

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

«Допустити до захисту»
зав. кафедри БДМБ
канд. техн. наук, професор
_____ В. Настоящий
" ____ " _____ 2024 р.

Кваліфікаційна магістерська робота

на тему:

**Дослідження довговічності різних типів залізобетонних
конструкцій в умовах постійного контакту з водою**

Керівник кваліфікаційної магістерської
роботи канд. техн. наук, доцент
_____ Скриннік І.О.
" ____ " _____ 2024 р.

Виконав студент гр. Бі-23М-1
спеціальності
192 Будівництво та цивільна інженерія

_____ Лаптев С.О.
" ____ " _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 рік

Центральноукраїнський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення БТЕ

Кафедра, циклова комісія

Будівельні, дорожні машини і будівництво

Освітньо-кваліфікаційний рівень

магістр

(шифр і назва)

Спеціальність

192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БДМБ,

к.т.н. проф. Настоящий В.А.

“ ” 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Лаптів Станіслав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) **Дослідження довговічності різних типів залізобетонних конструкцій в умовах постійного контакту з водою**

керівник проекту (роботи)

к.т.н. доцент Скриннік І.О..

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “07” 08 2024 року №34-13 __

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 25.11.2024р

3. Вихідні дані до проекту (роботи): нормативна та довідкова література по темі завдання.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Науково-дослідний розділ 2. Розділ охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу

Не менше 10 плакатів графічних матеріалів які ілюструють методику та результати досліджень

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Науковий	доцент Скриннік І.О.		
Охорона праці	доцент Дарієнко В.В.		

7. Дата видачі завдання 10.09.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд літератури	10.09.-09.10	
1	Розробка наукового розділу	09.10.-09.11	
3	Розробка заходів з охорони праці	19.11.-20.11	
4	Оформлення альбому документів	20.11.-25.11	

Студент

(підпис)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Лаптев С.О.

(прізвище та ініціали)

Скриннік І.О.

(прізвище та ініціали)

Анотація

У даній науковій роботі досліджено питання довговічності залізобетонних резервуарів для питного водопостачання, зокрема корозійних процесів, що виникають у захисному шарі бетону та арматурі. Враховуючи збільшення термінів експлуатації резервуарів, актуальним стало визначення ступеня корозійного зносу залізобетонних конструкцій та прогнозування їх довговічності.

На основі проведених досліджень визначено механізми корозійного впливу на залізобетон у надводній та підводній частинах резервуарів, а також запропоновано методи оцінки та продовження терміну служби конструкцій.

У роботі використано інструментальні методи обстеження стану залізобетону, що включають хімічний, рентгенофазовий та термічний аналізи, а також математичне моделювання деструктивних процесів. На основі результатів обстеження та експериментів розроблено рекомендації з будівництва, експлуатації та ремонту залізобетонних резервуарів, що забезпечують їхню надійність та герметичність.

Запропоновані підходи дозволяють прогнозувати термін служби резервуарів та знижувати ризики аварійних ситуацій, пов'язаних із порушенням герметичності та зниженням експлуатаційної надійності систем водопостачання.

Abstracts.

This research paper investigates the durability of reinforced concrete tanks for drinking water supply, in particular, corrosion processes occurring in the protective layer of concrete and reinforcement. Taking into account the increase in the service life of tanks, it has become important to determine the degree of corrosion wear of reinforced concrete structures and predict their durability.

Based on the research, the mechanisms of corrosion impact on reinforced concrete in the surface and underwater parts of the tanks are determined, and methods for assessing and extending the service life of structures are proposed. Instrumental methods for inspecting the condition of reinforced concrete, including chemical, X-ray and thermal analyses, as well as mathematical modelling of destructive processes, were used in the study.

Based on the results of the survey and experiments, recommendations for the construction, operation and repair of reinforced concrete tanks have been developed to ensure their reliability and tightness.

The proposed approaches make it possible to predict the service life of tanks and reduce the risks of emergencies associated with leakage and reduced operational reliability of water supply systems.

Зміст

1 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	5
1.1. Стан питання, мета і завдання дослідження.....	5
1.1.1. Характеристика систем водопостачання селітебних територій.....	6
1.1.2. Конструктивні особливості залізобетонних ємнісних споруд	9
водопостачання.....	9
1.1.3. Вимоги до матеріалів і конструкцій, що застосовуються для будівництва резервуарів ємнісних споруд водопостачання	16
1.2. Оцінка технічного стану конструкцій резервуарів на основі візуальних критеріїв	18
1.2.1. Комплексне інструментальне обстеження технічного стану	19
конструкцій резервуарів	19
Висновки	21
1.3. Оцінка ступеня інтенсивності корозійних процесів в залізобетоні і підвищення терміну служби резервуарів систем водопостачання	22
1.3.1. Механізм пошкодження залізобетонних конструкцій у надводній та підводній частинах резервуарів	23
1.3.2. Кінетика і особливості протікання процесів корозії в захисному шарі бетону	25
1.3.3. Умови виникнення та особливості протікання корозійних.....	28
процесів в арматурі	28
1.4. Прогноз довговічності залізобетону в конструкціях резервуарів питного водопостачання.....	31
1.4.1. Прогноз довговічності бетону	31
1.4.2. Прогноз довговічності арматури	33
1.4.3. Зміна розрахункових перетинів через корозію бетону і арматури	33
Висновок	36
1.5. Методи ремонту експлуатованих резервуарів систем водопостачання	37
Загальні висновки:.....	44
Список використаних літературних джерел:	46

Вступ

У зв'язку з тривалою експлуатацією існуючих систем водопостачання, в даний час актуальні дослідження з оцінки технічного стану залізобетонних конструкцій споруд цих систем, оскільки аварії на них призводять до порушення безперебійного постачання селітебних територій питною водою. Досвід експлуатації систем водопостачання свідчить про те, що найбільше число відмов через зниження довговічності конструкцій характерно для ємнісних споруд зберігання і подачі води споживачам – резервуарів чистої води.

Відповідно до ДСТУ Б В.2.6-145:2010, нормативна довговічність залізобетонних конструкцій резервуарів чистої води повинна бути не менше 50 років, а згідно "Єдиним нормам амортизаційних відрахувань на повне відновлення основних фондів" Нормативний термін служби резервуарів чистої води становить 40 років. Для більшої ж частини існуючих резервуарів в Україні в даний час фактичні терміни експлуатації перевищують ці нормативні терміни служби, і, як наслідок, виникають проблеми з експлуатацією резервуарів, пов'язані з корозійним зносом залізобетонних конструкцій і порушенням герметичності резервуарів.

У зв'язку з цим, правомірна постановка питання про припинення експлуатації таких резервуарів, однак з точки зору великих витрат на будівництво нових споруд доцільно продовження експлуатації існуючих резервуарів за умови їх ремонту і подальшого регулярного огляду технічного стану з дотриманням рекомендацій по подальшій експлуатації. Зважаючи на великий термін служби існуючого резервуарного парку важливо оцінити фактичний стан залізобетонних конструкцій за критерієм довговічності: ступінь корозійного зносу залізобетонних конструкцій, розташованих як вище рівня наливу води (через карбонізацію бетону і

					ДДЗК 2319222 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження довговічності різних типів залізобетонних конструкцій в умовах постійного контакту з водою	Стадія	Лист	Листів
Розробив	Лаптев					МР	1	
Перевірив	Скриннік					ЦНТУ гр. Бі23м-1		
Н. контр.	Дарієнко							
Затвердив	Настоящий							

подальшої корозії арматури), так і в підводних конструкціях (в наслідок вимивання цементного каменю і подальшої корозії арматури).

