи та методики моделювання взаємодії ремонтного шару зі спорудою в практиці ремонту і відновленні залізобетонних споруд дозволяє істотно знизити собівартість ремонтних робіт за рахунок раціонального вибору матеріалів і ефективних технологічних рішень [79, 86, 87]. Використання подібної системи у провідних організаціях, під контролем яких знаходиться велика кількість об'єктів, дозволить підвищити оперативність і знизити вартість ремонтно-профілактичних робіт.

Висновки до розділу 4

З метою забезпечення якості ремонтних робіт проведено аналіз можливих впливів на ремонтну систему в умовах експлуатації. Розглянуто основні елементи критерію сумісності ремонтної системи за різними ознаками і надано їм характеристику при виборі ремонтного матеріалу.

Проведені дослідження із застосуванням новітніх інформаційних технологій і зокрема математичного моделювання привели до розробки комплексної системи відновлення працездатності залізобетонних штучних споруд.

Розроблена бібліотека моделей конструкцій штучних споруд із внесеними дефектами і пошкодженнями. Впровадження розробленої бібліотеки моделей істотно знизить час і вартість розробки базових моделей споруд, дозволить проводити поглиблений аналіз і оптимізацію різних проектних рішень. Базові моделі коректуються на всіх етапах життєвого циклу конструкцій за результатами їхніх періодичних оглядів.

Основною задачею розробленої системи є забезпечення об'єктивності й ефективності прийняття рішень при ремонті і реконструкції залізобетонних споруд. Для цього, на основі створених і відкоректованих моделей запропоновано проводити на першому етапі уточнену оцінку залишкової несучої здатності дефектних конструкцій і визначення найбільш небезпечних зон конструкції потребуючих особливо-го контролю.

Застосування запропонованої системи та методики моделювання взаємодії ремонтного шару зі спорудою в практиці ремонту і відновленні залізобетонних споруд дозволяє істотно знизити собівартість ремонтних робіт за рахунок раціонального вибору матеріалів і ефективних технологічних рішень. Використання подібної системи у провідних організаціях, під контролем яких знаходиться велика кількість об'єктів, дозволить підвищити оперативність і знизити вартість ремонтно-профілактичних робіт.

З метою проведення порівняльного аналізу напруженого стану двошарових зразків при різному моделюванні умов контактної взаємодії, і обліку різномодульності матеріалів були досліджені умови спільної роботи різномодульних матеріалів при різних умовах моделювання контакту.

Матеріали для ремонту та зведення штучних транспортних споруд

5.1. Технологічні та експлуатаційні властивості ремонтних матеріалів

Матеріали для ремонту бетонних та залізобетонних штучних споруд на об'єктах колійного господарства повинні мати відповідні до технології ремонту фізико-механічні властивості. Однак, не зважаючи на те, що способів ремонту багато, можна виділити такі основні загальні властивості ремонтних матеріалів: рухливість, термін втрати рухливості та набору міцності, міцність при стисканні, міцність при вигині, адгезійна міцність до поверхні, що ремонтується (зчеплення), деформаційні показники при усадці та набуханні, корозійна стійкість, морозостійкість.

При виборі матеріалів для ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій особливу увагу слід звернути на технологічні властивості. **Технологічні властивості** – це властивості сумішей до переходу у каменеподібний стан.

Деякі з властивостей технологічності полегшують укладання матеріалу, але можуть несприятливо позначитися на формуванні інших властивостей матеріалу.

При виборі матеріалів знання фізичних і хімічних властивостей матеріалу в пластичному стані визначає вибір методу укладання. Наприклад, консистенція матеріалів, які можна наносити вручну кельмою, значно відрізняється від консистенції матеріалів, які нагнітаються за допомогою насосів.

При виробництві робіт неправильне виконання операцій з перемішування, укладання і догляду можуть змінити властивості укладеного матеріалу. Тому дуже важливо при виборі матеріалів знати, як польові умови можуть впливати на матеріал.

При виборі матеріалів властивості технологічності можуть залежати від вимог, які пред'являє замовник до умов виконання робіт. До таких вимог можуть відноситися обмеження робочого простору, відсутність перешкод для експлуатації об'єкта, відсутність шуму, запахів, пилу і т. д., а також виробництво робіт тільки в нічний час.

При виборі матеріалів необхідно враховувати таку технологічну властивість як *текучість* матеріалу.

Текучість ремонтного матеріалу дуже важлива властивість, що забезпечує здатність матеріалу проникати в порожнини і заповнювати їх. При окремих методах укладання ремонтного матеріалу, наприклад, при нагнітанні насосом в опалубку, бетонування з укладанням в опалубку або роздільне бетонування, характеристики текучості мають значний вплив на якість ремонтних робіт. При виконання таких робіт досить дотримуватися вимог щодо осадки (розпливу) конусу ремонтного матеріалу.

Для забезпечення високої якості робіт текучість (легкоукладальність) ремонтного матеріалу повинна призначатися з урахуванням вимог щодо його водонепроникності, міцності і морозостійкості.

При виборі ремонтних матеріалів потрібно звернути увагу на швидкість набору міцності при твердінні. Дуже швидкий набір міцності твердіючим матеріалом може негативно позначитися на транспортуванні і укладанні матеріалу в конструкцію. Дуже повільне зростання міцності може створити проблеми зі строками виконання робіт у «вікно», при стислих термінах здачі об'єкта в експлуатацію може порушити послідовність технологічного потоку, а також привести в ряді випадків до негативних наслідків при забезпеченні необхідної якості робіт. При ремонті конструкцій, що експлуатуються, матеріал, як правило, повинен допускати навантаження конструкцій через добу після укладання.

При виборі ремонтних матеріалів потрібно враховувати наявний робочий час. Під *робочим часом* розуміють інтервал часу з моменту завершення перемішування матеріалу до початку його тужавіння.

Тривалість робочого часу залежить від властивостей матеріалу, температури. В технічних умовах робочий час необхідно відображати у хвилинах при певній температурі твердіння.

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.).

Експлуатаційні характеристики повинні забезпечувати ефективну та довговічну сумісну роботу ремонтного матеріалу з матеріалом конструкції, що включає:

- можливість перерозподілу навантажень між «старим» та «новим» бетоном без порушення контакту при відновленні робочої площі перерізу (геометрії конструкції);
- збереження суцільності контакту між матеріалами при виникненні деформацій, викликаних зовнішніми факторами та внутрішніми процесами, що протікають в матеріалах;
- підвищення стійкості відремонтованих ділянок, що до ремонту піддавались інтенсивним агресивним впливам.

До експлуатаційних властивостей ремонтних матеріалів відносяться такі:

- модуль пружності,
- показники усадкових деформацій;
- повзучість (при стиску та розтягу);
- коефіцієнт термічного розширення;
- проникність (водо-, паро-, газо);
- морозостійкість;
- корозійна стійкість в середовищі експлуатації конструкції;
- зносостійкість;
- адгезійна міцність контакту з «старим» бетоном;
- міцність та інтенсивність її набору.

При виборі ремонтних матеріалів враховується сумісність з подальшою поверхневою обробкою; необхідно визначити матеріали, з якими виникає ризик несумісності, і встановити можливість використання цих матеріалів разом.

Для цієї мети необхідно провести пробні випробування зразків, звернутися до наявного досвіду або проконсультуватися з постачальником матеріалів.

Дані про властивості ремонтних матеріалів можна одержати з наступних джерел:

- посібників і рекомендацій з ремонту залізобетонних конструкцій;
- оціночних свідоцтв;
- контрактів і контактів з постачальниками;
- результатів випробувань.

Дані виробника (постачальника) за показниками міцності на стискання, міцності на вигін, міцності на розтягнення і міцності зчеплення при зсуві під кутом часто представлені в інформаційних листах на матеріал від постачальника. Інші властивості матеріалів рівної або більшої значимості, такі як усадка при твердінні, модуль пружності, міцність зчеплення з субстратом, повзучість, проникність і водопаропроникність можуть бути не зазначені та, при необхідності, повинні визначатися організацією, що проводить ремонт.

При виборі матеріалів не можна керуватися загальним описом матеріалів, а саме такими характеристиками як сумісний, безусадочний, розширюючийся і т. ін., якщо такі твердження не підтверджуються даними, отриманими на підставі стандартних методів випробувань.

Асортимент ремонтних матеріалів на будівельному ринку часто змінюється по безлічі причин, в тому числі через зміну власника, заміни сировинних матеріалів, екологічних норм і впровадження нових технологій. В таких випадках часто змінюються властивості матеріалів. У зв'язку з цим для підтвердження можливості використання матеріалів з проектними критеріями рекомендується проводити незалежні випробування ремонтних матеріалів, особливо якщо пріоритет віддається довговічності, надійності і виробництву значних об'ємів ремонтних робіт.

5.1.1. Вибір матеріалів з урахуванням виду дефекту або пошкодження, технології ремонту та властивостей матеріалів

Відомо, що кілька типів матеріалів може відповідати проектним критеріям для забезпечення надійного ремонту. У таких умовах при виборі ремонтного матеріалу слід розглядати інші фактори: зручність нанесення, вартість, наявність кваліфікованих робітників і необхідного обладнання. Однак і в цих випадках слід керуватися принципом: ремонтувати «подібне подібним». І лише в тих випадках, де це не прийнятно, слід застосовувати інші матеріали, що дозволяють ефективно вирішити важко розв'язувані проблеми.

Якщо товщина ремонтного шару несучих конструкцій не перевищує 10 см, застосовуються бетони зі спеціальних сухих сумішей (в подальшому – спеціальні бетони). Справа в тому, що бетони і розчини, що виготовляються на місці змішуванням інертних заповнювачів, цементу та води, як і на новому будівництві, не завжди забезпечують отримання необхідних для ремонту властивостей: поєднання безусадковості і пластичності, підвищеної міцності зчеплення зі «старим» бетоном, прискореного набору міцності й таке інше.

Бетони із сухих сумішей кращі також у випадках невеликих обсягів робіт і недоступності місця проведення ремонтних робіт для постачання звичайних бетонних сумішей за допомогою автобетонозмішувачів і коли при застосуванні звичайних бетонів не забезпечується необхідна якість робіт.

При товщині ремонтного шару несучих конструкцій понад 10 см використовуються спеціальні бетони з додаванням щебеню (до 40 % за масою) або бетони, що готуються на місці із суміші інертних заповнювачів зі спеціальним цементом, що забезпечує відсутність усадки і швидкий набір міцності.

Ремонт масивних конструкцій зі значними пошкодженнями допускається виконувати, за рахунок застосування бетонів на портландцементі з низьким тепловиділенням.

Якщо ремонту підлягають вертикальні, стельові і похилі поверхні проект ремонту може передбачити застосування тиксотропних або наливних бетонів із сухих сумішей. Тиксотропні бетони наносять набризком або вручну при мінімальних (до 5 %) втратах (наблизь не вимагає високих тисків, що використовуються при торкретуванні).

При значній, понад 10 % втрати площі перерізу арматури внаслідок корозії, за оптимальні ремонтні склади приймаються спеціальні фібробетони, що виготовляються із сухих сумішей. Завдяки високій міцності на розтяг такі бетони компенсують зниження несучої здатності арматури.

Тріщини в конструкціях поділяють на активні і неактивні. Активні можуть змінювати розкриття під впливом навантаження і змін температури. Неактивні не змінюють розкриття при зовнішніх впливах. Герметизація тріщин з розкриттям до 0,3 мм і розташованих на бічних, закритих зверху і нижніх поверхнях конструкцій здійснюється тільки після усунення можливості фільтрації води в них і утворення патьоків на цих тріщинах. Неактивні тріщини герметизуються ін'єктуванням в них складу, що має жорстке з'єднання з бетоном. Для герметизації волосяних тріщин використовують захисні покриття, що створюють плівку на поверхні бетону.

Активні (дихаючі) тріщини можуть перетворюватися в неактивні за рахунок відповідного підсилення конструкції, відновлюючого її монолітність. Тріщини, що змінюють своє розкриття при прикладенні тимчасових або температурних навантажень до 0,3 мм, герметизуються еластичними складами, мастиками, не схильними до розривів при змінах розкриття.

Тріщини, що змінюють ширину розкриття при прикладенні тимчасових або температурних навантажень на величину більше 0,3 мм, герметизуються еластичними складами, що мають відносно видовження при розриві не менше 50 %. До таких тріщин відносять температурно-усадочні тріщини в стінах і перекриттях, що розкриваються під дією тимчасових і температурних навантажень.

Тріщини, що мають при температурі зовнішнього повітря 5...10 °C розкриття 0,3 мм і більше, ін'єктують полімерними розчинами. При цьому якщо тріщина змінює величину розкриття, то застосовуються еластичні ін'єкційні розчини.

Якщо на поверхні бетону поряд з неглибокими неактивними тріщинами є відколи, раковини, ділянки лушення, поверхневий шар підлягає видаленню і заміні.

Поверхневі тріщини, які не впливають на міцність і корозійну стійкість конструкцій, ремонтуються їх закриттям шляхом нанесення на бетон герметизуючих складів.

Час лікування тріщин встановлюється індивідуально після проведення натурних обстежень та класифікації тріщин.

Температурні тріщини в підпірних стінах і стінах тунелів не можна ремонтувати при температурах зовнішнього повітря і бетону вище плюс 10 °С. Такі тріщини слід ремонтувати при температурі бетону конструкцій, рівної 5...10 °С.

Закриття тріщин можна починати тільки після усунення дефектів гідроізоляції та водовідведення, а також після видалення води, що скупчилася в порожнинах, порах і тріщинах бетону (бетон повинен бути сухим). У разі якщо бетон висушити не вдається, тріщини рекомендується лікувати з використанням матеріалів, що забезпечують герметизацію і надійне зчеплення з бетоном конструктивного елементу, що ремонтується в присутності води і матеріалами, що володіють високою проникаючою здатністю (еластичні епоксидні смоли ЕЛД 283 і ЕЛД 552) [88–91].

Зазначені види еластичних епоксидних смол та інші синтетичні еластичні герметики використовують також при лікуванні активних тріщин і для захисту бетону від намокання.

Спеціальні бетони та фібробетони для ремонту несучих конструкцій виготовляються із сухих сумішей, що виготовлені за технічними умовами, узгодженими з головними організаціями з конкретних об'єктів.

До спеціальних бетонів, які використовуються при ремонті мостів на експлуатованих залізничних дорогах, висуваються такі вимоги:

- міцність під час стискання: через 24 години – не нижче класу В 15; через 28 діб – не нижче класу В 45;
- міцність зчеплення зі «старим» бетоном через 28 діб – не нижче 2,5 МПа;
- міцність зчеплення з гладкою арматурою через 28 діб – не нижче 3 МПа;
- усадка в пластичному і затверділому стані не допускається;
- морозостійкість – не нижче F 300;
- водонепроникність – не нижче W 10;
- коефіцієнт сульфатостійкості – не нижче 0,8;
- легкоукладальність для бетонів із сумішей з крупністю наповнювача до 3 мм, що визначається за розпливом конуса – не менше 17 см, а з крупністю наповнювача більше 3 мм – не менше 20 см.

Вимоги до спеціальних бетонів для інших об'єктів транспортного призначення і споруджуваних об'єктів повинні бути призначені проектною організацією. На сьогоднішній день перевага віддається спеціальним бетонам здатним до самоущільнення, що не вимагають застосування вібраторів при укладанні [92–98].

Спеціальні фібробетони повинні відповідати вимогам: міцності на розтяг при згині: через 24 години – не нижче 10 МПа; через 28 діб – не нижче 15 МПа. На відкритих спорудах залізничного транспорту застосовується металева фібра з антикоррозійним покриттям.

Бетони ремонтних шарів товщиною понад 10 см на несучих конструкціях повинні відповідати наступним вимогам.

Міцність при стисканні: через 24 години – не нижче 12,5 МПа; через 28 діб – не нижче 40 МПа.

Необхідна морозостійкість визначається проектною організацією залежно від району будівництва і в будь-якому випадку повинна бути не нижче марки F 150. Водонепроникність – не нижче W 8.

Бетони та розчини для вирівнюючих шарів, шарів захисту гідроізоляції та інших елементів споруд, що не відносяться до несучих конструкцій, характеризуються наступними характеристиками:

Міцність на стиск: через 24 години – не нижче класу B10; через 28 діб – не нижче класу B25.

Для ремонтних робіт в аварійних умовах застосовуються склади, рекомендовані організацією-виробником сухих сумішей для спеціальних бетонів стосовно конкретного випадку. Сюди входять особливо швидкотверднучі бетони (клас B10 через 3 години після укладання), склади для бетонування в зимових умовах і т. п.

При проведенні ремонту обов'язково враховуються вимоги до арматури і заповнювачів.

Марки сталі для арматури залізобетонних опор, встановленою за розрахунком, залежно від умов роботи і середньої температури зовнішнього повітря найбільш холодної п'ятиденки в районі виконання робіт приймаються згідно з табл. 29 п. 3.33 СНиП 2.05.03-84.

Арматурна сталь класу А-II марки В Ст5 ПС2 допускається до застосування в опорах мостів, якщо діаметр її стержнів в мм не більше: 20 – для елементів з арматурою, не розрахованою на витривалість; 16 – те ж, що розраховується на витривалість.

Спосіб ремонту вибирають залежно від впливу пошкоджень на несучу здатність і довговічність споруд з урахуванням величини розкриття тріщин.

Поверхневі пошкодження залежно від їх величини, місця знаходження і типу конструкції ремонтують з влаштуванням або без влаштування опалубки.

Додаткова арматура встановлюється при відновленні або збільшенні несучої здатності конструктивних елементів.

Таким чином, основною задачею технолога є підбір необхідних матеріалів та розробка таких сумішей, які дозволять виконати якісний ремонт споруди обраним методом [56–60].

При ремонті бетонних та залізобетонних споруд взагалі та штучних зокрема використовують 3 категорії матеріалів (табл. 5.1):

- розчини та бетони на мінеральних в'язучих, без добавок та розчини та бетони на мінеральних в'язучих, з добавками;
- полімерцементні розчини та бетони;
- полімерні розчини та полімербетони.

Порівняльні фізико-механічні характеристики категорій ремонтних матеріалів наведені в табл. 5.2.

Міцнісні властивості полімеррозчинів та звичайних цементних розчинів відрізняються значно, властивості модифікованих полімером цементних розчинів є проміжними.

Міцнісні та деформативні властивості простих цементних розчинів будуть найбільш наближеними до аналогічних властивостей більшості бетонних основ, тобто найбільш близькими за критерієм сумісності.

Проте, з урахуванням інших важливих характеристик, що впливають на довговічність, умови ремонту та експлуатації приймають рішення про застосування матеріалу того чи іншого типу:

- якщо бетон споруди зруйнувався в результаті агресивних умов експлуатації, таких як знос/стирання або хімічний вплив, для ремонту найбільш доцільно застосовувати високоміцні і хімічностійкі полімерні склади (полімербетони) [99–102];
- при проведенні ремонту (оштукатурювання) вертикальних поверхонь або стель тонким шаром – застосовуються модифіковані полімером цементні склади, що характеризуються високою адгезією до основи, когезією, щільністю й іншими характеристиками;

**Категорії матеріалів для ремонту
бетонних та залізобетонних транспортних споруд**

Назва матеріалу	Основні властивості	Рекомендації щодо використання
Цементні розчини та бетони	Нормальна щільність та міцність, нормальне бетонування; незначна адгезія до старого бетону. Вимагають ретельного і тривалого догляду при твердінні, або застосування захисних покриттів	Ремонт і підсилення масивних елементів (опор мостів), виконання залізобетонних оболонок, поясів; виконання зливів; ремонт захисного шару елементів, що працюють тільки на постійне навантаження; ремонт раковин, порожнин, закриття тріщин у невідповідальних елементах, що працюють на постійне навантаження.
Полімерцементні розчини та бетони	Підвищена в'язкість, добре повітроутримання, підвищена (у порівнянні з цементними) щільність і міцність, підвищена адгезія до бетону. Не вимагає при твердінні ретельного догляду. При використанні пігментів, вид поверхні відповідає підвищеним естетичним вимогам.	Ремонт пошкоджених елементів мостів та труб у зонах, де є оголена попередньо напруженої арматура; затирання тріщин; для виготовлення ін'єкційних розчинів; відновлення захисного шару до проектного розміру і т. ін.
Полімерні розчини та бетони	Висока міцність, щільність та непроникність, стійкість у агресивному середовищі. Підвищена адгезія до сухого бетону. Знижений термін придатності приготовленої суміші 30...40 хв.	Ремонт сколів бетону у зонах, де необхідне відновлення його розрахункової міцності при стисканні та згині; або коли необхідно досягнення високої хімічної та механічної стійкості відремонтованого елементу; або для прибетонування збірних підсилюючих елементів до залізобетонних конструкцій; для виготовлення ін'єкційних розчинів, виготовлення захисних лаків і т. ін.

– якщо потрібі проведення ремонтних робіт при температурі нижче температури замерзання, або з метою швидкого тужавіння і твердіння (отримання високої початкової міцності) застосовують спеціальні матеріали для ремонтних робіт з високою початковою екзотермією, такі, як деякі полімеррозчини (смоли вінілового спирту), цементні композиції з вмістом фосфорнокислого магнію або на основі високоглиноземистих цементів.

Таблиця 5.2

Типові механічні властивості ремонтних матеріалів

Властивості	Полімеррозчин	Модифікований полімером цементний розчин	Простий цементний розчин
Міцність під час стискання, МПа	50...100	30...60	20...50
Міцність під час розтягу, МПа	10...15	5...10	2...5
Модуль пружності, МПа	$(10...20)10^3$	$(15...25)10^3$	$(20...30)10^3$
Коефіцієнт термічного розширення, см / °С	$(25...30)10^{-6}$	$(10...20)10^{-6}$	$10 \cdot 10^{-6}$
Водопоглинання, % (за масою)	1...2	1...5	5...15
Максимальна температура експлуатації, °С	40...80	100...300	> 300

Перед вибором ремонтного матеріалу необхідне виявлення причин руйнування бетону конструкцій, вивчення умов експлуатації та дослідження характеристик матеріалу основи для забезпечення сумісності.

Підбір ремонтного матеріалу з необхідними властивостями – одна з складових системи забезпечення проведення ефективного ремонту бетонних та залізобетонних конструкцій.

В цьому розділі наведені відомості про в'язучі матеріали та добавки, які рекомендується використовувати при виготовленні розчинів та бетонів для ремонту бетонних та залізобетонних споруд, які експлуатуються в колійному господарстві Укрзалізниці.

5.2. Матеріали на основі мінеральних в'язучих речовин

За останні роки значно розширено ринок ремонтних матеріалів на основі цементу, що володіють широким спектром різноманітних властивостей.

Розчини на мінеральних в'язучих без домішок, для ремонту готуються з наступних компонентів: цементу, води; піску, наповнювача (мелений пісок, аморфний кремнезем, відходи виробництва феросиліцію – ПГПФ тощо) [103–110].

Введення у такий розчин відповідної кількості щебеню або гравію дозволяє отримати бетонну суміш для конструктивного ремонту і зведення транспортних споруд.

Розрізняють бетони і фібробетони на основі цементу, виготовлені на основі сухих сумішей, бетони або розчини на основі напружувального цементу, пластичний або тиксотропний бетон або розчин на основі цементу для роботи на стельових і вертикальних поверхнях або для роботи в обмежених умовах.

Рекомендується в якості в'язучого, при виготовленні сумішей для ремонту бетонних та залізобетонних штучних споруд, використовувати портландцемент, що відповідає ДСТУ Б В. 2.7-46:2010.

Портландцемент – це гідравлічна в'язуча речовина, яка твердіє, набирає і зберігає міцність як на повітрі, так і у воді.

Нижче наведено основні види цементів, що використовують при ремонті та зведенні бетонних та залізобетонних транспортних споруд:

- портландцемент;
- портландцемент з мінеральними добавками;
- портландцемент швидкого тверднення;
- шлакопортландцемент;
- шлакопортландцемент швидкого тверднення;
- сульфатостійкий портландцемент;
- сульфатостійкий портландцемент з добавками;
- сульфатостійкий шлакопортландцемент;
- пуцолановий портландцемент.

Співробітниками ГНДЛ «Матеріали та будівлі для залізничного транспорту» проведено дослідження властивостей наведених цементів і визначено шляхи ефективного їх застосування.

Цементи з прискореним нарощуванням міцності характеризуються високою міцністю в початкові строки твердіння. Шляхи отримання – зміна співвідношення між головними фазами в складі ПЦ клінкеру, підвищення тонкості помелу, введення пластифікаторів та суперпластифікаторів, модифікація складу клінкеру (галогеновміщуючими речовинами).

Швидкотверднучий портландцемент одержують тонким подрібненням клінкеру (до питомої поверхні не менш як $350 \text{ м}^2/\text{кг}$), додаючи як регулятор строків тужавлення 3...5 % гіпсу. Марки М400Р і М500Р (Р – цемент з високою міцністю в ранньому віці).

Через дві доби міцність під час стискання – 15...25 МПа (половина марочної).

Застосування: дозволяє виключити або скоротити терміни тепловологісної обробки, можливість проведення робіт при від’ємних температурах, прискорити темпи виконання ремонтних робіт.

Наявність підвищеного тепловиділення швидкотверднучого портландцементу при твердінні виключає можливість його застосування при виготовленні масивних конструкцій.

Особливо швидкотверднучий високоміцний портландцемент – прискорена кінетика зміни міцності (1 доба – міцність під час стискання 20 МПа), що забезпечується високою тонкістю помелу ($400 \text{ м}^2/\text{кг}$) та особливостями мінералогічного складу – високий вміст C_3S (65...68 %) при помірній кількості C_3A (до 8 %).

Введення активних мінеральних домішок не допускається, що призводить до зниження фізико-механічних характеристик каменю в початкові строки твердіння.

Застосування: з метою зниження витрати в’язучого на 15...20 % при виробництві високоміцних бетонів, скорочення часу та енергоємності теплової обробки.

Надшвидкотверднучий портландцемент («Jet-цемент», Японія). одержують на базі клінкеру, що синтезується з використанням галогеновміщуючих речовин (фторидів або хлоридів кальцію).

Порівняно з портландцементом, «Jet-цемент» містить більше сульфату. При марочній міцності 40...50 МПа – короткі терміни тужавіння та підвищена міцність в початкові терміни: після 12 год

міцність – 15...18 МПа, після 24 год – 22...29 МПа, що обумовлено утворенням еtringіту та деякої кількості моноссульфоалюмінату кальцію. На 7 добу міцність становить 35...45 МПа.

Превагами такого цементу являється застосування при від'ємних температурах, підвищена морозостійкість.

Недоліком є низька сульфатостійкість, яка може підвиситися при заміні 20 % цементу золою-винесення, що сприяє зв'язування вільного гідроксиду кальцію в малорозчинні силікати кальцію.

Пластифікований портландцемент отримують додаванням при подрібненні клінкеру з гіпсом пластифікуючої добавки – лігносульфонату технічного (ЛСТ) в кількості 0,15...0,25 %.

Пластифікуючий ефект дозволяє зменшити водопотребу цементу, що сприяє підвищенню щільності, морозостійкості, водонепроникності (сульфатостійкості) бетону. Перевагою також є той факт, що при збереженні В/Ц – зниження витрати цементу на 10...15 %.

Гідрофобний портландцемент отримують додаванням при подрібненні клінкеру з гіпсом гідрофобізуючої добавки в кількості 0,08...0,25 % (олеїнової кислоти, милонафту, а також кремнієорганічних сполук).

Сутність гідрофобізації полягає у наступному: на поверхні цементних зерен утворюються мономолекулярні адсорбційні водовідштовхуючі плівки, які зменшують гігроскопічність часток цементу при його перевезенні та складуванні в умовах з підвищеною вологістю повітря без втрати активності.

При перемішуванні розчинової чи бетонної суміші з таким цементом руйнується цілісність гідрофобної плівки й цемент взаємодіє з водою.

Превагами гідрофобного цементу являється підвищена водонепроникність, морозостійкість і корозійна стійкість. Недоліком є деяке сповільнення процесів тужавіння в початкові терміни твердіння.

Застосування: у гідротехнічному, шляховому, аеродромному будівництві, де важливі такі властивості, як підвищена водо-, морозостійкість, стійкість в умовах змінної вологості. Також застосування цього цементу ефективно при проведенні штукатурно-оздоблювальних робіт, оскільки він в деякій мірі запобігає висолоутворенню.

В'язучі низької водопотреби (ВНВ) отримують спільним помілом портландцементу і суперпластифікатором С-3 (питома поверхня

– 480...520 м²/кг). Нормальна густина тіста на ВНВ не перевищує 16 % проти 24...30 % для звичайного портландцементу.

Залежно від вмісту портландцементу М400 (відповідно від 100 до 30 %), отримують цементі марок ВНВ-100 (без мінеральної добавки) ВНВ-30. Мінеральними добавками служать гранульовані шлаки, зола-винесення, молотий кварцовий пісок. З підвищенням вмісту мінеральної добавки міцність при стисканні зменшується з 90...100 до 40...50 МПа.

Морозостійкість бетону на ВНВ перевищує 500 циклів. Міцність бетонів на основі ВНВ у віці 28 діб зростає майже у 2 рази. При рівних витратах в'язучої речовини міцність бетонів на ВНВ перевищує міцність бетонів на основі тонкомелених цементів з добавкою С-3 на 18...28 %, а у віці 28 діб – на 50...60 %.

Застосування: для високоміцних бетонів В50...В70 (витрата цементу 250...400 кг/м³), малоцементних бетонів В10...В40 (витрата цементу 150...200 кг/м³), бетонів з високорухливих сумішей класів В15...В50 (витрата цементу 200...350 кг/м³).

Сульфатостійкі портландцементи утворюють цементний камінь, стійкий до дії водних середовищ, вміщуючих сульфат-аніони за рахунок використання цементів із низьким вмістом С₃А.

Сульфатостійкий портландцемент ДСТУ Б В.2.7-85-99 отримують на основі клінкеру, в якому вміст С₃S не повинен перевищувати 50 %, С₃А – не більше 6 %, а сума С₃А і С₄АF – не більше 22 %.

Сульфатостійкий портландцемент із мінеральними добавками може містити від 10 до 20 % гранульованих шлаків, пуцолани або їхні суміші. Випускають марки М400, М500, використовується для отримання гідротехнічних бетонів, що експлуатуються в мінералізованих і прісних водах.

Такий цемент є белітовим і відрізняється повільним нарощуванням міцності, особливо в початкові строки твердіння. При відносно низькому вмісті С₃А та С₄АF, цемент відрізняється високим вмістом кремнезему і тому з часом характеризується досить високою міцністю.

Поряд з високою стійкістю проти сульфатної агресії, сульфатостійкий портландцемент характеризується відносно низьким тепловиділенням за рахунок обмеженої кількості високоекзотермічних мінералів С₃S і С₃А і може використовуватись при масивному бетонуванні.

Недоліком і обмеженням у використанні є висока вартість.

Тампонажний цемент застосовується при бурінні нафтових і газових свердловин для відокремлення нафто- і газонесних шарів від водоносних.

До тампонажних цементів висувають такі вимоги, як здатність до утворення легкорухомих суспензійностійких систем, що можна перекачувати насосами і які зберігають початкову консистенцію у статичних і динамічних умовах: при тампонуванні свердловини глибиною до 1 800 м – не менш як 1 год 20 хв, до 4 000 м – не менш як 2 год 20 хв. Цементний камінь повинен не тільки мати достатню міцність, але й відрізнятися водо- і газонепроникністю, стійкістю в середовищі сольової та сірководневої агресії.

Шлакопортландцемент одержують змішуванням попередньо змелених компонентів або спільним помелом портландцементного клінкеру, гіпсу (до 5 %) і гранульованого доменного шлаку 36...80 %. За ДСТУ Б В.2.7-46:2010 передбачено випуск двох типів: ШПЦ Ш/А та ШПЦ Ш/Б, які містять гранульований доменний шлак в кількості 36...65 % та 66...80 % відповідно. ШПЦ випускають трьох марок: М300, М400 і М500.

Незначний вміст $\text{Ca}(\text{OH})_2$ додає вищої стійкості ШПЦ в м'якій і сульфатній воді порівняно зі звичайним цементом. Тепловиділення шлакопортландцементу при твердінні в 2...2,5 рази нижча, ніж звичайного (можливість застосування для масивних бетонних конструкцій). Помірна водопотреба, достатня повітро- і морозостійкістю дає можливість застосування для наземних, підземних і підводних частин споруд. Вартість ШПЦ на 15...20 % нижча ніж звичайного цементу.

Недоліком являється повільний набір міцності в початковий період твердіння, особливо при від'ємних температурах.

Швидкотверднучий шлакопортландцемент характеризується підвищеним вмістом в клінкері C_3S і C_3A , кількість шлаку 36...50 %, підвищена тонкість помелу до 3 500...4 500 $\text{cm}^2/\text{г}$. Міцність при стисканні цементу марки М400Р за дві доби твердіння складає не менше 15 МПа, через 28 діб – не нижче 40 МПа.

Сульфатостійкий шлакопортландцемент являється різновидом ШПЦ, в якому використовують клінкер із вмістом C_3A не більше ніж 8 % і гранульований доменний або електротермофосфорний шлак із вмістом Al_2O_3 не більше 8 %.

Такий цемент стійкий до дії розчинів сульфату і хлориду магнію, запобігає розвитку лужної корозії, що викликається взаємодією лугів цементу з активним заповнювачем (безпечна кількість лугів у цементі досягає 2 %).

Низьке тепловиділення і підвищена жаростійкість порівняно зі звичайним цементом дозволяє зведення масивних споруд, в тому числі гідротехнічних та конструкцій гарячих цехів.

Не рекомендується застосовувати ШПЦ у зоні змінного рівня води, а також у будівництві при дії низьких температур без штучного обігрівання.

Позитивні властивості *сульфатно-шлакового цементу* обумовлені здатністю сульфату кальцію в лужному середовищі активізовувати гідравлічні властивості доменних гранульованих шлаків. Різновиди – гіпсошлаковий цемент, що містить 80...85 % шлаку і 10...15 % ангідриту та шлаковий безклінкерний цемент – містить 85...90 % шлаку, 5...8 % ангідриту і 5...8 % доломіту. Міцність 30...40 МПа.

Сульфатно-шлакові цементи мають підвищену стійкість у м'яких і сульфатних водах. Ці цементи відрізняються низьким тепловиділенням і можуть бути застосовані у масивних конструкціях, у підводних і підземних спорудах, особливо там, де вони піддаються дії агресивних вод або вилуговуванню. Не слід використовувати такі цементи у зоні змінного зволоження і висушування, а також при низьких температурах.