Ступінь розробленості.

Теоретичними основами роботи стали праці вітчизняних і зарубіжних вчених в області корозії залізобетону. Ще на початку 20 століття було доведено, що головні компоненти цементного каменю в бетоні, такі як гідросилікати, гідроалюмінати, гідроалюмоферрити і гідроксид кальцію, можуть існувати у твердій фазі в рівновазі з рідкою тільки за умови її насичення або пересичення щодо іонів Ca^{2+} . Отже, тривале зберігання прісної води в бетонних резервуарах обов'язково призведе до вилуговування іонів кальцію і подальшого розкладання кристалогідратів цементного каменю, тобто до корозії бетону першого виду. Однак, стадійність розкладання компонентів цементного каменю і ступінь втрати їм захисних властивостей по відношенню до арматури вивчені недостатньо.

Мета і завдання роботи.

Оцінка довговічності залізобетону в конструкціях резервуарів питного водопостачання з урахуванням уточненого механізму корозії цементного каменю і арматури і певних кінетичних параметрів процесу корозії.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- виявлення корозійно-небезпечних ділянок та визначення ремонтпридатності резервуарів на підставі результатів обстеження їх технічного стану;
- оцінка і порівняння швидкості корозійних процесів в бетоні і арматурі у надводній (корозія карбонізації) і підводній (корозія, вилуговування) частинах резервуарів;

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
						2
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

- розробка рекомендацій щодо підвищення довговічності залізобетону в конструкціях резервуарів чистої води; обґрунтування можливості збільшення нормативного терміну їх служби;

- розробка рекомендацій з проектування, будівництва, експлуатації та ремонту залізобетонних резервуарів чистої води.

Наукова новизна.

Уточнено характер і механізм корозії цементного каменю, обумовленої зміною концентрації продуктів гідратації мінералів цементного клінкеру, а також активною карбонізацією внаслідок дії бікарбонатів питної води в підводній частині конструкцій.

Встановлено характер корозійних процесів в сталевій арматурі підводної частини конструкцій ("чорна іржа"), прояв яких не виявляється візуально внаслідок відсутності "розпирних" тріщин в захисному шарі бетону, на відміну від появи тріщин в бетоні надводної частини конструкцій після початку корозії арматури.

Теоретична і практична значимість роботи.

Уточнено механізм і стадійність розкладання цементного каменю при корозії першого виду в підводних конструкціях резервуарів.

Розроблено методику прогнозування та оцінки ступеня корозійних процесів в залізобетонних конструкціях резервуарів питного водопостачання.

Розроблені і реалізовані різні способи відновлення експлуатаційної надійності залізобетону в експлуатуються резервуарах чистої води з метою досягнення нормативних термінів експлуатації цих споруд.

Методологія та методи дослідження.

Завдання, поставлені в роботі, вирішувалися з використанням основних положень будівельного матеріалознавства в області корозії бетону

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
						3
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

першого виду із застосуванням методів математичного моделювання деструктивних процесів. Дослідження складу і структури бетону і сталі, а також продуктів їх корозії, виконані з використанням хімічного, рентгенофазового, диференційно-термічного та електронномікроскопічного аналізів.

Уточнено існуючу методику обстеження технічного стану будівельних конструкцій для залізобетонних резервуарів в частині необхідності обов'язкового розкриття арматури в конструкціях, розташованих нижче рівня наливу води з метою огляду її стану. Дана умова є обов'язковою для резервуарів з терміном експлуатації 30 років і більше.

Апробація роботи. Результати магістерської роботи доповідалися і обговорювалися на IV Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції "Досвід впровадження у навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій" - Кропивницький: ЦНТУ, 2024.

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
						4
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

1 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Стан питання, мета і завдання дослідження

Ще на початку 20 століття дослідженнями А. А. Байкова, В. А. Кінда, В. Н. Юнга та інших вчених-основоположників науки про корозію бетону, було доведено, що головні компоненти цементного каменю в бетоні, такі як гідросилікати, гідроалюмінати, гідроалюмоферрити і гідроксид кальцію, можуть існувати у твердій фазі в рівновазі з рідкою тільки за умови її насичення або пересичення щодо іонів Ca^{+2} . Отже, тривале зберігання прісної води в бетонних резервуарах обов'язково призведе до вилуговування з цементного каменю бетону іонів кальцію і, як наслідок, в якійсь мірі до руйнування бетону. З практичної точки зору важливо мати уявлення про швидкість корозії бетону I виду (корозії вилуговування), щоб прогнозувати довговічність конструкцій. У свою чергу, дані про швидкість корозії (а особливо, якщо мова йде про екстраполяцію результатів експериментів, а не про їх інтерполяції) можуть бути коректно інтерпретовані лише за умови, що є об'єктивні дані про механізм цього процесу.

Теоретичними основами роботи стали праці вітчизняних вчених в області корозії залізобетону і будівельного матеріалознавства, представлені у роботах Москвіна В. М. [1-5], Алексєєва С. Н. [6-14], Бабушкіна В. І. [15, 16], Полака А. Ф. [17-22], Іванова Ф. М. [23-22], , а також у роботах науково-дослідних інститутів.

Необхідно відзначити, що досить повне принципове опис механізму корозії бетону першого виду дано ще в роботах В. М. Москвіна [1-5], Г. П. Вербецького [11] та інших вітчизняних і зарубіжних вчених. Ця робота присвячена дослідженням, проведеним з метою уточнення механізму корозії вилуговування цементного каменю в бетонних ємностях питного водопостачання, встановлення стабільності процесів розкладання бетону і, на цій основі-підвищення точності прогнозу довговічності таких споруд. Одні з найбільш масових видів споруд, які піддаються корозії першого виду, є

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		5

резервуари «чистої» (питної) води. У зв'язку з цим, основна частина натурних досліджень проведена на даному типі об'єктів.

1.1.1. Характеристика систем водопостачання селітебних територій

Система водопостачання складається з комплексу споруд, який забезпечує споживачів водою в необхідних кількостях, необхідного напору і необхідної якості. Крім того, система водопостачання повинна відповідати вимогам за своїм ступенем надійності, тобто безперебійно постачати селітебні території без неможливого зниження регламентуючих показників своєї роботи по відношенню до тиску, якості і кількості води, що подається.

Очевидно, що безперебійність процесу водопостачання залежить і від працездатності будівельних конструкцій всього комплексу споруд.