Пуцоланові цементи одержують спільним помелом клінкеру, природного гіпсу (3...5 %) та активної мінеральної добавки (21...55 %).

Природні або штучні силікатні матеріали в тонкоподрібненому вигляді під час замішування з водою самотійно не тверднуть, але під час гідратації цементу здатні зв'язувати вільний гідроксид кальцію у практично нерозчинні гідросилікати кальцію, що істотно підвищує стійкість цементу до корозії, пов'язаної з вилуговуванням $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Пуцоланові цементи випускають марок М300 і М400. Для отримання сульфатостійкого пуцоланового портландцементу в складі клінкеру обмежують кількість C_3A (не більше 8 %).

Залежно від виду активної мінеральної добавки водопотреба пуцоланових цементів може бути значно вищою ніж ПЦ (до 35 %).

Помірне тепловиділення дозволяє використовувати пуцолановий цемент у масивному гідротехнічному будівництві.

Негативні властивості: підвищені деформації усадки та набухання, відносно низька морозостійкість та стійкість в умовах навіперемінного зволоження і висушування, в деяких випадках низька повітро-стійкість.

Рекомендується застосовувати для підводних і підземних частин споруд, особливо при необхідності підвищеної стійкості проти дії м'яких і сульфатних вод, а також водонепроникності за рахунок набухання гелеподібних складових в порах.

Краще використовувати пуцолановий портландцемент для наземних конструкцій, що перебувають в умовах підвищеної вологості, але не зазнають частого заморожування.

Не рекомендується застосовувати пуцолановий портландцемент у конструкціях для будівництва у районах із сухим кліматом, при спорудженні об'єктів, що піддаються систематичному заморожуванню і відтаванню, зволоженню і висушуванню, а також використовувати при температурах нижче 10 °С без штучного обігрівання.

Композиційні цементи набули широкого розповсюдження у зв'язку з можливістю вирішення деяких екологічних проблем, пов'язаних з виробництвом портландцементу та необхідністю створення в'язучих матеріалів широкого спектра застосування з наперед заданими властивостями.

Екологічні проблеми цементної промисловості в першу чергу обумовлені значними витратами мінеральних ресурсів: для випуску 1 т портландцементу необхідно видобути 1 600 кг сировинних матеріалів, переробивши близько 5...6 т вихідної сировини, що призводить до руйнування існуючих ландшафтів та загального погіршення екологічної ситуації. Підраховано, що виготовлення 1 т портландцементного клінкеру супроводжується видаленням в атмосферу від 0,4 до 1 т CO₂.

Виробництво портландцементу також пов'язане з проблемою емісії шкідливих речовин, які виділяються при випалюванні, наприклад, важкі метали: Zn, Pb, Cd, Hg, що переходять на 35...96 % в газову фазу і акумулюються матеріалами або цементним пилом. Позитивне вирішення проблеми утилізації таких відходів пов'язане з утворенням так званих «зелених» заводів з виробництва цементу.

Один із факторів, що сприяють зниженню негативного впливу цементного виробництва на екологічний стан оточуючого середовища можна розглядати впровадження композиційних цементів оптималь-

ного складу з використанням доменних гранульованих шлаків, зол ТЕС, природної пуцолани та вапняку, причому зниження кількості клінкеру в складі цементу також зменшує емісію CO_2 .

Різновидами композиційних цементів можна вважати багатокомпонентні цементи, деякі види в'язучих низької водопотреби та тонкомелених цементів.

Властивості цементів залежать від способу їх виготовлення:

- спільний помел клінкеру, гіпсу і мікронаповнювача;
- окремий помел компонентів і наступне змішування;
- двоступінчастий помел, під час якого спочатку розмелюють клінкер з гіпсом, а потім отриманий цемент піддають вторинному помелу з добавкою.

Тонкомелені цементи (ТМЦ) отримують повторним помелом портландцементу з різними мінеральними добавками природного і штучного походження (кварцові піски, щільні вапняки, перліти, вулканічні породи, золи ТЕС, доменні шлаки), які додають до цементу замість частини клінкеру в кількості до 50 %.

ТМЦ виготовляють як на цементних заводах, так і безпосередньо на підприємствах будіндустрії з використанням різного помольного устаткування: кульових або вібраційних млинів. Маркування ТМЦ проводять за кількістю портландцементної складової, наприклад ТМЦ-50, ТМЦ-60.

Бетони на основі пластифікованих ТМЦ характеризуються підвищеними фізико-механічними властивостями (клас В40...В60), маркою за морозостійкістю – F200, за водонепроникністю – W 12...15.

Усадкові деформації викликають такі небажані явища, як тріщиноутворення, підвищену проникність води, а також зниження морозота корозійної стійкості цементного каменю. Для запобігання виникненню таких недоліків використовують багатокомпонентні в'язучі речовини спеціального призначення, що здатні до розширення. Вони складаються з основного в'язучого матеріалу і розширюючої добавки, до складу якої може входити кілька компонентів.

Як основна в'язуча речовина в таких композиціях використовуються глиноземистий цемент або портландцемент.

Безусадкові цементи, розширення яких складає до 0,1 %, компенсують усадку при висиханні. Такі цементи запобігають тріщиноутворенню при виникненні деформацій усадки. Безусадкові цементи

використовують для влаштування резервуарів для води (виключення просочування).

У цементів, здатних до розширення, збільшення об'єму складає понад 0,1 %, що не компенсується усадкою. Застосовують для омонолічування збірних залізобетонних конструкцій, заповнення швів тюбінгів.

Напружувальні цементи мають високу енергію розширення. Використовуються для створення самонапруження арматури в бетоні. Залежно від енергії самонапруження, ці цементі поділяють на три марки: НЦ-20, НЦ-40, НЦ-60 із напруженням, відповідно 2, 4 та 6 МПа.

Ефект розширення цементу досягається за рахунок збільшення об'єму твердої фази або направленого росту кристалів. За природою добавки, що викликають розширення, розрізняють на цементі на основі гідроксидів кальцію або магнію та сульфоалюмінатів, в продуктах твердіння яких синтезується етрингіт.

Водонепроникний розширюючий цемент (ВРЦ) отримують сумісним помелом або змішуванням у кульовому млині тонкоподрібненого глиноземистого цементу в кількості 70...76 %, напівводного гіпсу 20...22 % та високоосновного гідроалюмінату кальцію $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 13\text{H}_2\text{O}$ – 10...11 %.

Початок тужавлення цементу не раніш як через 4 хв, кінець – не пізніше ніж через 10 хв. Процес тужавлення може бути сповільнений добавками ЛСТ.

Водонепроникний розширний цемент марки М500 через 6 год після виготовлення стандартних зразків має міцність при стисканні 7,5 МПа, а через 3 доби – 30 МПа. Після 24 год твердіння зразки мають бути абсолютно водонепроникними при тиску 0,6 МПа, а їхнє лінійне розширення знаходиться в межах 0,2...1,0 %.

ВРЦ має знижену морозостійкість, що обмежує застосування тільки при температурах, які вище 0 °С для відновлення зруйнованих бетонних та залізобетонних конструкцій, для гідроізоляції тунелів, в підземному та підводному будівництві, при створенні водонепроникних швів.

Недоліками є висока вартість, короткі терміни тужавіння, низька морозостійкість.

Гіпсоглиноземистий розширний цемент (ГГРЦ) порівняно дешевший за ВРЦ та відрізняється тривалішими термінами тужавіння.

Отримують такий цемент спільним помелом або змішуванням попередньо подрібнених високоглиноземистого клінкеру чи шлаку (70 %), в складі якого переважає однокальцієвий алюмінат, та природного двуводного гіпсу (30 %).

Промисловістю випускаються марки цементу М300, М400, М500; початок тужавлення не раніше як через 20 хв, кінець – не пізніше як через 4 год. Через добу цемент має бути водонепроникним при тиску 1 МПа. Лінійне розширення цементу через 3 доби твердіння – 0,1...0,7 %, а через 28 діб – не більше як 1 %. Міцність під час стикування через 3 доби – не менше 28 МПа.

Темпи зростання міцності ГГРЦ такі самі, як і у глиноземистого цементу, але спад міцності у віці до 28 діб не спостерігається. Розширення ГГРЦ пов'язане з утворенням еtringіту і виявляється лише при твердінні у воді, при витримуванні на повітрі цемент є безусадковим.

Гіпсоглиноземистий цемент застосовують для виготовлення безусадкових та розширних водонепроникних розчинів та бетонів, для омоноличування та гідроізоляції стиків.

Розширний портландцемент одержують спільним помелом 60...65 % портландцементного алітового клінкеру, 5...7 % глиноземистого клінкеру або високоглиноземистого шлаку, 7...10 % двуводного гіпсу і 20...25 % активної мінеральної добавки (трепелу, опоки, діатоміту, доменного гранульованого шлаку). Портландцемент повинен містити не менше 7 % алюмінатів кальцію та 55 % аліту.

Механізм розширення обумовлений утворенням кристалічного еtringіту, який збільшує об'єм гідратних новоутворень. Активна добавка сприяє синтезу цієї сполуки до тужавіння цементу, що забезпечує розширення бетонних сумішей у пластичному стані без виникнення напружень у кристалічній структурі.

Цементний камінь на основі розширного цементу має високу щільність і водонепроникність, а також здатність до розширення у воді й на повітрі при постійному зволоженні протягом перших 3 діб.

Для ремонту конструкцій, які експлуатуються над водою та у неагресивних водах, в якості в'язучого в бетоні та розчині застосовують портландцемент і його модифікації марки не нижче 400. Усі цементи, що застосовуються при ремонті, повинні задовольняти вимогам ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Залежно від умов експлуатації і агресивності середовища вибір цементів здійснюється згідно з табл. 5.3.

Таблиця 5.3

**Рекомендовані і допустимі види цементів для бетону
залежно від солоності води і зони споруди**

Солоність води, г/л	Зони бетону по відношенню до води			
	Масивний бетон	Підводна	Надводна	Змінного рівня
Мала (до 10)	Шлакопортланд-цемент, пуцолановий портландцемент, сульфатостійкий портландцемент	Пуцолановий шлакопортландцемент, сульфатостійкий портландцемент, пуцолановий портландцемент, портландцементи	Портландцементи	Сульфатостійкий портландцемент, портландцементи
Середня (10...20)	Те саме	Пуцолановий і шлакопортландцементи, сульфатостійкий портландцемент	Сульфатостійкий портландцемент, портландцементи	Те саме
Велика (по-над 20)	— // —	Сульфатостійкий і пуцолановий цемент, пуцолановий портландцемент, сульфатостійкий портландцемент	Те саме	Сульфатостійкий портландцемент

Застосування для приготування розчинів одноразово різних марок цементу не рекомендується через їх розшаровування.

Відповідно до критерію сумісності для ремонту бетонної кладки доцільно використовувати цементи тих видів, що були використані для приготування бетону, з якого виготовлена конструкція.

Усереднені фізико-механічні характеристики цементів, що виробляються в Україні та рекомендуються для використання при ремонті штучних споруд, наведені в табл. 5.4.

Вода, що застосовується для приготування розчинів та бетонів, повинна відповідати технічним умовам на виробництво бетонних робіт згідно з ДСТУ Б В.2.7-43-96.

Пісок для приготування розчинів та бетонів повинен відповідати ДСТУ Б В.2.7-32-95.

Щебінь для приготування бетону необхідно обирати у відповідності з ДСТУ Б В.2.7-75-98.

Добавки для бетонів і розчинів повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-65-97 та ДСТУ Б В.2.7-171:2008.

Таблиця 5.4

Середні фізико-механічні характеристики цементів

Марка цементу	НГ, %	Строки тужавлення, год-хв		Міцність, МПа					
		Початок	Кінець	при згині, через			при стиску, через		
				2 доби	7 діб	28 діб	2 доби	7 діб	28 діб
М400	25,4	1-45	4-20	3,65	4,16	6,55	24,15	28,05	42,85
М500	24,5	1-42	4-31	3,75	4,78	6,85	25,95	35,40	52,50

Призначати розчинні та бетонні суміші рекомендується методом абсолютних об'ємів ДСТУ Б В.2.7-215:2009 або за допомогою методу еквівалентних сумішей, який дозволяє за допомогою ЕОМ виконувати розрахунок співвідношення складових суміші, при якому забезпечуються оптимальні фізико-механічні показники розчину та бетону [110–115].

Виготовлення розчинів та бетонів може здійснюватися як на заводі, так і на будівельному майданчику. Рекомендовано застосовувати таку послідовність виготовлення розчинової або бетонної суміші:

- 1) у бетонозмішувач завантажується пісок, цемент та перемішуються до однорідного стану;
- 2) додається щебінь і перемішується до рівномірного розташування часток щебню в об'ємі цементно-піщаної суміші;
- 3) додається необхідна кількість води для отримання суміші заданої консистенції та перемішується до однорідного стану.

5.2.1. Добавки у розчини та бетони

Останнім часом матеріалознавцями розроблено багато добавок, модифікаторів та полімерів, які пропонуються на ринку України, та гарантують покращення фізико-механічних властивостей ремонтних матеріалів, однак, як показують дослідження, багато з них не відповідають комплексу вимог, які ставляться перед матеріалами для ремонту бетонних та залізобетонних транспортних споруд [116–122].

Для підвищення технологічності ремонтних сумішей та фізико-механічних характеристик бетону, що застосовуються для ремонту бетонних та залізобетонних транспортних споруд, рекомендується вводити до їх складу хімічні модифікуючі добавки у відповідності до ДСТУ Б В.2.7-65-97, ДСТУ Б В.2.7-69-98 та ДСТУ Н Б В.2.7-175:2008.

Залежно від призначення (основного ефекту дії) добавки для бетонів підрозділяють на декілька видів, а саме:

Добавки, що регулюють властивості бетонних сумішей:

- пластифікуючі: пластифікуючі I групи (суперпластифікатори), пластифікуючі II групи (сильно пластифікуючі), пластифікуючі III групи (середньо пластифікуючі), пластифікуючі IV групи (слабко пластифікуючі);
- стабілізуючі;
- водоутримуючі;
- поліпшуючі перекачування;
- регулюючі збереження бетонних сумішей: що сповільнюють тужавлення, що прискорюють тужавлення;
- що утворюють пори (для легких бетонів): що вволікають повітря, що утворюють піну, що утворюють газ.

Добавки, що регулюють твердіння бетону:

- сповільнюють твердіння;
- прискорюють твердіння;
- збільшують міцність та корозійну стійкість, морозостійкість бетону і залізобетону.

Добавки, що додають бетону спеціальні властивості:

- протиморозні (забезпечують твердіння при від'ємних температурах);
- гідрофобізуючі I, II і III груп.

Якість добавки для бетону повинна відповідати вимогам нормативно-технічної документації на добавку конкретного виду.

Технічну ефективність добавок встановлюють за критеріями їх ефективності, згідно з даними, що наведені у табл. 5.5. Нормативно-технічна документація на добавки повинна включати дані про призначення та надійність відповідно з даними табл. 5.5.

Основні добавки, що розповсюджені в Україні, перевірені у лабораторії кафедри «Управління проектами, будівлі та будівельні матеріали» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, їх класифікація та основні характеристики наведені у табл. 5.6.

Добавки для бетонів повинні мати стійкість до зовнішніх впливів. Після закінчення гарантійного терміну зберігання, добавки повинні бути випробувані у бетоні. Добавка вважається придатною до застосування, якщо вона задовольняє вимогам табл. 5.5.

Основний ефект дії добавки визначають за ДСТУ Б В.2.7-69-98 при її оптимальному дозуванні, як правило, шляхом порівняння та аналізу показників якості бетонних сумішей і бетонів (з добавкою) і контрольним складом (без добавки).

Добавки варто зберігати в умовах, що виключають попадання в них сторонніх речовин та атмосферних опадів. Водні розчини добавок повинні зберігатися у закритій тарі, порошкоподібні і кристалічні продукти – в умовах, що виключають зволоження.

Добавки, що піддаються заморожуванню, повинні після відтаювання зберігати свій основний позитивний ефект і не приводити до погіршення властивостей бетонної суміші і бетону.

Суміші на основі портландцементу з введенням добавок рекомендується використовувати при ремонті бетонних та залізобетонних споруд, які експлуатуються над водою та під водою (в неагресивних умовах), і для яких достатньою міцністю під час стискання являється 29...45 МПа, а під час відриву – 0,9...1,6 МПа.

Основні властивості добавок у бетони та розчини, що застосовуються при ремонті

Вид добавки	Вимоги надійності (критерій ефективності) добавки*	Можливі додаткові позитивні чи негативні ефекти
Пластифікуюча І групи	Збільшення рухливості бетонної суміші від ПІ з забезпеченням осадки конусу (ОК) 2...4 см до П5 без зниження міцності бетону в усі терміни випробування	Підвищення міцності бетону, розшарування бетонної суміші, додаткове вволокіння повітря, збільшення деформацій усадки, збільшення деформацій повзучості
Пластифікуюча ІІ групи	Збільшення рухливості бетонної суміші від ПІ з забезпеченням осадки конусу (ОК) 2...4 см до П4 без зниження міцності бетону в усі терміни випробування	Сповільнення тужавлення бетонної суміші, розшарування бетонної суміші, додаткове вволокіння повітря, збільшення деформацій усадки, збільшення деформацій повзучості
Пластифікуюча ІІІ групи	Збільшення рухливості бетонної суміші від ПІ з забезпеченням осадки конусу (ОК) 2...4 см до П3 без зниження міцності бетону в усі терміни випробування	Сповільнення тужавлення бетонної суміші, сповільнення твердіння бетону
Пластифікуюча ІV групи	Збільшення рухливості бетонної суміші від ПІ з забезпеченням осадки конусу (ОК) 2...4 см до П2 без зниження міцності бетону в усі терміни випробування	Те саме
Стабілізуюча	Показник розчиновідділення бетонної суміші з ОК = 20...22 см не більш 2,5 %	Підвищення однорідності бетону, зниження проникності бетону
Водоутримуюча	Показник водовідділення бетонної суміші з ОК = 20...22 см не більш 2 %	Збільшення рухливості бетонної суміші, зниження проникності бетону, підвищення однорідності бетону, зниження міцності бетону

Вид добавки	Вимоги надійності (критерій ефективності) добавки*	Можливі додаткові позитивні чи негативні ефекти
Поліпшуюча перекачування	Зниження тиску, що контролюється манометром на 20 %	Підвищення однорідності бетону, зниження водовідділення бетонної суміші, зниження міцності бетону
Вволікаюча повітря (для легких бетонів)	Необхідний обсяг повітря в межах, що вольікається, від 6 до 15 % для одержання злитієї структури бетону. Втрата повітря, що вволікається, після 30 хв витримки не більше 25 %. Відсутність зниження міцності при однаковій середній щільності бетону	Підвищення зручності укладки і зниження розшарування бетонної суміші
Прискорююча тужавлення	Прискорення схоплення на 25 % і більш при температурі навколишнього повітря 20 ± 2 °C	Прискорення твердіння бетону, уповільнення наростання міцності бетону у часі, утворення висолив, корозія арматури
Уповільнююча тужавлення	Збільшення часу втрати рухливості бетонної суміші від вихідного значення до 2 см у 2 рази і більш при температурі навколишнього повітря 20 ± 2 °C	Зменшення швидкості тепловиділення в масивних спорудах, уповільнення твердіння бетону на ранній стадії, подовження терміну попередньої витримки перед термообробкою
Сповільнююча тужавлення	Уповільнення схоплення у 2 рази і більше при температурі навколишнього повітря 20 ± 2 °C (додатковий спосіб)	Збільшення міцності бетону в пізній термін твердіння, зменшення швидкості тепловиділення, підвищення щільності бетону, уповільнення набору міцності в ранній термін твердіння, подовження терміну попередньої витримки перед термообробкою
Кольматуюча	Підвищення марки бетону з водонепроникності на 2 ступені і більше	Зниження міцності бетону, підвищення корозійної стійкості бетону

Закінчення табл. 5.5

Вид добавки	Вимоги надійності (критерій ефективності) добавки*	Можливі додаткові позитивні чи негативні ефекти
Протиморозна	Забезпечення твердіння бетону при температурі 15 ± 5 °C з набором міцності 30 % і більше від міцності у віці 28 діб нормально-го твердіння	Підвищення електропровідності бетону, прискорення тужавлення, утворення висолів, корозія арматури
Гідрофобізуюча I групи	Зниження водопоглинення бетону у 5 разів і більше (через 28 діб випробування)	Зниження швидкості тепловиділення, сповільнення тужавлення і твердіння бетону, зниження міцності бетону
Гідрофобізуюча II групи	Зниження водопоглинення бетону в 2...4,9 рази і більше (через 28 діб випробування)	Те саме
Гідрофобізуюча III групи	Зниження водопоглинення бетону в 1,4...1,9 рази (через 28 діб випробування)	--

Примітки: 1. Показники властивостей бетону відносяться до його проектного віку.

2. Ті самі речовини можуть бути віднесені до добавок різного призначення.

Добавки, що рекомендовані для застосування при ремонті бетонних та залізобетонних штучних споруд

Найменування, марка	Держстандарт	Клас добавки	Вплив на фізико-механічні характеристики розчинів та бетонів	% добавки від маси цементу	Виробник
Вітчизняні добавки					
Комплексна добавка ПЛКП-С	ТУ У В2.7- 30415102. 001-2000	Пластифікатор, прискорювач твердіння, збільшення водостійкості та морозостійкості	Збільшує рухливість бетонної суміші до 15...17 см	0,8...1,5	ПП «Логія», Україна, м. Дніпропетровськ, вул. Красная, 49а
			Збільшує міцність під час стискання при однаковій рухливості на 22...25 %		
			Збільшує морозостійкість на 36...40 %		
			Збільшує водонепроникність на одну одиницю за маркою		
Амкіроз	ТУ У В2.7- 19069017. 001-98	Пластифікатор	Зменшує на 15...20 % витрати води на приготування бетонної суміші без зміни її рухливості	0,5...1,5	Те саме
			Збільшує міцність під час стискання при однаковій рухливості на 20...27 %		

Найменування, марка	Держстандарт	Клас добавки	Вплив на фізико-механічні характеристики розчинів та бетонів	% добавки від маси цементу	Виробник
Вітчизняні добавки					
Релаксол-Темп-3	ТУ У В2.7-19266746.001-96	Прискорювач твердіння	Інтенсифікує гідратацію Зменшує терміни твердіння цементу Збільшує ранню міцність бетону	1,0...1,8	ТОВ «Будіндустрія ЛТД», Україна, м. Запоріжжя, пр-т Леніна, 158
Релаксол-Норма-Плюс	ТУ 13-0281036-05-89	Пластифікатор	Знижує водопотребу цементу Знижує розшарування бетонної суміші Збільшує ранню та кінцеву міцність бетону	1,0...2,0	Те саме
Ультра-СИ		Стабілізатор	Знижує утворення тріщин Збільшує однорідність та зв'язність суміші Збільшує міцність бетону на 15...20 % Збільшується адгезія до старого бетону на 20...25 %	0,2...2,0	ТОВ НІЦ «Адгезів», Україна, м. Дніпропетровськ, вул. Ломана, 19, кімн. 307

Найменування, марка	Держстандарт	Клас добавки	Вплив на фізико-механічні характеристики розчинів та бетонів	% добавки від маси цементу	Виробник
Закордонні добавки					
Sika ViscoCrete-5	Технічний сертифікат IBDiM AT/2000- 04-0891	Суперпластифіка- тор	Зменшує на 30...33 % витрати води на приготування бе- тонної суміші без зміни її рухливості Збільшення міцності при стис- канні при однаковій рухли- вості на 38...45 % Зниження усадочних дефор- мацій	0,3...0,8	«Sika Group», Швейца- рія. Представник в Україні м. Київ, Ох- тирський, 3
Maefluid-200		Те саме	Зменшує на 27...30 % витрати води на приготування бе- тонної суміші без зміни її рухливості Збільшує міцність під час сти- скання при однаковій рух- ливості на 35...40 %. Знижує водонепроникність	0,5...1,5	«MAPEI», Італія. Пред- ставник в Україні ТОВ «21век», Укра- їна, м. Дніпропет- ровськ, пр. Кірова, 28 а

Закінчення табл. 5.6

Найменування, марка	Держстандарт	Клас добавки	Вплив на фізико-механічні характери- сти розчинів та бетонів	% добавки від маси цементу	Виробник
Закордонні добавки					
C-3	ТУ 6-36- 0204229- 625	— // —	Знижує водопотребу бетонної суміші на 15 % для отримання рівно рухливого бетону Підвищує міцність (на 10...15 МПа), щільність бетону, покращує його структуру Забільшує зчеплення нового бетону з старим	0,2...0,7	ТОВ «Стройка», Росія, м. Кіров, вул. Виробнича, буд. 21а

5.3. Полімерцементні матеріали

З метою поліпшення технологічних властивостей у цементні розчини та бетони додають полімерні добавки. Вони надають матеріалу пластичності, однорідності, запобігають розшаровуванню, збільшують радіус поширення, підвищують міцність цементного каменю, знижують його водопроникність, поліпшують деформаційні властивості, покращують зчеплення з основою [123–127].

В якості добавок до цементних розчинів використовують окремі полімерні продукти або їхні сполучення.

Полімерцементні розчини та бетони використовують у випадках, коли до об'єктів висувають підвищені вимоги з водонепроникності, міцності, корозійної стійкості.

При ремонті бетонних та залізобетонних транспортних споруд були досліджені і рекомендовані до застосування полімерцементні композиційні матеріали, що наведені у табл. 5.7.

Полімерцементні розчини та бетони застосовуються для виконання ремонтних робіт таких, як:

- ін'єктування тріщинуватих масивів;
- торкретування;
- захисту поверхні шляхом фарбування.

Оптимальна кількість полімерних добавок встановлюється експериментально. Усі види добавок призначаються у відсотках (%) від маси цементу.

Інші вимоги до полімерних добавок такі ж самі, як і для добавок у бетони та розчини.

Висока ефективність ремонтних робіт забезпечується при використанні сухих бетонних сумішей, виготовлених спеціально для різних видів ремонту залізобетонних конструкцій транспортних споруд. На сьогоднішній день в транспортному будівництві найбільшого поширення отримали сухі бетонні суміші EMACO® і SICA [18, 19, 128, 129].

Для ремонту можуть бути використані й інші види сухих сумішей [18, 19, 128, 129], що задовольняють за своїми технічними характеристиками вимогам, що ставлять до якості ремонтного матеріалу, пройшли сертифікацію і мають затверджені технічні умови або відповідають вимогам Європейського стандарту EN 1504.

Таблиця 5.7

Основні полімерцементні та полімерні матеріали, рекомендовані для застосування при ремонті бетонних та залізобетонних споруд

Найменування, марка	Держстандарт	Клас полімеру	Ефективність застосування	Концентрація полімеру, %	Виробник
Вітчизняні матеріали					
Смола епоксидна	ДСТУ 2093-92	Полімерне в'язуче	Міцність під час стискання 80...100 МПа. Адгезія до поверхні старого бетону складає 3...5 МПа. Малі усадочні деформації. Висока морозостійкість. Висока стійкість до хімічно агресивних речовин (кислоти, луги, розчини, нафтопродукти). Рекомендуються застосовувати для усіх видів ремонту бетонних та залізобетонних транспортних споруд при техніко-економічному обґрунтуванні	40...100	Горлівський хімічний завод, м. Горлівка, вул. Щербакова, 5

Продовження табл. 5.7

Найменування, марка	Держстандарт	Клас полімеру	Ефективність застосування	Концентрація полімеру, %	Виробник
Вітчизняні матеріали					
Смола карбамід-формальдегідна	ТУ 6-06-12-88	Полімерне в'язуче	Міцність під час стиснення 40...60 МПа. Адгезія до поверхні старого бетону складає 1,8...2,5 МПа. Висока морозостійкість. Стійкість до хімічно агресивних речовин (слабкі кислоти, розчини, нафтопродукти). Рекомендується застосовувати для ін'єкування та торкретування бетонних та залізобетонних транспортних споруд	40...100	Рубіжанський завод «ЗОРЯ», м. Рубіжне, вул. Заводська, 1
Консолід	ТУ У 30553286.001-2000	Полімерний розчин для захисту верхніх конструкцій від корозії	Рекомендовано для гідрофобізації та антикорозійного захисту бетону (NaOH – 15 %, NaCl – 15 %, HCl – 5 %, H ₂ SO ₄ – 5 %). Можна використовувати як адгезійний шар при відновленні бетонних та залізобетонних конструкцій	100	ТОВ «Композит», м. Київ, вул. Сосюри, 5

Продовження табл. 5.7

Найменування, марка	Держстандарт	Клас полімеру	Ефективність застосування	Концентрація полімеру, %	Виробник
Закордонні матеріали					
Spray-Con WS ST EMACO S88, EMACO S66, EMACO 100	[128, 129]	Полімерцементна суміш з полімерними армоволокнами	Адгезія до поверхні старого бетону складає 1,1...1,5 МПа. Малі усадочні деформації. Висока морозостійкість. Рекомендується застосовувати при торкретуванні надводних частин бетонних та залізобетонних споруд	21,2	«Gemite» Канада. Представник в Україні ЧП «УРАЛ», м. Павлоград, вул. Шутя, 3
		Готовий сухий полімерний цементний розчин	Розчин з міцністю під час стискання 60...80 МПа. Міцність під час згинання 6...9 МПа. Адгезія до старого бетону складає 4...5 МПа. Рекомендується застосовувати при торкретуванні частин бетонних та залізобетонних споруд, що експлуатуються під водою та над водою	На 30 кг сухої суміші – 5...6 л води	ЗАТ «Имаст-холдинг». Полиц. МАС спра (Італія), м. Москва, 5-й Войковский пр., 28, оф. 510

Закінчення табл. 5.7

Найменування, марка	Держстандарт	Клас полімеру	Ефективність застосування	Концентрація полімеру, %	Виробник
Закордонні матеріали					
Кальмагрон	ТУ 5716-001-54282519-2001	Готовий полімерцементний склад кольматуючої дії	Має високу проникну здатність. Термін твердіння 30...85 хв. Збільшує міцність конструкції при стисканні на 3...4 МПа. Збільшує морозостійкість на 40...50 циклів. Висока корозійна стійкість. Рекомендуються застосовувати для захисту поверхні бетонних та залізобетонних споруд	На 1 частину Кальмагрона – 5 частин води	ВАТ «Кальмагрон-Н», Росія, м. Новосибірськ, вул. Тюменська, 14

Сухі бетонні суміші EMACO® готують на основі цементу, що забезпечує їх сумісність з матеріалом конструкції, що ремонтується і створює умови для проведення високоякісного ремонту. Досвід застосування сухих бетонних сумішей EMACO® при будівництві шляхопроводів, естакад і мостів, а також при ремонті різних транспортних об'єктів як в Україні, так і закордоном показав їх високу ефективність. Сухі ремонтні бетонні суміші EMACO® характеризуються високою адгезією і відсутністю усадки за рахунок застосування комплексу спеціальних добавок, що дає можливість ремонтному складу працювати сумісно з конструкцією.

Застосування кожного виду сухих бетонних сумішей ув'язується з методом ремонту і ступенем руйнування конструкції.

В даний час сухі бетонні суміші EMACO® за призначенням поділяють на 4 групи:

- для конструкційного ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій при температурах зовнішнього повітря не нижче + 5 °С;
- для конструкційного ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій при від'ємних температурах;
- для неконструкційного ремонту;
- для захисту й гідроізоляції бетону.

Фактично такий же розподіл сухих бетонних сумішей здійснюється і іншими постачальниками матеріалів.

Для конструкційного ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій і для основ під фундаменти, а також при монтажі металевих конструкцій при позитивних температурах рекомендується такі сухі бетонні суміші: EMACO® S33, EMACO® S55, EMACO® S66, EMACO® S88, EMACO® S88C, EMACO® 90, EMACO® SFR, EMACO® S150CFR, EMACO® S170CFR, EMACO® Nanocrete R3, EMACO® Nanocrete R4, EMACO® Nanocrete R4 Fluid і спеціальний цемент MACFLOW®. Загальна характеристика ремонтних матеріалів EMACO® і їх призначення наведені в табл. 5.8.

Залежно від методу ремонту і ступеню руйнування конструкцій сухі бетонні суміші EMACO® для конструкційного ремонту застосовуються відповідно до рекомендацій табл. 5.9.

Технічні характеристики матеріалів наведені в табл. 5.10.