Система водопостачання забезпечує забір води з природних джерел, її підготовку до вимог споживача, і подачу до місць розподілу. Задля виконання цих цілей існують такі споруди, які зазвичай складають систему водопостачання:

- водоприймальні споруди, що здійснюють забір води з природних джерел;
- водопідйомні споруди (насосні станції), що здійснюють подачу води до місць її очищення, зберігання і споживання;
- споруди для очищення води;
- водоводи і водопровідні мережі для подачі і транспортування води до місць її споживання;
- вежі і резервуари чистої води, які є регуляторами запасних ємностей в системі.

Схема розташування споруд системи водопостачання показана на малюнку 1.1.

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		6

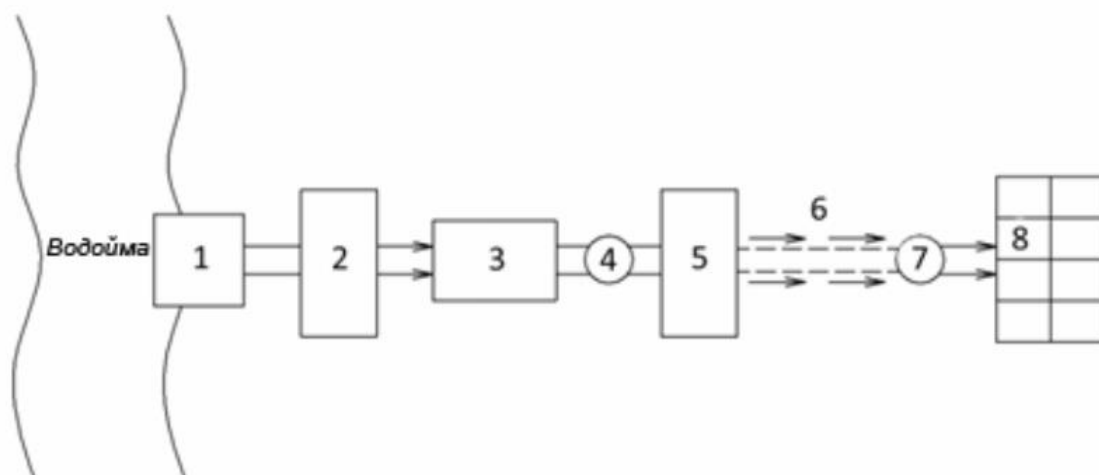


Рисунок 1.1 – Схема розташування об'єктів системи водопостачання

Забір води з джерела здійснюється за допомогою водоприймальної споруди 1. Далі подається насосами, які встановлені на станції першого підйому 2, на очисні споруди 3. Збірний резервуар 4 служить "перевалом", в який надходить вода після очищення і далі, через іншу групу насосів, які встановлені на станції другого підйому 5. Потім, за існуючими водоводами 6 вода переходить в мережу труб 8, які вже в свою чергу подають воду до місць її споживання.

Водонапірна вежа (напірний резервуар) 7 розташовується на початку мережі або в кінці її, а також в можливій проміжній точці водопровідної мережі.

Різний може бути і порядок розташування інших споруд. Наприклад, насоси першого і другого підйомів можливі до встановлення в окремих споруди (рис. 1.1) або знаходяться в єдиній будівлі. Найчастіше насоси першого підйому розташовані саме у водоприймальній споруді. В інших випадках очисні споруди, а також пов'язані з ними споруди з водопровідної мережі, а саме резервуар і насосну станцію другого підйому, можуть розташувати не поблизу джерела (мал. 1.1), а біля об'єкта, що є споживачем (промислового підприємства, селища або міста).

Схема водопостачання та її елементи схильні до сильних змін. Це залежить від даних природних умов на місцевості і характеру використання

води, а також залежить від економічних міркувань. Величезний вплив на схему водопостачання, як правило, надає джерело водопостачання: потужність, відстань до споживача, якість води в ньому. При цьому можливо використання декількох природних джерел, - постачання великих об'єктів.

У тих випадках, коли джерелом забору води є поверхневі води, використовуються водоприймальні споруди різних складних типів і конструкцій, які представляють собою дуже складні за своїм конструктивом і технологією гідротехнічні споруди. Якщо ж використовуються підземні води, то водоприймальні споруди влаштовують у вигляді шахтних або бурових колодязів, водозбірних галерей, різних капітальних споруд - останнє тільки для захоплення джерел. Вся схема водопостачання, як правило, безпосередньо залежить від характеру джерела в цілому. Ступінь і характер очищення води визначається зіставленням вимог, що пред'являються споживачем і якістю води даного джерела. Наприклад, існують схеми водопостачання, коли можливо обійтися без споруд для очищення води: використання водопостачання селітебних територій артезіанських або джерельних вод. А для постачання водою промислових підприємств, зокрема для охолодження технологічного обладнання, води поверхневих водойм також можуть використовуватися без очищення, що значно спрощує систему водопідготовки. Найчастіше, немає необхідності у використанні резервуарів і насосів другого підйому, які пов'язані з очисними спорудами, а необхідність в їх влаштуванні відсутня, як було сказано вище. Ще один можливий варіант улаштування схеми водопостачання-самопливом, коли селітебні території знаходяться в гористій місцевості, а джерела водопостачання (джерела і водосховища) знаходяться на відмітках, які сильно перевищують позначки території необхідні для постачання об'єкта.

Схема водопостачання, показана на рис. 1.1 охоплює найбільш часті випадки, але в цілому зустрічається величезна різноманітність схем водопостачання, що пов'язано з вимогами споживачів і різними природними умовами.

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		8

Особливо така різноманітність притаманна водопроводам промислових підприємств.

Таким чином, при великій різноманітності існуючих схем водопостачання, кількості ланок, що входять в ці схеми, від водозабору до подачі чистої води споживачам, незмінними є ємності для зберігання і акумулювання кінцевого продукту - резервуари чистої води для питного водопостачання.

1.1.2. Конструктивні особливості залізобетонних ємнісних споруд водопостачання

Більшість залізобетонних резервуарів для води роблять монолітними, збірними або комбінованими. Вони стикаються з різними середовищами – від слабких до дуже агресивних. На рисунку 1.2 показані головні споруди комплексу водопостачання, виділено ті ємності, що найбільше руйнуються через вплив середовища.



Рисунок 1.2 – Споруди що входять в склад системи водопостачання

Багаторічне використання водопостачальних систем (понад 50 років) показує, що більшість аварій через зниження міцності трапляється саме в ємностях для зберігання та подачі чистої води. Це пов'язано з тим, що питна вода має низьку мінералізацію в порівнянні з іншими компонентами системи водопостачання (рис. 1.2), через що вона більше руйнує бетон.

Резервуари, які встановлюються на високих ділянках місцевості, часто виконують роль напірних ємностей, схожих за функціями з водонапірними вежами. Вежі зазвичай будують у вигляді "вбудованих" резервуарів на підвищеннях рельєфу, де це можливо, оскільки при однаковій ємності резервуар буде дешевшим за вежу.

Напірні резервуари використовуються для зберігання запасів води на випадок аварії чи пожежі, а також працюють у системах водопостачання як регулюючі ємності. Є також пасивні резервуари, з яких вода надходить у систему тільки завдяки насосам. Їх часто застосовують як резервуари чистої води на очисних спорудах міських водопроводів, а також як аварійні та пожежні ємності [8].

Резервуари можуть мати різне конструктивне рішення. Спочатку в системах водопостачання для міст будували резервуари з цегли та бутового каменю (див. рис. 1.3). Наприклад, під час першої черги будівництва водопроводу в Берліні звели цегляні резервуари, які до 1912 року вміщували до 160 тис. куб. м води.

Раніше досить популярними були резервуари, які розміщували у землі й робили з різними видами гідроізоляції. Їх використовували здебільшого як запасні водойми. Такі резервуари часто залишали відкритими. Зараз цей тип знову набуває популярності через доступність сучасних гідроізоляційних матеріалів [9].

Сталеві резервуари, які будують як нафтові цистерни, поширені головним чином у США, але загалом використовуються рідко. Вони бувають різних розмірів і виконуються у формі вертикальних циліндрів з бетонним дном. Проте висока вартість, складність захисту від корозії та необхідність термоізоляції значно ускладнюють їхнє широке використання [8].



Рисунок 1.3 – "Цистерна" в м. Стамбул.

Будувати подібні "водосховища" для питної води (до 70 000 куб. м) почали ще в середні віки, і зараз ці споруди часто перетворені на музеї.

В сучасних водопостачальних системах широко використовують залізобетонні резервуари різних форм, конструкцій та способів виготовлення. У середині 20 століття популярними стали циліндричні резервуари з куполоподібними покриттями. У СРСР їх зазвичай будували невеликими (до 600 куб. м). Наприклад, типовий проект на резервуар об'ємом 500 куб. м показаний на рис. 1.4.

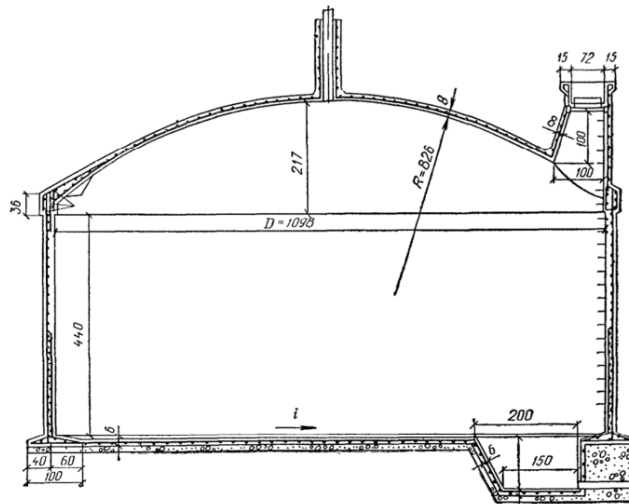


Рисунок 1.4 – Резервуар циліндричної форми з купольним перекриттям

Резервуари цього типу заглиблюють в землю приблизно на половину висоти циліндричної частини, а верхню частину обкладають шаром ґрунту товщиною близько 1 м для теплоізоляції.

Для резервуарів об'ємом понад 600 куб. м. більш вигідно робити плоске безбалкове перекриття (див. рис. 1.5). Такі резервуари можуть вміщувати від 50 до 2000 куб. м води, їхня висота складає 3,5-4,5 м, а діаметр — від 4,7 до 25,4 м. Для резервуарів об'ємом понад 50 куб. м покриття підтримують колони: одна колона для 100 куб. м і до 21 колони для резервуарів об'ємом до 2000 куб. м.

Резервуари прямокутної форми з плоским покриттям (балковим або безбалковим) економічніше робити при об'ємах понад 2100 куб. м. Якщо запас води перевищує 950 куб. м, резервуари мають бути розділені на дві окремі ємності, що відповідає вимогам ДБН щодо пожежного запасу води. Для створення значних запасів води зазвичай облаштовують декілька резервуарів, щоб мати потрібний об'єм і можливість ремонту окремих резервуарів без перерв у роботі системи, а також зручність поступового будівництва [9].

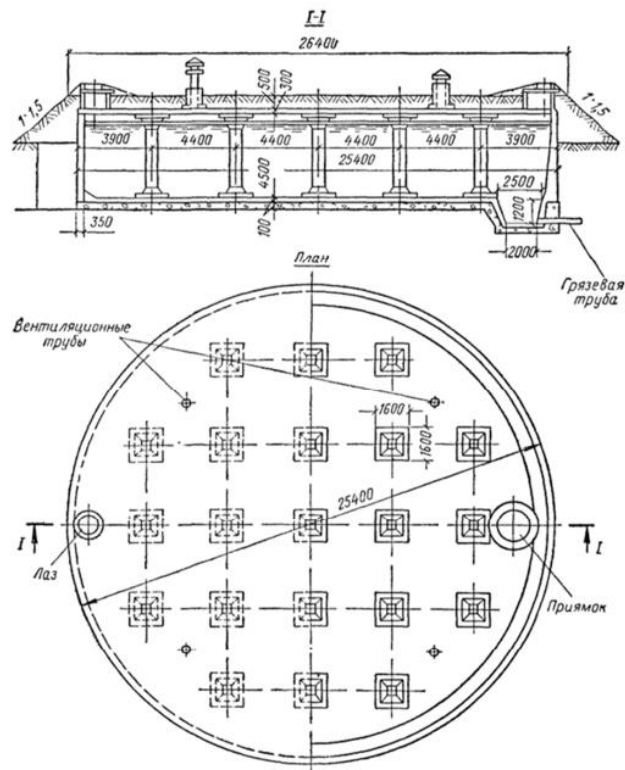


Рисунок 1.5 – Резервуар цилиндричної форми з плоским покриттям.

Щоб знайти більш економічні варіанти конструкцій резервуарів, у світовій практиці використовують різні підходи. Наприклад, у Швеції побудували резервуар (див. рис. 1.6) зі стінками у формі «багатоарочної» конструкції, що допомагає краще витримувати температурні та силові навантаження. Подібний підхід застосовують і для резервуарів круглої форми — зокрема, у вигляді циліндричної багатохвильової оболонки. Циліндричні склепіння використовують також як покриття для резервуарів прямокутної форми.

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

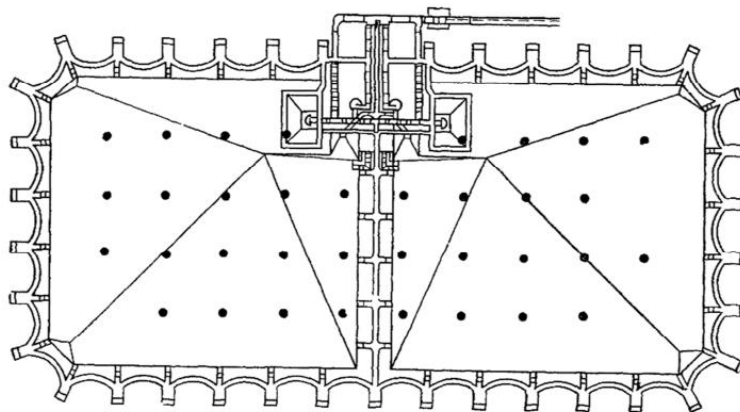


Рисунок 1.6 – "Багатоарочна" конструкція стінок резервуара

Попередньо напружений залізобетон досить часто використовують для будівництва резервуарів, оскільки забезпечення герметичності є одним із ключових завдань. Використання звичайного залізобетону має певні недоліки через утворення мікротріщин, які порушують герметичність. Навіть якщо ненапружена арматура не викликає великих тріщин, вона не запобігає появі дрібних «волосяних» тріщин, що з часом порушують цілісність резервуара. Попереднє напруження створює додатковий стиск у бетоні, який допомагає уникнути цих проблем і покращує герметичність, навіть під впливом високих навантажень, а також знижує витрати на матеріали. Такі резервуари широко будують у різних країнах [7].