Характеристика ремонтних матеріалів для конструкційного ремонту

Найменування матеріалу	Загальна характеристика	Призначення та галузь застосування
EMACO® S33 (MASTERFLOW® 980)	Безусадкова швидкотужавіюча суха бетонна суміш наливного типу з крупним заповнювачем. Розмір щебню 10 мм	Ремонт бетонних конструкцій при товщині підливи від 40 до 100 мм, підливи під опорні частини при монтажі металевих конструкцій
EMACO® S66	Безусадкова швидкотужавіюча бетонна суміш, що містить полімерну фібру і крупний заповнювач розміром 10 мм. Не містить металевих наповнювачів і хлоридів	Призначена для ремонту конструкцій портових і морських зон, попередньонапружених балок, мостових конструкцій, захисту бетону від агресивних вод, що вміщують сульфати, сульфіді, хлориди і т. ін., ремонту покриттів доріг і аеродромів і для жорсткого з'єднання збірних залізобетонних конструкцій. Товщина укладки від 40 до 100 мм
EMACO® 90	Безусадкова швидкотужавіюча суха бетонна суміш тиксотропного типу. Використовується як при конструкційному, так і неконструкційному ремонті	Призначена для чистої обробки поверхні при товщині нанесення від 3 до 20 мм. Використовується при ремонті і обробці зруйнованих бетонних і залізобетонних конструкцій, а також для захисту поверхні бетону від агресивних вод

Найменування матеріалу	Загальна характеристика	Призначення та галузь застосування
EMASCO® SFR	Безусадкова швидкотужавіюча суха бетонна суміш, що містить полімерну і сталеву латунізовану фібру. Не можна укладати на свіжий бетон і треба уникати контакту з водою при pH менше 5,5	Призначена для ремонту бетонних та залізобетонних конструкцій при товщині нанесення від 20 до 60 мм. Використовується для ремонту залізобетонних конструкцій без виконання спеціального армування, при ремонті поверхонь, що піддаються високим навантаженням на шляхах і аеродромах, при проходці тунелів в скелях
EMASCO® S150CFR, EMASCO® S170CFR	Безусадкова швидкотужавіюча суха бетонна суміш наливного типу, містить металеву і полімерну фібру	Використовується при товщині нанесення від 20 до 68 мм. Застосовується при корозії арматури до 15 % без встановлення додаткової арматури при ремонті залізо-бетонних конструкцій різної геометричної форми
EMASCO® Nanocrete R3	Полімермодифікована дрібнозерниста суха суміш тиксотропного типу зі зниженою щільністю для конструкційного ремонту бетону. Товщина шару від 5 до 75 мм	Розроблена спеціально для конструкційного ремонту збірного та монолітного бетону, де є потреба у ремонті або зміні профілю бетонних конструкцій. Може застосовуватися всередині і зовні приміщень, на вертикальних і горизонтальних, а також на стельових поверхнях, при сухому і вологому навколишньому середовищі

Найменування матеріалу	Загальна характеристика	Призначення та галузь застосування
EMASO® Nanocrete R4	Високоміцна безусадкова суха суміш тиксотропного типу, що містить полімерну фібру, призначена для конструкційного ремонту. Товщина шару від 5 до 50 мм	Призначена для конструкційного ремонту бетонних споруд: несучі будівельні конструкції будь-якого типу; промислові споруди; підземні інженерні споруди; морські та річкові споруди. Можна застосовувати при виробництві внутрішніх і зовнішніх робіт на вертикальних і стельових поверхнях при сухих або вологих зовнішніх умовах
EMASO® Nanocrete R4 Fluid	Однокомпонентна високоміцна армована полімерної фіброю безусадкова суміш з підвищеним модулем пружності для конструкційного ремонту. Товщина заливки від 20 мм до 200 мм	Призначена для ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій. Можна також застосовувати для збільшення несучої здатності споруди шляхом влаштування нової залізобетонної сорочки. Можна використовувати при виробництві внутрішніх і зовнішніх робіт методом заливки в опалубку (вертикальні і стельові поверхні) або заливкою на горизонтальні ділянки

Таблиця 5.9

Суші бетонні суміші ЕМАСО® для конструкційного ремонту залежно від методу ремонту й ступеню руйнування

Метод ремонту	Поверхнєві руйнування до 20 мм	Середній ступінь руйнування 20...40 мм	Глибоке руйнування 40...100 мм	Дуже глибоке руйнування більше 100 мм
Ремонт конструкцій тиксотропними складами	ЕМАСО® 90	ЕМАСО® S88C	ЕМАСО® Nanocrete R3	–
	ЕМАСО® Nanocrete R3	ЕМАСО® S170CFR	ЕМАСО® Nanocrete R4	
	ЕМАСО® Nanocrete R4	ЕМАСО® Nanocrete R3		
Ремонт конструкцій наливними складами	–	ЕМАСО® Nanocrete R4		Бетон на MACFLOW® ЕМАСО® Nanocrete R4 Fluid
		ЕМАСО® S88	ЕМАСО® S66	
		ЕМАСО® S150CFR	ЕМАСО® Nanocrete R4 Fluid	
		ЕМАСО® SFR		
		ЕМАСО® Nanocrete R4 Fluid		

Технічні характеристики матеріалів для конструкційного ремонту EMACO®

Назва матеріалу	Витрата матеріалів на 1 м ³	Розплив конусу, мм	Повітрязатягнення, %, не більше	Міцність на розтяг при згині у віці 1 доба, МПа	Міцність на розтяг при згині у віці 28 діб, МПа	Міцність на стиск у віці 1 доба, МПа	Міцність на стиск у віці 28 діб, МПа	Зчеплення з бетоном у віці 28 діб, МПа	Морозостійкість, F циклів	Водонепроникність, W	Модуль пружності, МПа	Коефіцієнт сульфато- стійкості	Розширення
EMACO® S33	2 090	250	5	5	8	30	60	>1,5	>300	>12	25 000		0,05–0,10
MASTERFLOW® 980													
EMACO® S66	2 250	250	5	4	8	28	60	>2,5	>300	>12	25 000	<0,9	
EMACO® 90	1 500	190	5			10	40	>1,5	>300		16 000	<0,9	
EMACO® SFR	2 000	190	5	10	15	30	60	>2,5	>300	>12	25 000	<0,9	
EMACO® S150CFR	1 800	245	6	8	12	25	60	>2,5	>300	>12	25 000	<0,9	
EMACO® S170CFR	1 750	175											
EMACO® Nanocrete R3	1 800					≥12	≥35	>1,5			≥15 000		
EMACO® Nanocrete R4	2 000					≥18	≥60	>2			≥20 000		
EMACO® Nanocrete R4 Fluid	1 900					≥15	≥55	>2			≥20 000		

Для конструкційного ремонту бетону і залізобетону при від'ємних температурах $-10...-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ використовуються сухі бетонні суміші EMACO® Fast Tixo, EMACO® Fast Fluid, EMACO® Fast Fiber, EMACO® T545.

Неконструкційний ремонт бетонних і залізобетонних конструкцій застосовують для відновлення проектної геометрії елементів споруди, які не впливають на несучу здатність конструкцій, фінішної обробки бетонної поверхні конструкцій і відновлення захисних покриттів, до яких пред'являються вимоги за міцністю, достатністю до сприйняття зовнішніх абразивних або інших механічних впливів.

Для проведення неконструкційного ремонту використовують матеріали EMACO® 90, EMACO® Nanocrete R2 тиксотропний і EMACO® Nanocrete FC – швидкотверднуча армована фіброю дрібнозерниста суміш.

Для збільшення несучої здатності ремонтіваних конструкцій в цілому і захисного шару зокрема останнім часом починають застосовувати композиційні матеріали, що включають в себе вуглепластикові елементи. Підсилення залізобетонних мостових конструкцій вуглепластиковим елементами здійснюється шляхом їх зовнішнього армування вуглепластиковим пластинами (ламельіни) або тканими полотнами («полотно»).

Вуглепластикові ламелі (наприклад, марки Sika Carbodur) мають такі основні характеристики:

- гладку (без дефектів) поверхню;
- межа міцності під час розриву не менше 2 000 МПа;
- модуль пружності (вздовж волокон) $1,65(\pm 0,2)96$ МПа;
- відносне подовження при розриві не менше 1,5 %;
- вміст вуглецевих волокон за об'ємом не менше 68 %.

Галузь застосування:

- відновлення несучої здатності і підвищення довговічності споруд різного призначення в умовах корозії сталевих елементів, наявності тріщин, прогинів і ознак втрати стійкості й т. ін.;

- підвищення несучої здатності мостів та інших транспортних споруд, що не мають пошкоджень, але вимагають підсилення у зв'язку зі збільшенням статичного та динамічного транспортного навантаження;

– збереження несучої здатності конструкцій при зміні конструктивних схем силового каркаса (видалення несучих стін і колон, збільшення прольотів балок) і т. ін.

Лабораторією кафедри «Будівлі та будівельні матеріали» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна було досліджено ряд сухих сумішей і рекомендовано для використання суміші, що наведені у табл. 5.11, 5.12.

Приготування полімерцементних розчинів та бетонів може проводитись, як на спеціалізованих заводах так і безпосередньо на будівельному майданчику. Але слід пам'ятати, що технологія виготовлення суміші впливає на міцність розчинного або бетонного каменю.

Таблиця 5.11

Склади полімерцементного розчину на основі латексу*

Назва матеріалу	Дозування, кг/м ³		Дозування в частинах
	Розчин	Бетон	Захисний лак
Цемент	400...450	380...470	1,00
Латекс (50 % розчин у воді)	120...150	100...150	0,23...0,42
Стабілізатор	1,2...3,0	1,0...3,2	0,03...0,08
Пісок	700...900	550...650	—
Щебінь	—	740...1000	—
Вода	120...170	120...190	0,27...0,39

Примітка. *Остаточні склади полімерцементних матеріалів для ремонту призначаються та перевіряються лабораторією, в залежності від необхідних показників рухливості та міцності

Послідовність виготовлення полімерцементної розчинної або бетонної суміші:

- у бетонозмішувач вантажується полімер, цемент та перемішується до однорідного стану;
- додається пісок і знову перемішується до однорідного стану;
- додається щебінь і перемішується до рівномірного розташування часток щебеню у об'ємі суміші;
- доливається вода та перемішується до однорідного стану.

Склади полімер-цементних розчинів та бетонів з на основі ПВАЕ

Назва матеріалу	Дозування, кг/м ³		Дозування в частках
	Розчин	Бетон	Захисний лак
Цемент	350...450	350...450	1,00
ПВАЕ (50 % розчин у воді)	100...140	100...140	0,24...0,33
Пісок	700...900	400...600	—
Щебінь	—	700...950	—
Вода	120...170	120...200	0,28...0,41

Примітка. Склади полімер-цементних матеріалів для ремонту призначаються та перевіряються лабораторією, в залежності від необхідних показників рухливості та міцності

Полімерцементні суміші використовуються при ремонті бетонних та залізобетонних споруд, які експлуатуються над водою, під водою, в зоні змінного рівня води, для яких достатньою міцністю при стисканні становить 30...55 МПа, а при відриві 1,5...2,1 МПа.

5.4. Полімерні матеріали

Дослідження показують, що для забезпечення надійного захисту бетонних та залізобетонних споруд, що експлуатуються в агресивних та слабо агресивних умовах, доцільно використовувати полімерні розчини та бетони (ГОСТ 25246).

Полімерні розчини та полімерні бетони – це спеціальні бетони на основі полімерного зв'язуючого, хімічно стійких мінеральних заповнювачів, наповнювачів і добавок.

Полімерні розчини та полімерні бетони готуються на основі фуранових, епоксидних [129, 130], поліефірних, карбамідних, акрилових синтетичних смол (полімербетони) і рідкого натрієвого чи калієвого скла з полімерною добавкою (полімерсилікатні бетони) і застосовуються для виготовлення і ремонту конструкцій і виробів, що працю-

ють в умовах впливу агресивних середовищ наступних видів: мінеральні кислоти; органічні кислоти; солі; розчинники; нафтопродукти.

Полімерні розчини та полімерні бетони класифікуються за хімічною стійкістю. В залежності від стійкості в агресивних середовищах полімеррозчини і полімербетони підрозділяються на:

- високостійкі;
- стійкі;
- відносностійкі;
- нестійкі.

Залежно від виду в'язучого полімерні розчини та полімерні бетони підрозділяються на:

- фуранові (смола ФАМ, ФА та інші марки);
- поліефірні (смола ПН-1 та інші марки);
- фураново-епоксидні (смола ФАЕД-20 та інші марки);
- епоксидні (ЕД-20 та інші марки);
- карбамідні (смола КФ-МТ, КФ-Ж та інші марки);
- акрилові (мономер ММА та інші марки);
- полімерсилікатні (рідке натрієве чи калієве скло).

За видом заповнювачів полімерні розчини та полімерні бетони можуть бути на щільних заповнювачах та пористих заповнювачах.

Якість полімерних розчинів та полімерних бетонів повинна забезпечувати виготовлення матеріалів конкретних видів, що задовольняють вимогам державних стандартів і технічних умов на ці матеріали.

Матеріали для приготування полімерних розчинів та полімерних бетонів повинні задовольняти вимогам діючих стандартів і технічних умов на ці матеріали і забезпечувати одержання розчинів та бетонів з заданими технічними характеристиками.

Для приготування полімерних розчинів та полімерних бетонів застосовують наступні види в'язучих:

- фурфурол-ацетонову смолу;
- епоксидну смолу;
- фурано-епоксидну смолу;
- ненасичену поліефірну смолу;
- карбамідну смолу;
- мономер метилметакрилат;
- рідинне скло.

В якості отверджувача застосовують наступні матеріали:

- бензолсульфо кислоту (БСК);

- поліетіленполіамін (ПЕПА);
- гідроперекис ізопропілбензолу (ГП);
- солянокислий анілін (СКА);
- пасту з перекису бензолу і дібутілфталату;
- кремнієфтористий натрій.

Кількість введеного отверджувача впливає на строки втрати рухливості сумішшю (від 5 хв і більше) та на терміни набору марочної міцності (від 1 доби і більше).

Як заповнювач та наповнювач варто застосовувати:

- гранітний щебінь;
- пористі заповнювачі;
- кварцовий пісок;
- наповнювач мінеральний тонкого помелу.

В якості прискорювачів, пластифікаторів і добавок застосовують:

- пластифікатор ОС-2;
- нафтенат кобальту НК;
- фосфогіпс (гіпс);
- нафтовий парафін;
- емульсійний полістирол;
- діметіланілін;
- фуріловий спирт;
- катапін;
- сульфанол;
- ГКЖ-10 (ГКЖ-11 та ін.).

Наповнювачі і заповнювачі для приготування полімерних розчинів та полімерних бетонів повинні мати кислотостійкість не нижче 97...98 %.

Вологість наповнювачів повинна бути не більше 1 %, а заповнювачів – не більше 0,5 %.

Приготування полімерних сумішей, як правило, повинно проводитись із застосуванням технологічного устаткування, що призначається для приготування бетонів на цементному в'язучому.

Для приготування полімеррозчинної та полімербетонної суміші необхідно застосовувати бетонозмішувачі примусової дії.

При лабораторних випробуваннях формування виробів з полімерного розчину та полімерного бетону необхідно виконувати у сталевих формах.

Ущільнення полімерних сумішей виконують із застосуванням віброобладнання (віброплощадки, вібратори тощо).

Твердіння відбувається при температурі навколишнього повітря не нижче 10 °С протягом 28...30 діб. Для прискорення процесу твердіння полімербетону його піддають термообробці, або застосовують прискорювачі твердіння.

Склади і технологічні режими перемішування, формування і твердіння полімерних розчинів та полімерних бетонів перевіряють перед початком масового використання в виробництві, а також при зміні застосованих матеріалів та їх співвідношення.

Технологічні режими приготування полімерних розчинів та полімерних бетонів повинні викладені у стандартах або технологічних картах, що затверджені у встановленому порядку.

Склади полімерних розчинів, полімерних бетонів та технологію їх приготування призначають відповідно до інструкції з технології, затвердженої у встановленому порядку.

При проведенні ремонту бетонних та залізобетонних штучних споруд, полімери використовують для виготовлення:

- захисних полімерних фарб;
- ін'єкційних полімерних розчинів;
- полімерних розчинів для торкретування;
- полімерних бетонів.

У табл. 5.13, 5.14 наведеноклади полімерних сумішей, що пройшли випробування у ГНДЛ «Матеріали та будівлі для залізничного транспорту» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, та рекомендовані для використання при ремонті бетонних та залізобетонних транспортних споруд.

Виготовлення полімерних розчинів та полімерних бетонів може проводитись, як на заводі так і безпосередньо на будівельному майданчику. Технологія виготовлення суміші впливає на міцність розчинного або бетонного каменю.

Рекомендовано таку послідовність виготовлення полімерних розчинів та полімерних бетонів:

- у бетонозмішувач завантажується полімер, розчинник, домішка (якщо необхідно) та перемішується до однорідного стану;
- додається пісок та знову перемішується суміш до однорідного стану;

- додається отверджувач та перемішується суміш до однорідного стану;
- додається щебінь і перемішується до рівномірного розташування часток щебеню у об'ємі суміші (якщо готується полімерний бетон).

Таблиця 5.13

Склади полімерного бетону на основі епоксидних смол

Назва матеріалу	Кількість від ваги, %			
	Полімер-розчин	Полімер-бетон	Розчин для ін'єктування	Захисний лак
Епоксидна смола	9...12	7...10	70...75	40...48
Отверджувач – поліетіленполіамін (ПЕПА)	1,2...1,4	0,8...1,2	7...10	2,5...3,1
Пластифікатор – дібутилфталат	1,9...2,4	1,2...1,9	11...15	2,9...3,4
Розчинник – толуол	2...2,3	1,3...1,7	—	19...25
Дрібний заповнювач	57...68	15...25	—	—
Крупний заповнювач	—	34...40	—	—
Тонкомелений заповнювач (андезит, кварцовий пісок, пил газоочищення феросиліцію та ін.)	23...32	16...21	—	18...28

Таблиця 5.14

Склади полімерного бетону на основі карбамідоформальдегідних смол

Назва матеріалу	Кількість від ваги, %	
	Полімеррозчин для торкретування	Розчин для ін'єктування
Карбамідоформальдегідна смола	20...30	65...75
Отверджувач – щавлева кислота (5 %-й розчин)	1,8...2,7	6...11
Дрібний заповнювач	54...60	—
Тонкомелений заповнювач (андезит, кварцовий пісок, пил газоочищення феросиліцію та ін.)	8...15	—
Вода	—	12...20

Полімеррозчинні та полімербетонні суміші рекомендується використовувати при ремонті бетонних та залізобетонних споруд, які експлуатуються в агресивних умовах під водою та у зоні змінного рівня води, для яких достатня міцність під час стискання – 35...120 МПа, а під час відриву – 2,5...6,3 МПа.

Висновки до розділу 5

Перед вибором ремонтного матеріалу необхідне виявлення причин руйнування бетону конструкцій, вивчення умов експлуатації та дослідження характеристик матеріалу основи для забезпечення сумісності. Матеріали для ремонту бетонних та залізобетонних штучних споруд на об'єктах колійного господарства повинні мати відповідні до технології ремонту технологічні і фізико-механічні властивості.

При ремонті бетонних та залізобетонних споруд використовують три категорії матеріалів:

- ремонтні матеріали на основі мінеральних в'язучих речовин без добавок та з добавками;
- полімерцементні розчини та бетони;
- полімерні розчини та полімербетони.

Міцнісні властивості полімеррозчинів та звичайних цементних розчинів відрізняються значно, властивості модифікованих полімером цементних розчинів є проміжними. Міцнісні та деформативні властивості простих цементних розчинів будуть найбільш наближеними до аналогічних властивостей більшості бетонних основ, тобто найбільш близькими за критерієм сумісності.