Циліндричні резервуари особливо підходять для попередньо напруженого бетону, хоча його використовують і для резервуарів прямокутної форми. Сучасне будівництво все частіше застосовує збірний залізобетон, де основними елементами є готові плити покриття, балки, колони та панелі для стін і перегородок. На рис. 1.7 показана конструкція типового збірного залізобетонного резервуара.

Такі резервуари можуть мати об'єми від 50 до 2000 куб. м, що відповідає типовим розмірам резервуарів із монолітного залізобетону [9].

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

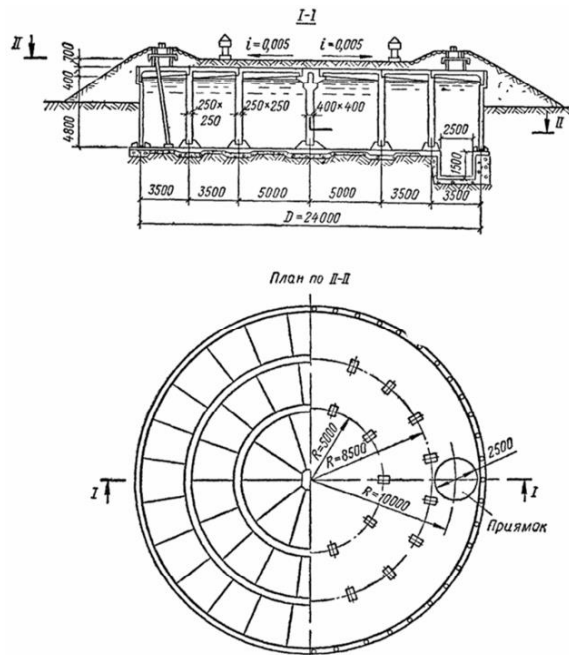


Рисунок 1.7 – Типовий збірний залізобетонний резервуар ємністю 2000 м³.

Цей тип резервуара має плоске дно з монолітного залізобетону, тому його конструкція є збірно-монолітною: стіни збираються з ребристих панелей. Панелі розміром 0,8х3,5 м і товщиною 6 см використовують для резервуарів об'ємом до 500 куб. м, а панелі розміром 1,3х4,5 м і товщиною 12 см – для резервуарів об'ємом 600 куб. м і більше. З'єднують панелі сталевими листами, зварюючи закладні елементи.

Покриття резервуара складається з радіальних плит трикутної або трапецієподібної форми, які спираються на центральну колону та стінки резервуара у невеликих конструкціях, або на систему концентрично розташованих колон для більших ємностей. У таких випадках під плити монтують балки для підтримки на колонах [9].

Останнім часом резервуари з монолітного залізобетону набули популярності завдяки високій герметичності, що забезпечується використанням водонепроникних бетонів (марок W10... W16). Особливістю таких конструкцій є створення «холодного стику» між монолітними стінами і дном (див. рис. 1.8).

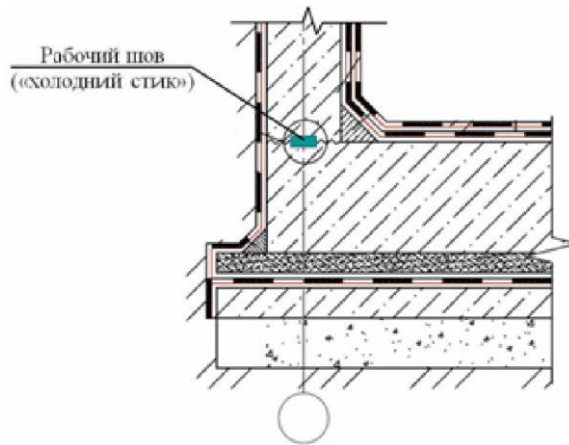


Рисунок 1.8 – Улаштування "холодного стику" між монолітними стінами і дном резервуара.

Отже, сьогодні найбільш поширені резервуари для зберігання чистої води мають циліндричну або прямокутну форму і виготовляються з монолітного або збірного залізобетону (рідше — з попередньо напруженого). Вони зазвичай мають плоске дно, а покриття може бути монолітним (безбалковим) або збірним, що складається з балок і плит.

1.1.3. Вимоги до матеріалів і конструкцій, що застосовуються для будівництва резервуарів ємнісних споруд водопостачання

Основними елементами резервуарів для чистої води, які приймають на себе основне навантаження, є стіни і дно, оскільки вони безпосередньо утримують тиск води. Тому до них висуваються підвищені вимоги щодо водонепроникності, міцності та морозостійкості.

Водонепроникність резервуарів означає відсутність фільтрації води через стіни та дно як зсередини, так і з ґрунту назовні. Міцність визначає їхню здатність протистояти тиску води та зовнішнім навантаженням. Морозостійкість означає, що конструкції можуть багаторазово заморожуватися та відтавати у водонасиченому стані без значного зниження міцності та видимих пошкоджень.

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
						16
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

У сучасних резервуарах для чистої води бетон зазвичай має марку водонепроникності W4. Для забезпечення високої щільності використовували заповнювач: крупний (гравій або щебінь розміром 5...50 мм), що забезпечує міцне зчеплення з цементним каменем, та кварцовий пісок (0,14...5 мм) як дрібний заповнювач, що сприяє щільності бетону та економії цементу.

Для типових збірних конструкцій в Україні, зведених у 20 столітті, використовували бетон М200 для стін і колон та М300 для плит і балок. У монолітних конструкціях застосовувався бетон М300. З початку 21 століття стали переважати монолітні резервуари з бетону класів В25...В30 та вищих.

У залізобетонних конструкціях резервуарів використовували два типи арматури: дротяну (3...8 мм) гладку або з періодичним профілем, та стрижневу (10...32 мм). Оскільки резервуари проєктуються для третьої категорії тріщиностійкості, для стрижневої арматури використовували вуглецеву сталь Ст-3 і Ст-5. У резервуарах середини 20 століття основна арматура була гладкою з Ст-3, а стрижнева арматура періодичного профілю з Ст-3 і Ст-5 з'явилася в пізніших спорудах. Стіни армували сітками з попередньо напруженою арматурою Ø12 класу А400, а днище — сітками з арматурою Ø10 класу А400.

Таблиця 1.1 – Марка бетону, що застосовувалася для виготовлення конструкцій існуючих резервуарів

Найменування конструкцій	Вид конструкцій	Марка бетону
Монолітні конструкції резервуарів	Днище, стіни	М200
	Колони, балки	М300
	Плити покриття	М200
Збірні конструкції резервуарів	Стінові панелі	М200
	Балки і колони	М200
	Плити покриття	М200

Відповідно до нормативних вимог, матеріали, з яких виготовлені конструктивні елементи резервуарів для чистої води (бетон і арматура), повинні бути стійкими до впливу чистої води та вуглекислого газу з повітря. Тому варто детальніше розглянути агресивні властивості середовища, в якому експлуатуються резервуари, і їхній вплив на конструкції.

1.2. Оцінка технічного стану конструкцій резервуарів на основі візуальних критеріїв

Візуальне обстеження проводили, щоб отримати загальне уявлення про технічний стан конструкцій та скласти план для інструментального обстеження. Воно включало огляд конструктивної схеми об'єкта, відповідність споруди проєкту щодо конструкційного рішення, видів навантажень, умов експлуатації та характеру агресивних впливів.

Також проводили попередню оцінку якості матеріалів, виконаних будівельних та ремонтних робіт за зовнішніми ознаками. Було здійснено орієнтовне визначення категорії стану окремих конструкцій, зокрема виявлення аварійних ділянок.

Резервуари для чистої води обстежували як зсередини, так і зовні. У процесі складали дефектні відомості, оформляючи карти дефектів і пошкоджень, які наносили на обмірні креслення. Аналіз цих даних дозволив виділити потенційно небезпечні ділянки з проявами корозії, вилугування та карбонізації.

Цей етап обстеження був важливою підготовкою для визначення програми комплексного інструментального обстеження.

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
						18
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		



Рисунок 1.9 – Відбір зразків бетону

1.2.1. Комплексне інструментальне обстеження технічного стану конструкцій резервуарів

Програма інструментального обстеження конструкцій була складена з урахуванням результатів візуального обстеження. Вона включала додаткові виміри: ширину тріщин, прогини, нахили елементів; а також визначення фізико-механічних характеристик залізобетону за допомогою випробувань зразків або неруйнівних методів. Використовувалися прилади: "Онікс-2.5" та "ІПС-МГ4" для міцності бетону, "ІПА-МГ4" і "ПОШУК-2.5" для виявлення арматури, "ВІМС-2.2" для вимірювання вологості, "Онікс-АП" для адгезії. Окрім цього, проводилось уточнення даних для оцінки залишкової несучої здатності конструкцій після впливу корозії.

Інструментально обстежували всі конструкції з виявленими дефектами. Під час обмірів фіксували геометричні розміри, розкриття тріщин, товщину пошкодженого шару бетону, діаметр і клас арматури, прогини балок, відхилення колон, просадки тощо. Товщину пошкодженого бетону визначали шляхом обробки свіжого відколу розчином фенолфталеїну.

У шурфах вимірювали розміри опорних частин, клас арматури, щільність прилягання елементів, якість зварювання та стан закладних елементів. Кількість розтинів мінімізували, враховуючи особливості конструкції та характер пошкоджень. Також у місцях шурфів оцінювали тип і

розмір заповнювача бетону, співвідношення між фракціями, тріщини, продукти корозії, глибину нейтралізації бетону тощо.

Таблиця 1.2 - Узагальнені результати обстеження технічного стану конструкцій двох резервуарів з терміном експлуатації 30 і 70 років.

	Залізобетонні конструкції	Категорія технічного стану			
		Резервуара з терміном експлуатації 30 років		Резервуара з терміном експлуатації 70 років	
		На момент обстеження	Прогноз через 10 років	На момент обстеження	Прогноз через 10 років
Надводна частина	Плити	3	3	2	1
	Балки	3	3	2	1
	Стіни	3	3	2	2
	Колони	3	3	2	2
Підводна частина	Стіни	3	3	2	2
	Дно	3	3	2	2
	Колони	3	2	2	1

Таблиця 1.3 – Результати обстеження резервуарів

Обсяг, м ³		3000	6000	5000	10000	500	3000	3000	3000
Термін служби, років		30	30	40	40	56	54	65	70
Марка бетону по водонепроникності		W4	W4	W4	W4	W4	W2	W2	W2
Міцність бетону колон, МПа		28	24	33	30	35	21	16	18
Глибина нейтралізації бетону колон, мм	Підводна частина	5-6	5-6	9-10	9-10	10-12	14-15	16-17	18-20
	Надводна частина	4-6	5-8	9-10	8-12	10-11	9-14	15-16	13-22

Результати обстеження технічного стану двох резервуарів чистої води узагальнені в таблиці 1.2, а фізико-механічні характеристики та дані щодо швидкості корозії бетону — в таблиці 1.3. У таблиці 1.3, технічний стан конструкцій класифікується як: 1 — «аварійний», 2 — «обмежено-працездатний», 3 — «працездатний».

Аналіз даних таблиці 1.3 показує, що технічний стан надводних і підводних частин конструкцій є приблизно однаковим. При цьому в надводних конструкціях корозію можна помітити вже на етапі візуального обстеження — це проявляється у вигляді плям іржі на поверхні або характерних тріщин у захисному шарі бетону вздовж арматурних стрижнів. В підводних конструкціях корозія арматури виявляється тільки після розтину, у вигляді графітоподібного нальоту, а зовнішніх тріщин на поверхні немає.

Слід зазначити, що конструкції резервуарів, які експлуатуються протягом 65 і 70 років, мають ознаки корозії першого типу, такі як низька поверхнева міцність (до 2...5 МПа) та зменшення перетину колон із оголенням заповнювача на глибину до 5...10 мм від початкового розміру перерізу.

Висновки

1. В результаті обстеження було здійснено загальну оцінку технічного стану конструкцій резервуарів чистої води з визначенням категорій «працездатний», «обмежено-працездатний» або «аварійний». Визначено ступінь фізичного зносу, стан окремих елементів (днище, колони, стіни, покриття), а також надано рекомендації щодо подальшої експлуатації резервуарів. У рекомендаціях враховано причини виникнення дефектів і пошкоджень, методи їх усунення та запобігання повторним проявам, способи ремонту конструктивних елементів та заходи для підвищення довговічності споруд.

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
						21
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

2. Більшість експлуатованих залізобетонних резервуарів для чистої води, зокрема в м. Кропивницькому та в інших великих містах України, мають термін служби, що наближається або перевищує нормативний (50 років). Оскільки аварії на цих резервуарах можуть спричинити перебої в постачанні питної води, виникає необхідність у регулярному детальному обстеженні технічного стану конструкцій.

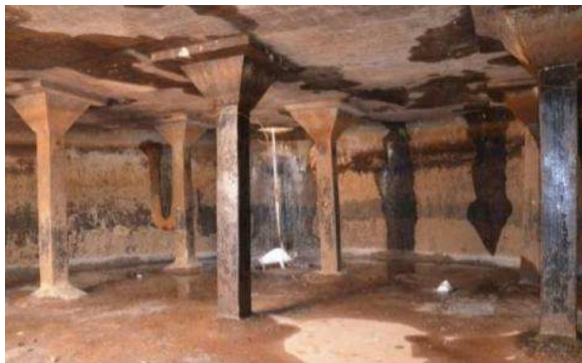
3. Наразі обстеження резервуарів проводиться тільки за результатами щорічної санітарної обробки, яку здійснюють перед весняним паводком. Якщо після повного спустошення та миття резервуар не проходить «перевірку на герметичність» (шляхом контролю падіння рівня води за певний час), тоді обстеження і ремонт проводять терміново. Цей процес обмежений коротким часом (1-3 дні) через відсутність резервних ємностей і необхідність забезпечення безперервного водопостачання.