Співробітниками ГНДЛ «Матеріали та будівлі для залізничного транспорту» проведено дослідження властивостей сучасних цементів і визначено шляхи ефективного їх застосування.

Для підвищення технологічності ремонтних сумішей та фізико-механічних характеристик бетону, що застосовуються для ремонту бетонних та залізобетонних транспортних споруд, рекомендується вводити до їх складу хімічні модифікуючі добавки. В лабораторії кафедри «Управління проектами, будівлі та будівельні матеріали» Дніпропетровського національного університету залізничного

транспорту імені акад. В. Лазаряна досліджено основні характеристики і проведено класифікацію добавок, що розповсюджені на території України.

Полімерцементні розчини та бетони використовують у випадках, коли до об'єктів висувають підвищені вимоги з водонепроникності, міцності, корозійної стійкості, у надводних, підводних умовах і в зоні змінного рівня води.

Полімеррозчинні та полімербетонні суміші використовуються при ремонті бетонних та залізобетонних споруд, які експлуатуються у агресивних умовах під водою та у зоні змінного рівня води, для яких достатня міцність під час стискання – 35...120 МПа, а під час відриву – 2,5...6,3 МПа.

ВИСНОВКИ

У роботі наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової задачі, що виявляється в розробці теоретичних і методологічних підходів до структури управління процесом ремонту і відновлення несучої здатності бетонних і залізобетонних транспортних споруд.

В залізобетонних елементах з часом з'являються дефекти й пошкодження, що знижують довговічність і в окремих випадках несучу здатність споруд. Від своєчасного і якісного усунення цих пошкоджень залежить надійність і безвідмовність роботи штучних споруд.

За останній час з'явилася велика кількість нових вітчизняних та закордонних матеріалів, що дозволяють не тільки припиняти розвиток дефектів і несправностей залізобетонних конструкцій, але і проводити їхнє підсилення з метою одержання необхідних експлуатаційних характеристик.

В результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

- Проведена систематизація дефектів і пошкоджень штучних залізобетонних конструкцій транспортних споруд на основі аналізу натурних даних обстежень та літературних джерел.
- Виконано аналіз неруйнівних методів контролю технічного стану та міцності штучних залізобетонних конструкцій, що експлуатуються.
- Проведено аналіз дефектів залізобетонних конструкцій та їх класифікація за впливом на довговічність.
- Визначено ефективність використання ремонтних матеріалів вітчизняного та іноземного виробництва у порівняльних лабораторних випробуваннях з урахування сумісності матеріалів.

- Проаналізоване напружено-деформований стан елементів конструкцій залізобетонних штучних споруд при різних співвідношеннях фізико-технічних властивостей ремонтного матеріалу та матеріалу основи при ремонті транспортних залізобетонних споруд.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Більченко, А.В. Влияние некоторых дефектов мостовых строений на их эксплуатационную долговечность [Текст] / А. В. Більченко, О. Г. Кіслов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 20. – С. 97–98.
2. Пшінько, О. М. Систематизация дефектов железобетонных искусственных сооружений и способов их устранения [Текст] / О. М. Пшінько, К. І. Солдатов, А. В. Краснюк, П. О. Пшінько // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 22. – С. 106–113.
3. Пшінько, А. Н. Проблемы ремонта инженерных транспортных сооружений [Текст] / А. Н. Пшінько, Н. Н. Руденко // Залізничний транспорт України. – 2000. – Вип. 3. – С. 12–14.
4. Плуґін, А. А. Систематизація пошкоджень залізобетонних плит безбаластного мостового полотна залізничних мостів [Текст] / А. А. Плуґін, С. В. Мірошніченко, О. А. Забіяка, Г. О. Линник, А. І. Бабенко: зб. наук. праць. – Харків : УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 109. – С. 120–130.
5. Пшінько, О. М. Визначення ступеню впливу пошкоджень залізобетонних прогонових будов залізничних мостів [Текст] / О. М. Пшінько, І. В. Сальнікова // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 170–174.
6. Інструкція по утриманню штучних споруд [Текст] / В. Ф. Сушков, Л. П. Ватуля, М. М. Літвінов та ін. – Київ : Транспорт України, 1999. – 96 с.
7. Руководство по пропуску подвижного состава по железнодорожным мостам [Текст]. – Москва : Транспорт, 1993. – 368 с.
8. Указания по определению условий пропуска поездов по железнодорожным мостам [Текст]. – Москва : Транспорт, 1983. – 264 с.
9. Інструкція з визначення умов пропуску рухомого складу по металевих та залізобетонних залізничних мостах. ЦП 0093 [Текст]. – Київ, 2002. – 105 с.
10. Інструкція з визначення умов пропуску рухомого складу по металевих та залізобетонних залізничних мостах [Текст] : ЦП-0093: затвердж. наказом

- Укрзалізниці № 354-Ц від 10.06.2002. – Київ : Головн. управл. колійного госп-ва Укрзалізниці, 2002. – 301 с.
11. Експлуатація і реконструкція мостів [Текст] / Н. Є. Страхова, В. О. Голубев, П. М. Ковальов, В. В. Тодірка. – Київ : ТАУ, 2002. – 408 с.
 12. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст]. – Київ: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2002. – 134 с.
 13. Страхова, Н. Є. Експлуатація і реконструкція мостів [Текст] / Н. Є. Страхова, В. О. Голубев. – Київ : Український транспортний університет, 2000. – 384 с.
 14. Пшинько, А. Н. Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений : монография [Текст]. – Днепропетровск : Пороги, 2000. – 411 с.
 15. Khan, M. I., Specification for Concrete Repair in highway Structures / M. I. Khan, F. J. O'Flaherty, P. S. Mangat, 1999. – 16 p.
 16. Коваленко, В. В. Методы повышения физико-механических, технологических свойств долговечности бетона, строительных растворов и железобетона [Текст] / В. В. Коваленко, Ю. Л. Заяц, Т. П. Решетняк, П. О. Пшінько / Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 21. – С. 122–124.
 17. EN 1504-2:2004 Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity: 01.01.2005. – P. 52.
 18. Руководство по ремонту бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений с учетом обеспечения совместимости материалов [Текст]. – Москва, ЦНИИС, 2005. – 160 с.
 19. Руководство по ремонту бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений с учетом обеспечения совместимости материалов [Текст]. – Москва : ОАО ЦНИИС, 2010. – 182 с.
 20. Мірошніченко, С. В. Механізм тріщиноутворення у плитах безбаластного мостового полотна [Текст] / С. В. Мірошніченко: зб. наук. праць. – Харків : УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 125. – С. 160–164.
 21. Мірошніченко, С. В. Дослідження напруг і деформацій у плитах безбаластного мостового полотна [Текст] / С. В. Мірошніченко: зб. наук. праць – Харків : УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 109. – С. 113–119.
 22. До питання підвищення довговічності підрейкових основ на залізницях України / О. М. Пшінько, В. В. Пристинська // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2014. – № 3. – С. 4–10.
 23. Указания по ремонту бетонных и железобетонных конструкций эксплуатируемых мостов [Текст]. – Москва : ЦНИИТЭИ МПС, 1975. – 75 с.
 24. Справочник по ремонту мостов и труб на железных дорогах [Текст]. – Москва : Транспорт, 1973. – 544 с.

25. Перельмутер, А. В. Эксплуатационная надежность конструкций зданий и сооружений и нормы проектирования при реконструкции [Текст] / А. В. Перельмутер. – Киев : Общ-во «Знание», 1991. – 264 с.
26. Осипова, В. О. Содержание, реконструкция, усиление и ремонт мостов и труб [Текст] : учебник для ВУЗов / В. О. Осипова, Ю. Г. Кузьмин. – Москва : Транспорт, 1996. – 471 с.
27. Осипова, В. О. Содержание и реконструкция мостов [Текст] / В. О. Осипова. – Москва : Транспорт, 1986. – 326 с.
28. Реконструкция зданий и сооружений [Текст] / А. Л. Шагин, Ю. В. Бондаренко, Д. Ф. Гончаренко, В. Б. Гончаров. – Москва : Высшая школа, 1991. – 352 с.
29. Анципировский, В. С. Содержание и реконструкция железнодорожных мостов [Текст] / В. С. Анципировский, В. О. Осипов, К. К. Якобсон. – Москва : Транспорт, 1975. – 240 с.
30. Настанови із ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій мостів і труб, що експлуатуються ЦП 0148: Затв.: Наказ Укрзалізниці від 21.02.2006 № 192-ЦЗ [Текст] / О. М. Пшінько, К. І. Солдатов, А. В. Краснюк та ін. – Київ : Швидкий рух, 2006. – 280 с.
31. Пшінько, А. Н. Методология и практика разработки систем для ремонта железобетонных конструкций [Текст] / А. Н. Пшінько, Н. В. Савицкий, А. Н. Зинкевич, А. Н. Савицкий, С. А. Чернец // Рациональные энергосберегающие конструкции, здания и сооружения в строительстве и коммунальном хозяйстве: Сб. научн. тр. международной научн.-практ. конф, Белгород. – 2002. – Ч. 1. – С. 179–184.
32. Зінкевич, А. М. Вплив вологовтрат ремонтного матеріалу на його деформаційну сумісність з матеріалом конструкції / А. М. Зінкевич, О. М. Пшінько, М. В. Савицький [Текст] // Сб.науч.тр.: Строительство, Материаловедение, Машиностроение. – Днепропетровск : ПГАСиА, 2002. – Вып. № 21. – С. 97–102.
33. Cusson, Daniel Durability of Repair Materials / Cusson Daniel, Mailvagan Noel // Concrete International, 1996, Vol. 18, No. 3, March, pp. 34–38.
34. Emmons, P. H. The Total System concept – Necessary for Improving the Performance of Repaired Structures / P. H. Emmons, A. M. Vaysburd // Concrete International, 1995, March, pp. 35–39.
35. Emmons, P. H. System Concept in Design and Construction of Durable Concrete Repairs / P. H. Emmons, A. M. Vaysburd // Construction and Building Materials, 1996, Vol. 10, No.1, pp. 69–75.
36. Emmons, P. H. Selecting Durable Materials: Performance Criteria / P. H. Emmons, A. M. Vaysbura, J. E. McDonald, R. W. Poston, K. E. Kesner // Concrete International, 2000, March, pp. 38–45.
37. Emmons, P. H. Concrete Repair in the Future Turn of the Century-Any Problems / P. H. Emmons, A. M. Vaysbuurd, J. E. McDonald // Concrete International, 1994, Vol. 16, No. 3, March, pp. 24–49.

38. Правила визначення вантажопідйомності балкових залізобетонних прогонових будов залізничних мостів [Текст] / В. І. Борщов та ін. – Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 404 с.
39. Руководство по определению грузоподъемности опор железнодорожных мостов [Текст]. – Москва : Транспорт, 1995. – 56 с.
40. Руководство по определению грузоподъемности железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов [Текст]. – Москва : Транспорт, 1989. – 125 с.
41. ДБН 2.3-6-2002. Споруди транспорту. Мости і труби. Обстеження і випробування [Текст]. Надано чинності 01-10-2002. Київ : Государственный комитет Украины по строительству и архитектуре, 2002. – 15 с.
42. Матвеев, В. К. Современные методы обследования автодорожных мостов, опыт Т.К.М. [Текст] / В. К. Матвеев, В. К. Блохин, О. В. Крутиков // Мосты: Сб. трудов – Москва : МГУПС. – 1997. – 251 с.
43. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України. ЦП 0059 [Текст]. – Київ : Головне управління колійного господарства Укрзалізниці, 2000. – 25 с.
44. Обследование и испытание сооружений [Текст] / О. В. Лужин, А. Б. Злочевский, И. А. Горбунов, В. А. Волохов. – Москва : Стройиздат, 1987. – 262 с.
45. Інструкція про порядок огляду будівель і споруд на залізничному транспорті ЦБМЕС 0003 [Текст]. – Київ : ЦБМЕС УЗ, 2004. – 47 с.
46. Плуґін, А. А. Аналіз впливу потенціалів від струмів витоку на утворення тріщин в плитах безбалластного мостового полотна на електрифікованих ділянках залізниць [Текст] / А. А. Плуґін, О. А. Забіяка, Г. О. Линник : зб. наук. праць. – Харків : УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 115. – С. 5–12.
47. Мирошніченко, С. В. К вопросу исследования трещиностойкости железобетонных плит безбалластного мостового полотна [Текст] / С. В. Мирошніченко и др. // Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). – 2009. – Вип. 72. – Київ : ДП НДІБК, 2009. – С. 457–464.
48. Орлов, В. Г. Безбалластное мостовое полотно железнодорожных мостов [Текст] / В. Г. Орлов, А. А. Дорошкевич, В. В. Батюня // Путь и путевое хозяйство. – 2008. – № 1. – С. 25–26.
49. Для увеличения долговечности плит БМП [Текст] / С. А. Клюкин и др. // Путь и путевое хозяйство. – 2007. – № 11. – С. 28–30.
50. Борщов, В. І. Розрахунок залізобетонної прогінної будівлі з каркасно-зварною арматурою під залізницю [Текст] / В. І. Борщов, О. Л. Загора, М. М. Попович. – Дніпропетровськ : ДПТ, 1999. – 56 с.
51. Попович, М. М. Розрахунок залізничної прогонової споруди із попередньо напруженого залізобетону [Текст] / М. М. Попович, О. Л. Загора. – Дніпропетровськ : ДПТ, 1998. – 65 с.
52. Експлуатація і реконструкція мостів [Текст] / Н. Є. Страхова, В. О. Голубєв, П. М. Ковальов, В. В. Тодірка. – Київ: ТАУ, 2002. – 408 с.

53. Загора, О. Л. Експериментальні дослідження несучої здатності повздовжніх металевих балок залежно від типу мостового полотна [Текст] / О. Л. Загора, Г. О. Линник, В. В. Марочка // Вісник національного університету «Львівська політехніка». – 2010. – № 662. – С. 193–195.
54. Методические указания по технологии и механизации работ при строительстве и ремонте, усилении конструкций нанесения бетонной смеси методом торкретирования [Текст]. – Москва: ТНИИОНТП, 1986. – 36 с.
55. Кириллов, В. С. Эксплуатация и реконструкция мостов и труб [Текст] / В. С. Кириллов, Б. Г. Ерин. – Москва: Научно-техническое изд-во министерства автомобильного транспорта и шоссейных дорог РСФСР, 1960. – 296 с.
56. Инструкция по уширению автодорожных мостов и путепроводов. ВСН 51-88 [Текст]. – Москва: Транспорт, 1990. – 128 с.
57. Указания по ремонту бетонных и железобетонных конструкций эксплуатируемых мостов и труб [Текст]. – Москва: МПС, 1975. – 145 с.
58. Указания по испытанию прочности бетона в конструкциях и сооружениях неразрушающими методами с применением приборов механического действия [Текст]. – Київ: Будівельник, 1967. – 79 с.
59. Попов, К. Н. Оценка качества строительных материалов [Текст] / К. Н. Попов, М. Б. Каддо, О. В. Кульков. – Москва: Ассоциация строительных ВУЗов, 1999. – 248 с.
60. Гулунов, А. В. Методы и средства неразрушающего контроля бетона и железобетонных изделий [Текст] / А. В. Гулунов // В мире неразрушающего контроля. – 2002. – № 2(16). – С. 24–25.
61. Попов, К. Н. Оценка качества строительных материалов (физико-механические испытания строительных материалов) [Текст] / К. Н. Попов, М. Б. Каддо, А. В. Кульков. – Москва: Изд-во АСВ, 2001. – 239 с.
62. Лещинский, М. Ю. Испытание бетона: справочное пособие [Текст] / М. Ю. Лещинский. – Москва: Стройиздат, 1980. – 360 с.
63. Физдель, И. А. Дефекты в конструкциях, сооружениях и методы их устранения [Текст] / И. А. Физдель. – Москва: Стройиздат, 1987. – 336 с.
64. ДСТУ Б В.2.7–220:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю [Текст]. – Надано чинності 22-12-2009. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 15 с.
65. Технологические правила торкретирования кладки инженерных сооружений [Текст]. – Москва: Транспорт, 1985. – с. 31.
66. Губайдуллин, Г. А. Приборный комплекс оперативного контроля прочности бетона [Текст] / Г. А. Губайдуллин // В мире НК. – 2002. – № 2(16). – С. 21–22.
67. Коробко, В. И. Контроль качества строительных конструкций: виброакустические технологии [Текст] / В. И. Коробко, А. В. Коробко. – Москва: Издательство АСВ, 2003. – 287 с.