Тому планове обстеження резервуарів не проводиться, що в поєднанні зі значним терміном їх експлуатації вимагає перегляду регламентів технічного обслуговування резервуарів чистої води. Пропонується проводити візуальне обстеження щорічно під час санітарної обробки та перевірки герметичності, а комплексне інструментальне обстеження – не рідше рази на 5 років, виводячи резервуар з експлуатації на 1-3 місяці: перший місяць для обстеження та розробки проекту ремонту, ще 1-2 місяці для виконання ремонтно-відновлювальних робіт.

1.3. Оцінка ступеня інтенсивності корозійних процесів в залізобетоні і підвищення терміну служби резервуарів систем водопостачання

При виконанні роботи усього було обстежено 8 резервуарів чистої води різної місткості і з різними термінами службами (мал. 1.10).

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
						22
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		



а)



б)

Рисунок 1.10 - Внутрішній вид резервуарів чистої води : об'ємами 500 м³ (а) і 5000 м³ (б)

При обстеженні резервуарів оцінювався стан несучих колон і збереження в них арматури, оскільки інші конструкції, як правило, знаходяться в кращому технічному стані, або є менш відповідальними з точки зору експлуатаційної надійності споруди.

Глибину корозії арматури визначали шляхом співставлення діаметра арматури в підводній частині конструкцій, де корозія мала місце, з діаметром арматури в надводній частині, де корозія була відсутня.

Матеріали, представлені в цьому розділі добре узгоджуються з даними Н.К. Розенталя і Г. В. Чехній [9].

1.3.1. Механізм пошкодження залізобетонних конструкцій у надводній та підводній частинах резервуарів

Пошкодження залізобетонних конструкцій у надводній і підводній частинах резервуара відбуваються по-різному. У надводній частині бетон руйнується через карбонізацію, яка знижує його лужність, що спричиняє корозію арматури. На арматурі з'являється іржа ("червона" іржа), яка з часом збільшується і створює внутрішні напруження в бетоні. Через це в захисному шарі з'являються тріщини вздовж арматурних стрижнів, і шар бетону може відшаровуватися (рис. 1.11, а).

У підводних конструкціях лужність бетону знижується через розчинення цементного каменю (корозія першого типу), але тут корозія арматури відбувається з обмеженим доступом кисню (рис. 1.11, б). Це призводить до утворення "чорної" іржі, яка з'являється через недостатню кількість кисню. Продукти корозії арматури проникають глибше в бетон, як до зовнішньої поверхні, так і всередину. В підводних частинах відсутній тиск корозії на бетонний захисний шар, тому на поверхні немає тріщин навіть тоді, коли арматура кородує на глибину 1-2 мм, що значно більше, ніж глибина корозії арматури в надводних частинах, де "червона" іржа спричиняє тріщини та відшарування бетону.

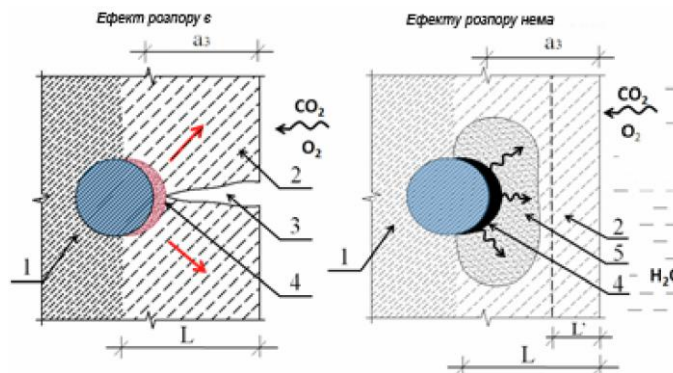


Рисунок 1.11 - Механізм руйнування бетону і корозії арматури в надводній (а) і підводній (б) частині резервуарів чистої води.

Причина нейтралізації: карбонізація (а) і розчинення цементного каменю (б).

1-неушкоджений бетон; 2-нейтралізований шар бетону; 3 – тріщина в захисному шарі бетону; 4 – продукти корозії арматури; 5-область бетону, насиченого продуктами корозії арматури; L-глибина карбонізації (а) і часткового розчинення цементного каменю бетону(б); L' - глибина повного розчинення цементного каменю бетону; a_3 -товщина захисного шару бетону.

1.3.2. Кінетика і особливості протікання процесів корозії в захисному шарі бетону

						Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	ДДЗК 2319222 ПЗ	24

Було з'ясовано, що в місцях, де відколовся бетон, структура матеріалу змінюється пошарово, і ці зміни можна побачити неозброєним оком. Є два типи зразків (рис. 1.12): перший – зразки, які взяли подалі від арматури; другий – зразки, взяті біля арматури, де корозійні продукти від сталі проникають майже через увесь захисний шар бетону.

На зразках першого типу можна виділити чотири чітко помітні шари (рис. 1.12). Перший, зовнішній шар, має глибину до 1 мм і складається зі слабозв'язаного матеріалу з кольором від коричневого до червонувато-сірого.

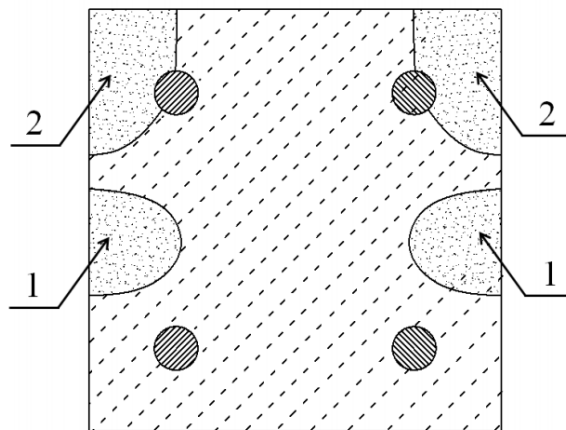


Рисунок 1.12 - Переріз колони : 1- зразки бетону, відібрані на віддаленні від арматури (тип А); 2-те ж, поблизу арматури (тип В)

Другий шар – це темно-сіра смуга завтовшки до 3 мм. Третій шар має світло-сірий колір, досить міцний і з чітким контуром, а його глибина змінюється і може сягати до 12 мм, що, ймовірно, пов'язано з неоднорідністю структури захисного шару.

Цей третій шар, як і два попередніх, не змінює кольору під впливом фенолфталеїну. Четвертий шар темно-сірого кольору, має високу міцність, забарвлюється індикатором і, на перший погляд, не уражений корозією від вилугування. На ділянках, де є зерна крупного заповнювача, глибина третього шару вдвічі більша, ніж у середньому на більш однорідній нижній частині зразка. Це узгоджується з науковими даними, які показують, що в зоні контакту «цементний камінь-заповнювач» бетон має вищу проникність,

що і призводить до більш глибокої корозії в зонах великого і середнього заповнювача.