68. Савйовский, В. В. Ремонт и реконструкция гражданских зданий [Текст] / В. В. Савйовский, О. Н. Болотских. – Харьков : Издательский дом «Ватерпас», 1999. – 287 с.
69. Лучко, Й. Й. Методи дослідження та випробування будівельних матеріалів і конструкцій [Текст] / Й. Й. Лучко, П. М. Коваль, М. Л. Дем'ян. – Львів : Каменярь, 2001. – 436 с.
70. Линник, Г. О. Дослідження місцевих деформацій бетонного прокладного шару при використанні мостового полотна на плитах БМП [Текст] / Г. О. Линник // Вісник національного університету «Львівська політехніка». – 2010. – № 662. – С. 293–295.
71. Рибкін, В. В. Дослідження експлуатаційного ресурсу попередньо напружених залізобетонних шпал українського виробництва [Текст] / В. В. Рибкін, Ю. Л. Заяць, В. В. Коваленко, П. О. Пшінько // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 39. – С. 173–179.
72. Руководство по устранению дефектов и лечению трещин при возведении крупноразмерных железобетонных конструктивных элементов транспортных сооружений [Текст]. – Москва : ЦНИИС, 2000. – 145 с.
73. Соловьянчик, А. Р. Методы и технологии предупреждения и лечения трещинообразования в монолитных железобетонных конструкциях [Текст] / А. Р. Соловьянчик, С. А. Шифрин // Строй РЕСУРС. – 2003. – № 6. – С. 76–80.
74. Власов, Г. М. Расчет железобетонных мостов [Текст] / Г. М. Власов, В. П. Устинов. – Москва : Транспорт, 1992. – 256 с.
75. Иолевский, Л. И. Практические методы управления надежностью железобетонных мостов [Текст] / Л. И. Иолевский. – Москва : НИЦ «Инженер», 2005. – 323 с.
76. Власов, Г. М. Расчет железобетонных мостов [Текст] / Г. М. Власов, В. Б. Геронимус, Е. В. Поваляев. – Новосибирск : Изд-во НИИЖТ, 1968. – 300 с.
77. Расчет железобетонных мостов [Текст] / под редакцией К. К. Яковсона. – Москва : Транспорт, 1977. – 352 с.
78. Справочник проектировщика инженерных сооружений [Текст] / А. П. Величкин, В. Ш. Козлов, И. Г. Харитонов и др. – Київ : Будівельник, 1973. – 552 с.
79. Morgan, D. R. Compatibility of concrete repair materials and systems [Текст] / D. R. Morgan // Construction and Building Materials. – 1996. – Vol. 10, No. 1. – Pp. 57–67.
80. Методические рекомендации по исследованию усадки и ползучести бетона [Текст]. – Москва : НИИЖБ Госстроя СССР, 1975. – 117 с.
81. Громова, Е. В. Факторы, влияющие на контактную прочность и пути интенсификации процессов сцепления нового бетона со старым при ремонте транспортных сооружений [Текст] / Е. В. Громова // Строительство. – Днепропетровск : Арт-Пресс. – 2000. – Вып. 9. – С. 67–71.

82. Громова, Е. В. Физико-химическая природа контактного слоя при ремонте и восстановлении монолитности бетонных искусственных сооружений [Текст] / Е. В. Громова // Будівельні конструкції. – Київ : НДІБК, 2002. – Вип. 56. – С. 306–310.
83. Громова, Е. В. Вопросы возникновения адгезионной связи в зоне контакта нового бетона со старым [Текст] // Ресурсосберегающие технологии в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск : Арт-Пресс. – 2000. – Вып. 8. – С. 215–223.
84. Shigen Li Application of Pull off Test to Access the Durability of Bond Between New and Old Concrete Subjected to Deicer Salts / Li Shigen, G. C. Frantz, J. E. Stephens // ACI SP-168: Innovations I Nondestructive Testing of Concrete, 1997, pp. 267–294.
85. Maddallah, Khalid Personal Contact / Maddallah, Khalid // College of Architect and Building Materials, KFUPU, 2001, pp. 24–28.
86. Silfwerbrand, Johan Improving Concrete Bond in Repaired Bridge Decks / Silfwerbrand, Johan. – CI, 1990, Vol. 12, No. 9, September, pp. 61–66.
87. Yao, S., Geiker M., and Michael Faber, 1999, Effective Assessment of Repairs / S. Yao, M. Geiker, Michael Faber // CI. – Vol. 2, No. 3, March, pp. 46–48.
88. Vipulanandan C., Dharmarajan N. Analysis of fracture parameters of polymer concrete // ACI Materials Journal. – 1989. – Vol. 86, № 4. – P. 383–393.
89. Ivan, Razel Repair of reinforced concrete bridge structures. Materials and Methods [Текст] / Razel Ivan // Автомобильные дороги и дорожное строительство. – 2000. – № 59 – С. 257–263.
90. Руководство по ремонту бетонных и железобетонных конструкций автодорожных мостов полимерцементными составами [Текст]. – Москва : НИЦ «Мосты», ОАО «ЦНИИС», 1996. – 230 с.
91. Skarendahl A. Self-Compacting Concrete / A. Skarendahl // State-Of-The-Art Report of RILEM TC 174-SCC, 2000, pp. 145–147.
92. De Schutter G. Proceedings of the Fifth International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete / De Schutter G. – Ghent, 2007. – 135 p.
93. Chazi F. and others. New Method for Proportioning Self Consolidating Concrete Based on Compressive Strength Requirements / F. Chazi and others // ACI Material Journal, vol. 107, № 5, pp. 124–130.
94. DAfStb-Richtlinie Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie), Ausgabe November, 2003, 24 p.
95. Рыжов, И. Н. Самоуплотняющиеся бетонные смеси – производство и применение [Текст] / И. Н. Рыжов // Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологии. – 2008. – Сб. № 1. – С. 120–122.
96. EG SCC European Guidelines for Self Compacting Concrete. Specification, Production and Use, 2005, 68 p.
97. Руководство по применению самоуплотняющихся смесей в мостостроении (приготовление, транспортирование, укладка и выдерживание) [Текст]. – Москва : ОАО ЦНИИС, ОАО «МОСТОТРЕСТ», 2010. – 75 с.

98. Рекомендации по ремонту и восстановлению железобетонных конструкций полимерными составами [Текст]. – Москва : НИИЖБ Госстроя СССР, 1986. – 86 с.
99. Приходько, А. П. Модификация полимерной композиции для расширения функциональных свойств ремонтных составов / А. П. Приходько, Е. С. Харченко, А. В. Краснюк // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Днепропетровск, 2009. – Вип. 28. – С. 96–99.
100. Рекомендации по применению новых типов защитно-конструкционных полимеррастворов для реставрации и консервации памятников и исторических зданий из камня и бетона [Текст] / НИЛЭП ОИСИ. – Ч. 2. – Москва : Стройиздат, 1987. – 107 с.
101. Липатов, Ю. М. Структура, свойства наполненных полимерных систем и методы их оценки [Текст] / Ю. М. Липатов // Пластические массы. – 1976. – № 11. – С. 6–10.
102. Пащенко, А. А. Замена части портландцемента отходами производства ферросилиция [Текст] // Строительные материалы и конструкции. – 1988. – № 4. – с. 14–16.
103. Хостин, С. И. Применение микрокремнезема на бетонных производствах [Текст] / С. И. Хостин // Популярное бетоноведение. – 2004. – № 2. – С. 22–26.
104. Брыков, А. С. Ультрадисперсные кремнеземы в технологии бетонов: учебное пособие [Текст] / А. С. Брыков. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2009. – 27 с.
105. Касторных, Л. И. Добавки в бетоны и строительные растворы [Текст] : учебно-справочное пособие / Л. И. Касторных. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2007. – 221 с.
106. Ушеров-Маршак, О. В. Хімічні і мінеральні добавки в бетон [Текст] / О. Ушеров-Маршак. – Харків : Колорит, 2005. – 280 с.
107. Захаров, С. А. Высокоактивный метакаолин – современный минеральный модификатор цементных систем [Текст] / С. А. Захаров, Б. С. Калачик // Строительные материалы. – 2007. – № 5. – С. 56–57.
108. Дворкін, Л. Й. Метакаолін в будівельних розчинах і бетонах [Текст] / Л. Й. Дворкін, Н. В. Лушнікова, Р. Ф. Рунова, В. В. Троян. – Київ : КНУБіА, 2007. – 216 с.
109. Дворкин, Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности: справочное пособие [Текст] / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – Ростов на-Дону : Феникс, 2007. – 368 с.
110. Пунагін, В. М. Призначення складів гідротехнічного бетону [Текст] / В. М. Пунагін, О. М. Пшінько, Н. М. Руденко. – Дніпропетровськ : Арт-Прес, 1998. – 213 с.
111. Громова, О. В. Основи проектування оптимальних складів бетону зі зниженням тепловиділення [Текст] / О. В. Громова // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 74 Международной

- научно-практической конференции (Днепропетровск, 14–15 мая 2014 г.) – Днепропетровск : ДИИТ, 2014. – 364 с.
112. Design and Control of Concrete Mixture. Portland Cement Association, Ottawa, 1984. – 120 p.
113. Дворкин, Л. И. Проектирование составов бетона с заданными свойствами [Текст] / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – Ровно : РГТУ, 1999. – 202 с.
114. Sliwinski, J. Beton zwykly – projektowanie i podstawowe wlasciwosci / J. Sliwinski. – Krakow: Polski Cement Sp. z o.o., 1999. – 164 s.
115. Spiratos, M. and oth. Superplasticizers for concrete: fundamentals, technology and practice / M. Spiratos and oth. – Quebec, 2006. – 322 p.
116. Ушеров-Маршак, А. В. Химические и минеральные добавки в бетон [Текст] / А. В. Ушеров-Маршак. – Харків : Колорит, 2005. – 280 с.
117. Афанасьев, Н. Ф. Добавки в бетоны и растворы [Текст] / Н. Ф. Афанасьев, М. К. Целуйко. – Київ : Будівельник, 1989. – 128 с.
118. Руководство по применению химических добавок к бетону [Текст]. – Москва : Стройиздат, 1961. – 55 с.
119. Добавки в бетон: справочное пособие [Текст] / под ред. В. С. Рамачандран. – Москва : Стройиздат, 1981. – 575 с.
120. Иванов, Ф. М. Добавки к бетонам и строительным растворам / Ф. М. Иванов // Бетон и железобетон. – 1974. – № 6. – С. 23–24.
121. Коваленко, В. В. Структурообразование в модифицированных бетонах [Текст] / В. В. Коваленко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 157–163.
122. Елшин, М. М. Полимербетоны в гидротехническом строительстве [Текст]. – Москва : Стройиздат, 1980. – 192 с.
123. Пат. 99052957, МПК 6 С 04 В 26/00. Полімерцементна суміш / О. М. Пшінько, В. М. Пунагін, Н. М. Руденко, А. В. Краснюк, О. В. Громова (Україна); Заявл. 28.05.99; Опубл. 15.02.2000, Бюл. № 1. – 4 с.
124. Bordeleau D., Pigeon M., Banthia N. Comparative study of latex-modified concretes and normal concretes subjected to freezing and thawing in the presence of a decider salt solution / D. Bordeleau, M. Pigeon, N. Banthia // ACI Materials Journal. – 1992. – Vol. 89, № 6. – Pp. 547–553.
125. Краснюк, А. В. Разработка полимерных составов на основе различных марок карбамидных смол для закрепления трещиноватых бетонных массивов [Текст] // Строительство. – Днепропетровск, 2000. – Вып. 8. – С. 223–228.
126. Заяць, Ю. Л., Макаров Б. С., Сущенко В. В., Краснюк А. В. Використання полімерних матеріалів для ремонту бетону в зоні змінного рівня води [Текст] / Ю. Л. Заяць, Б. С. Макаров, В. В. Сущенко, А. В. Краснюк // Автомобильные дороги и дорожное строительство. – 2000. – № 59. – С. 59–61.
127. Технологическая карта на ремонт бетонных и железобетонных конструкций наливными составами из сухих смесей ЭМАКО (EMACO®) [Текст]. – Москва, 2009. – 54 с.

128. Технологическая карта на ремонт бетонных и железобетонных конструкций тиксотропными составами из сухих смесей ЭМАКО [Текст]. – Москва, 2005. – 75 с.
129. Ли, Х. Справочное руководство по эпоксидным смолам [Текст] / Х. Ли, К. Невилл. – Москва : Энергия, 1973. – С. 73.
130. Вяземская, Н. И. Применение эпоксидных полимербетонов для ремонта гидротехнических сооружений / Н. И. Вяземская, Е. В. Калинин // Перспективы применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве. – Москва : НТО Стройиндустрия. – 1976. – С. 34–37.

Додаток А

АКТ КОМІСІЙНОГО ОБСТЕЖЕННЯ ШТУЧНОЇ СПОРУДИ

1. Дата проведення комісійного обстеження _____
(рік, число, місяць)
 2. Найменування організації, яка виконала повне обстеження _____
 3. Склад комісії: голова _____
(посада, прізвище, ім'я по батькові)
члени комісії _____
(посада, прізвище, ім'я по батькові)
 4. Найменування об'єкта _____
(міст через ріку, шляхопровід через залізницю, а/дорогу)
 5. Місце розташування _____
(км, пікет, найменування дороги, найближчий населений пункт, категорія дороги)
 6. Прийнятий порядок позначення елементів моста _____
 7. Найменування організації, у віданні якої знаходиться міст _____
 8. Рік будови і попереднього обстеження _____
 9. Результати ознайомлення з технічною документацією:
а) подана і розглянута наступна технічна документація _____
(перелік основних документів)
б) виконання заходів, що викладені у попередніх звітах, актах обстеження _____
(перелік зробленого)
 10. Недоліки та ушкодження проїзної частини (з вказівкою об'єму):
а) покриття проїзної частини _____
б) тротуари і огороження _____
в) водовідвід _____
г) гідроізоляція _____
д) деформаційні шви та сполучення з насипом _____
 11. Недоліки та ушкодження прогонових будов (з вказівкою об'єму):
а) плита баластового корита _____
б) головні балки _____
в) діафрагми та сполучення _____
 12. Опори:
а) стояни _____
б) проміжні опори _____
 13. Інші дефекти, що підлягають усуненню _____
- Голова комісії: _____
- Члени комісії: _____

Додаток Б

Таблиця Б.1

Класифікація тріщин і дефектів, що виникають в процесі будівництва масивних і великорозмірних конструктивних елементів транспортних споруд

Причини виникнення тріщин і дефектів	Рішення, закладені в проєкті або використовуються в процесі будівництва	Ймовірний вплив на якість конструкцій, можливі місця розташування дефектів і тріщин і період їх прояву
1	2	3
1. Тріщини конструктивного походження		
Недотримання у проєкті вимог за призначенням відстані між постійними температурно-деформаційними швами в автодорожніх і залізничних тунелях, підпорних стінках, підвалинах мостів та інших конструктивних елементів. Виявляються в період будівництва або при різкому похолоданні в зимовий період	В конструктивних елементах в проєктах призначають відстані між температурно-деформаційними швами до 85 м і до 160 м	Температурні тріщини з розкриттям від 0,1 до 0,7 мм (і більше): в днище тунелю – перпендикулярні і паралельні осі; в стінах – вертикальні; в перекриттях – перпендикулярні, а в широких тунелях і паралельні осі тунелю
Неправильне призначення в проєкті розрахункової температури замикання швів в рамних конструкціях при проведенні розрахунків	Температура замикання швів призначається за температурою навколишнього середовища, а не по фактичній температурі бетону, що твердіє в момент перетворення бетону в пружний матеріал (міцність 0,25...0,3 R28)	Перевищення в залізобетонній конструкції величини фактичних розтягуючих напружень над прийнятій в розрахунок величиною напружень

1	2	3
<p>Призначення в проектах високих класів бетону для масивних залізобетонних конструктивних елементів</p> <p>Відсутність вутів в зоні спряження стін з перекриттями і стін з днищем</p> <p>Недоблік особливостей усадки бетону в обмежених умовах, бажання виключити облік роботи бетону в зоні розтягування</p>	<p>Застосовують бетон класів В 35, В 40 і В 45 замість бетонів класів В 25, що призводить до перевитрати цементу і перегріву конструкцій від екзотермії цементу</p> <p>Проектне рішення призводить до появи концентраторів напружень</p> <p>Посилене армування для забезпечення вимог СНиП 2.03.01-84 3-ї категорії тріщиностійкості при прийнятних відстанях між швами; не обумовлені вимоги з допустимої усадки бетону</p> <p>Прийнята регулярна схема армування без обліку роботи просторової конструкції та виникнення зон з концентрацією напружень</p> <p>Вжито однаковими. В СНиП не закладені вимоги з перевірки і зіставлення значень цих коефіцієнтів для бетону і металу</p>	<p>Вертикальні, горизонтальні і косі тріщини; зменшення допустимої величини граничної розтяжності бетону, що твердіє при високих температурах</p> <p>Вертикальні тріщини в стінах, тріщини перпендикулярні осі споруди в перекритті</p> <p>Бетон, що укладається в обмежених умовах не має можливості вільної усадки, особливо в збірно-монолітних конструкціях; призводить до виникнення усадочних тріщин у стінах. Утворення щербистості і зон відриву захисного шару</p> <p>Утворення тріщин в кутах стін і перекриттів на стадії будівництва і експлуатації; поглиблює тріщинують утворення від технологічних факторів</p> <p>Збільшення розтягуючих напружень в бетоні при охолодженні конструкції, якщо КТЛР арматури вище КТЛР бетону</p>
<p>Спрощення складних конструктивних схем тунелю при проведенні розрахунків на тріщиностійкість</p>		
<p>Різниця в величині коефіцієнтів температурного лінійного розширення бетону і арматури</p>		

1	2	3
<p>Недоблік особливостей термонапруженого стану окремих частин різномасивних елементів конструкцій на стадії тверднення бетону і в період експлуатації споруд</p> <p>Недоблік наявності напруженого стану в забетонованих окремих елементах, що не пов'язані в процесі будівництва в єдину конструкцію і піддаються ранньому навантаженню</p> <p>Відсутність вимог до міцності бетону на розтяг</p>	<p>В проектах не здійснюється розрахунок теплового і термонапруженого стану різномасивних конструкцій</p> <p>Не вказуються умови перерозподілу навантажень в період будівництва, пов'язаних з послідовністю виконання робіт; не враховуюче власний термонапружений стан в бетоні</p> <p>Приймається загальноприйняте значення, що складає 10 % від проектної міцності бетону при стисненні</p>	<p>Поява в маломасивній частині конструкцій, перпендикулярних до масивної частини або тріщини в зоні контакту цих частин</p> <p>Утворення силових тріщин при знятті опалубки в місцях концентрації напруги; утворення тріщин у період експлуатації споруди</p> <p>Визначення фактичної активності цементів, що надходять на бетонні заводи показало, що їх міцність на стиск не відповідає паспортним даним; більш низька міцність призводить до зниження тріщиностійкості конструкції в порівнянні з розрахунковою схемою</p>
<p>2. Організаційні причини виникнення тріщин</p> <p>Стислі терміни ведення робіт різко змінюються в кліматичних умовах при частково змінних організаційно-технологічних факторах і при внесених змін до проектних рішень</p>	<p>Відсутність проекту організації будівництва, повного проекту виконання робіт і відповідних технологічних карт, гнучких схем виробництва робіт</p>	<p>Темпи ведення робіт не відповідають (випереджають) швидкості протікання фізико-хімічних процесів в бетоні, що приводить до виникнення зон з високою неоднорідністю матеріалу, що сприяє зниженню тріщиностійкості</p>

Продовження табл. Б.1

1	2	3
Необхідність укладання більших об'ємів бетону і високі темпи бетонування	Поставка бетону з декількох заводів	Виникнення неоднорідності через різницю в характеристиках використаних інертних матеріалів і цементів. Порушення циклічності в поставках через напружені умови на внутрішньому міському гістралях; виникнення додаткових робочих швів через перерви в бетонуванні, виникнення в стінах тріщин
3. Організаційно-технологічні причини		
Неоптимальне бетонування за елементами	Не враховуються умови завантаження конструкції; робочі шви в перекритті не завжди влаштовуються в зоні нульових моментів	Поява силових тріщин у перекритті при знятті опалубки
Нечітка ув'язка роботи будівельної лабораторії в момент укладання бетону із заводом-постачальником	Відсутність оперативного управління рухливостю бетонної суміші	Збільшення перерв у бетонуванні, відсутнє спільне опрацювання вібратором укладеного і раніше укладеного шару, тріщини і пошкодження в забетонуваних конструкціях

1	2	3
Відсутність резерву в технологічному оснащенні	Проблема в графіках виконання робіт	Збільшення перерв у бетонуванні понад регламентовані при виході з ладу обладнання; влаштування додаткових швів
Недостатня оснащеність обладнанням для забезпечення необхідних регламентом температурних умов при заданому темпі ведення робіт	Відсутність належної координації будівельно-монтажних робіт	При відсутності обладнання для локального відігрівання основи і раніше забетонованих ділянок складно забезпечити допустиму різницю температур між основою і бетонної сумішшю, що укладається; виникнення вертикальних тріщин через високі перепади температур в період замикання конструкції
Відсутність наукового супроводження виробництва будівельних робіт	Невиправдане бажання заощадити гроші на науковому супроводі	Не представляється можливим прийняття оперативних рішень при виникненні нерегламентованих ситуацій
Наявність навалу ґрунту на конструкції не об'єднання до моменту завантаження в єдину рамну систему	Рання засипка стін	Вертикальні силові тріщини на поверхах стін
4. Елементи невивченості		
Відсутність опрацювання можливих аварійних ситуацій	Порушення етапів зведення стінових конструкцій через необхідність влаштування тільки лотковою частини при зсувних явищах	Перпендикулярні тріщини в стінах від зони об'єднання з лотком

1	2	3
Порушення технологічного регламенту	Недотримання вимог по глибині прогрівання основи. Бетонування днища без часткового бетонування стін. Збільшення товщини укладених шарів бетону понад регламентовані. Необґрунтоване збільшення розмірів блоків бетонування. Недотримання вимог при догляді за бетоном, зняття опалубки і тепло вологозахист покриттів при значних перепадах температур бетону та довкілля	Вертикальні тріщини в стінах і тріщини в перекритті, перпендикулярні осі тунелю. Щобенистість через недоуцілювання суміші
Застосування при доставці до місця укладання тільки бетононасосів	Необхідність переходу на високо-рухливі суміші	Відсутність вимог щодо збереження проектної морозостійкості з використанням модифікаторів призводить до неоднорідності бетону заданим показником; можливе утворення дефектів у період експлуатації споруди
Відсутність даних про вплив надмірного насичення арматурою на тріщиностійкість	Відсутність фінансування наукових розробок	Утворення тріщин в період експлуатації при зміні погодних умов і при зміні навантажень
Вплив переходу від будівельної стадії до частково експлуатаційної	–	Утворення тріщин при поетапному об'єднанні елементів автодорожнього та залізничного тунелів та елементів інженерних комунікацій

Закінчення табл. Б.1

1	2	3
Відсутність даних про вплив комплексу чинників на стійкість і тріщиностійкість конструкцій	–	Спільний вплив конструктивних і організаційних, технологічних факторів може впливати на кількість утворюваних дефектів
5. Стан нормативної бази і недостатнє комплексність системи управління якістю		
Відсутність повної наукової експертизи проекту		Не представлена можливість оперативного впливу на прийняття проектних рішень
Недостатня повнота даних в існуючих нормативних документах	Приймається, що коефіцієнти температурного лінійного розширення сталі і бетони рівні	Необхідно визначити реальні коефіцієнти для використовуваних сортamentів арматури і конкретно го складу бетону; в випадку якщо коефіцієнт температурного лінійного розширення став менше, ніж ця характеристика для бетону, то при охолодженні конструкції арматура сприятиме появі температурних тріщин

Додаток В

В.1. Оцінка ступеню зносу штучних споруд

При визначенні умов подальшої експлуатації штучних споруд і оцінці їх технічного стану встановлюються чотири категорії несправності [74–78]:

0 категорія – штучні споруди, які не потребують ремонту і мають окремі невеликі дефекти, що ніяким чином не впливають на безпеку руху поїздів;

I категорія – штучні споруди, які мають несправності і дефекти, усунення або попередження розвитку яких здійснюється при поточному утриманні, а у окремих випадках при капітальному ремонті (фарбування прогонових споруд);

II категорія – штучні споруди, які мають несправності та дефекти, для усунення яких потрібно проводити капітальний ремонт;

III категорія – штучні споруди, які мають несправності або дефекти, що порушують нормальну експлуатацію і потребують виконання невідкладних заходів по їх заміні або реконструкції.

При наявності поодиноких дефектів і пошкоджень, які не характерні для більшої частини конструкції, категорію несправності встановлюють комісійно з урахуванням характеру, складності та обсягів ремонтних робіт, які необхідно виконати для усунення та попередження розвитку цих дефектів.

Стан штучної споруди або її елементів можна оцінювати проміжними категоріями, які позначають 0–I, I–II, II–III.

Штучна споруда або її елементи, які мають знос більше 60 %, підлягають підсиленню або повній заміні. Можливість та умови подальшої експлуатації такої штучної споруди встановлюється залежно від її загального стану та умов експлуатації. Відсоток зносу штучних споруд або їх окремих елементів визначають з урахуванням двох показників:

- технічного стану споруди або його елементів;
- тривалості експлуатації споруди.

Категорія несправності залізобетонних прогонових споруд залізничних мостів встановлюється із врахуванням таких характеристик основних пошкоджень:

- 0 категорія несправності: поодинокі тріщини на поверхні бетону з розкриттям до 0,2 мм; сколи захисного шару без оголення арматури;
- I категорія: численні тріщини в бетоні розкриттям до 0,2 мм; відколи захисного шару з оголенням арматури в окремих місцях; поодинокі місця вилугування розчину і сліди вилугування на поверхні бетону;
- II категорія: окремі тріщини розкриттям більше 0,2 мм, у тому числі наскрізні, похилі тріщини в стінках балок; значні пошкодження бетону плити баластного корита в окремих місцях від вилугування та розмороження; значні пошкодження захисного шару з корозією арматури;

– III категорія: численні тріщини розкриттям більше 0,2 мм, значна корозія арматури; значні пошкодження бетону плити баластного корита на більшій її частині від вилуговування та розмороження.

Величина зносу залізобетонних прогонових споруд мостів залежно від категорії несправності та віку споруди встановлюється згідно табл. В.1.

Таблиця В.1

Величина зносу залізобетонних прогонових споруд, %

Категорія несправності	Фактичний строк служби у роках								
	До 20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	7	12	17	23	30	38	45	56	60
I	25	28	32	36	42	47	52	60	Більше 60
II	44	45	47	49	52	55	58	Більше 60	
III	Більше 60								

Фактичний строк служби штучної споруди слід приймати з округленням до 5 років.

Для тих значень строку служби споруди, які відсутні у таблиці, величину зносу слід приймати по інтерполяції з округлюванням результату до цілого числа.

Категорія несправності мостових опор встановлюється із врахуванням таких характеристик основних пошкоджень [43]:

– 0 категорія несправності: руйнування розчину в окремих швах; руйнування поверхні кладки в окремих місцях на глибину до 3 см у масивних опорах, або без оголення робочої арматури у залізобетонних конструкціях; поодинокі тріщини розкриттям до 0,5 мм у масивних і до 0,2 мм у залізобетонних конструкціях;

– I категорія: руйнування розчину у швах кладки на значній частині опори; руйнування поверхні кладки у масивних конструкціях на глибину до 3 см, а у окремих місцях – до 10 см, в залізобетонних конструкціях – з оголенням робочої арматури в окремих місцях; численні тріщини розкриттям до 0,5 мм, поодинокі до 2 мм у масивних, а у залізобетонних конструкціях відповідно до 0,2 і 0,5 мм; смуги вилуговування розчину в окремих місцях;

– II категорія: руйнування розчину у швах кладки з зсувом і вивалом окремих каменів; руйнування кладки у масивних конструкціях на глибину до 10 см, а у окремих місцях більше 10 см; руйнування значної частини захисного шару залізобетонних конструкцій із корозією робочої арматури до 10 %; численні тріщини розкриттям до 2 мм, поодинокі до 5 мм у масивних, а у залізобетонних конструкціях відповідно до 0,5 і 1 мм; інтенсивне вилуговування розчину;

– III категорія – руйнування розчину у швах кладки із зсувом і вивалом рядів або груп каменів; руйнування кладки у масивних конструкціях на глибину 10 см і більше, в залізобетонних конструкціях – руйнування бетону із сильною корозією (більше 10 %) та деформаціями робочої арматури; наскрізні тріщини, які розділяють конструкцію опори на частини.

Величина зносу опор мостів залежно від категорії несправності та віку споруди встановлюється згідно з табл. В.2.

Таблиця В.2

Величина зносу мостових опор, %

Категорія несправності	Фактичний строк служби у роках								
	До 20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	4	7	10	13	17	21	25	30	35
I	22	24	27	29	32	35	38	41	45
II	42	43	44	45	47	48	50	52	54
III	Більше 60								

Для оцінки ступеня зносу залізобетонних конструкцій у [2, 23] застосовуються категорії технічного стану, скорочений опис яких наведений у табл. В.3.

При деформації окремих елементів або всієї опори в цілому (нахили, крени, випинання тощо) категорія несправності визначається з урахуванням обсягів робіт, які необхідно виконати для приведення конструкції у справний стан.

Для утримання штучних споруд у справному стані з метою забезпечення безпеки руху поїздів із встановленими швидкостями, організацію і планування поточного утримання штучних споруд необхідно здійснювати відповідно до вимог «Інструкції по устрою та утриманню колії залізниць України» (ЦП/0050), «Інструкції по поточному утриманню штучних споруд» (ЦП/0054) та «Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України» (ЦП/0059) [43].

Категорії технічного стану залізобетонних конструкцій промислових та цивільних будівель

Категорія	Ознаки категорії	Характеристика пошкоджень	Потрібні заходи
I	Відсутні видимі дефекти та пошкодження, які свідчать про зниження несучої здатності та експлуатаційної придатності конструкцій	Глибина втрати захисним шаром бетону захисних властивостей не перевищує половини його товщини, товщина захисного шару не менше проектної на 20 %, ширина розкриття тріщин не перевищує допустимих за нормами	Необхідність в ремонтно-відновних роботах відсутня
II	Відсутні видимі дефекти та пошкодження, які свідчать про зниження несучої здатності та експлуатаційної придатності конструкцій, захисні властивості бетону відносно арматури на окремих ділянках вичерпані	Глибина втрати захисним шаром бетону захисних властивостей не перевищує його товщини	Необхідне відновлення захисних властивостей захисного шару, влаштування та відновлення гідроізоляції і антикорозійного захисту
III	Наявні пошкодження, що свідчать про зниження несучої здатності та експлуатаційної придатності конструкцій, але на момент обстеження не загрожують безпеці працюючих та не сприяють обрушенню	Ширина розкриття тріщин перевищує допустимі значення понад 30 %, окремі стержні розподільчої арматури втрачені зв'язок з бетоном або розірвані	У [2, 23] не вказані

Категорія	Ознаки категорії	Характеристика пошкоджень	Потрібні заходи
IV	Наявні пошкодження, що свідчать про небезпеку перебування людей у зоні обстежуваних конструкцій	Розрив розподільчої арматури та окремих стержнем робочої арматури, викришування крупного заповнювача з бетону стиснутої зони	Потрібні негайні страховальні заходи: обмеження навантажень (недопущення складування матеріалів, деталей і т. п.), улаштування сіток і т. ін.
V	Наявні пошкодження, що свідчать про можливість обрушення конструкцій	Змивання бетону на краях тріщин, взаємне зміщення збірних конструкцій, прогини при наявності тріщин з розкриттям понад 0,5 мм	Потрібне негайне розвантаження конструкцій

В.2. Методика визначення ступеня пошкоджень залізобетонних прогонових будов залізничних мостів [5]

Найпоширеніші дефекти розподілені на 3 категорії, кожна категорія складається з кількох типів дефектів (від 3 до 5). Для споруд, які знаходяться на вибраній ділянці колії, складається база вихідних даних (пошкоджень, дефектів), які з часом накопичуються.

Пропонуються такі категорії дефектів:

1 категорія – не впливають на несучу здатність, але з часом можуть перейти в наступну категорію (усунення при поточному ремонті);

2 категорія – середня небезпека;

3 категорія – найбільш небезпечні.

Ступінь небезпечного стану (дефектний) одного прольоту залізобетонної прогонової будови S , будемо визначати, як функція дефектів D , залежності від їх кількості у відповідній категорії з урахуванням коефіцієнту небезпеки окремого типу дефекту:

$$S_m = \sum_{k=1} f(D_{kj}), \quad (\text{B.1})$$

де S – ступінь небезпечного стану прольоту і може бути від 0 до S_{\max} ($S = 0$ – прольот без дефектів; S_{\max} – найбільше пошкоджений проліт);

m – номер прольоту;

D_{kj} – дефекти k -ї категорії та j -го типу.

Для однієї категорії дефектів можна записати в наступного вигляді:

$$S_m^k = \sum_{j=1}^{p=5} \frac{n_j D_{kj} k_j}{n_j^{1/n_j}} = S_e^k + \sum_{j=1}^{p=1} S_e^k = \frac{n_j D_{kj}^{\max} k_j}{1^{1/1}} + \sum_{j=1}^{p=1} \frac{n_j D_{kj} k_j}{n_j^{1/n_j}}, \quad (\text{B.2})$$

де n_j – кількість дефектів одного типу;

k_j – коефіцієнт небезпеки певної категорії дефектів;

p – кількість типів дефектів в одній категорії.

В цілому, для вибраного прольоту враховуємо всі 3 категорії:

$$S_m = S_m^I + \frac{1}{\beta_k} S_m^{II} + \frac{1}{\beta_k} S_m^{III} = \sum_{j=1}^{p=1} \frac{n_j D_{1j} k_j}{n_j^{1/n_j}} + \frac{1}{\beta_k} \sum_{j=1}^{p=1} \frac{n_j D_{2j} k_j}{n_j^{1/n_j}} + \frac{1}{\beta_k} \sum_{j=1}^{p=1} \frac{n_j D_{3j} k_j}{n_j^{1/n_j}}, \quad (\text{B.3})$$

де S – безрозмірний параметр ступеня небезпечного стану прольоту;

m – номер прольоту;

n_j – кількість однотипних дефектів;

j – номер типу дефекту по кожній категорії;

- k – номер категорії;
- k_j – коефіцієнт небезпеки даного типу дефекту (залежить від характеру деформацій, місця розташування на прольоті, в зоні небезпечного напружено-деформованого стану, наприклад: біля опори – тріщини зсуву, а також у найбільш розтягнутій зоні – по середині прольоту);
- l – довжина прольоту – впливає на кількість дефектів (малі мости до 25 м; середні від 25 до 50 м; великі від 50 до 100 м).

Для нотаток

Для нотаток

Для нотаток

Наукове видання

Пшінько Олександр Миколайович,
Краснюк Андрій Віталійович,
Громова Олена В'ячеславівна

**Вибір матеріалів
для ремонту та відновлення
бетонних та залізобетонних
конструкцій транспортних споруд
з урахуванням критерію сумісності**
Монографія

У авторській редакції
Комп'ютерна верстка *О. М. Гончаренко*

Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Ум. друк. арк. 11,63. Обл.-вид. арк. 11,68.
Тираж 300 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:
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010