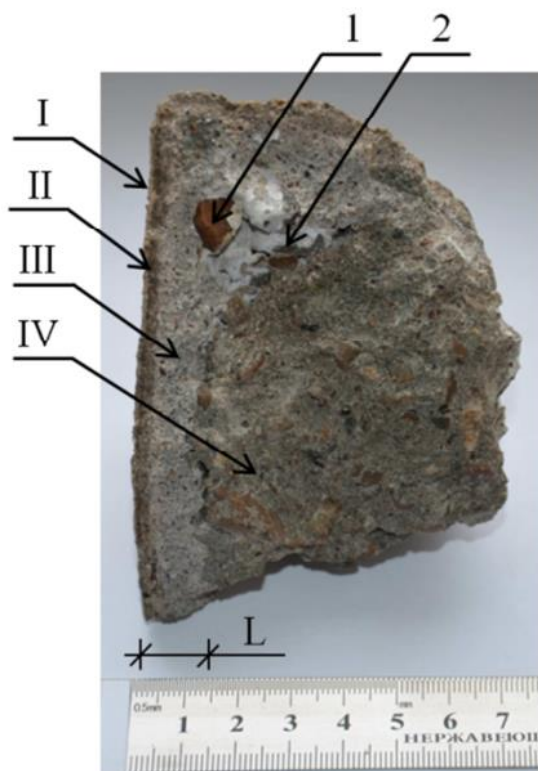


Рисунок 1.13. - Зразок бетону (тип а) колони резервуара чистої води з терміном експлуатації 65 років. Корродовані шари бетону: 1 - зерно крупного заповнювача; 2 - поглиблення фронту корозії в зоні заповнювача через підвищену проникність контактної зони «заповнювач – цементний камінь»; I-перший шар, зовнішній, товщиною менше 1 мм; II-другий шар, товщиною менше 3 мм; III-третій шар, товщиною від 3 до 12 мм; IV шар-неушкоджений бетон; L – глибина нейтралізації бетону

У класичній праці В.М. Москвіна «Корозія бетону» (1952 р.) [1] наведено класифікацію типів корозії та послідовність змін у цементному камені під час вилугування, тобто вимивання вапна $\text{Ca}(\text{OH})_2$. На жаль, досі немає робіт, що конкретизували б цей механізм, зокрема і в дослідженнях Г.П. Вербецького [11].

Оскільки продукти корозії сталі могли вплинути на результати аналізу фаз у цементному камені бетону, для дослідження закономірностей "чистої"

корозії вилуговування за допомогою ДТА і РФА були відібрані зразки першого типу (рис. 1.14) з бетону колон резервуара, які експлуатуються багато років і мають ознаки розчинення цементного каменю:

- оголення заповнювача на глибину до 5 мм внаслідок "вимивання" ослабленого корозією цементного каменю;
- наявність пухкого поверхневого шару цементної матриці між зернами заповнювача на глибину до 5 мм.

Отже, у зразку бетону чітко виділяються чотири шари, що відрізняються за кольором і міцністю. Перші три шари (зовнішній, перехідний та основний) не змінюють колір від фенолфталеїну, тобто вони нейтралізовані, а четвертий шар - це внутрішній бетон, який ще не пошкоджений корозією.

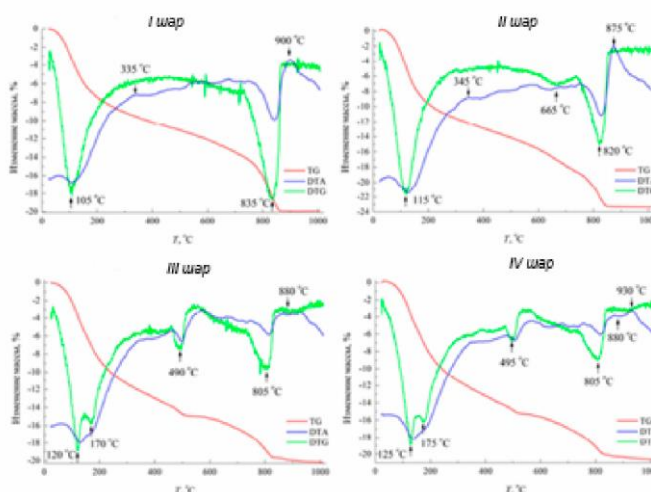


Рис. 1.14. Результати дослідження фазового складу цементного каменю бетону, підданого корозії вилуговування, методом ДТА

Під час підготовки до дослідження помітили, що матеріал з поверхні (I шар) має пухку структуру. Згідно з аналізом ДТА (див. рис. 1.14), у цій пробі є більше 10 % карбонату кальцію, що підтверджується втратою маси при нагріванні до 840°C.

1.3.3. Умови виникнення та особливості протікання корозійних процесів в арматурі

Дослідження показали, що продукти корозії сталі в надводних і підводних конструкціях відрізняються. У надводній частині переважає оксигідроксид заліза $\text{FeO}(\text{OH})$, відомий як "червона іржа", а під водою основна частка припадає на гідрооксид заліза $\text{Fe}(\text{OH})_3$, який називають "чорною іржею" (див. рис. 1.15). Найімовірніше, такі відмінності у складі корозії зумовлені тим, що кисень менше проникає до підводних частин конструкцій.

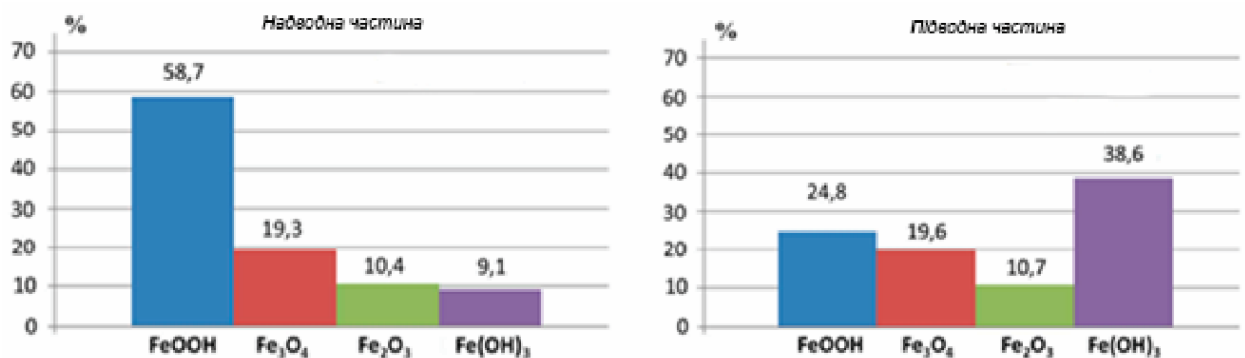


Рис. 1.15. Результати повнопрофільного рентгенофазового аналізу (методом Рітвельда) продуктів корозії арматури у надводній і підводній частині резервуарів.

Під час дослідження зразка типу В (див. рис. 1.15) встановили, що глибина нейтралізації захисного шару бетону колон у резервуарі, який використовується вже 56 років, становить 12 мм, тоді як загальна товщина цього шару – 25 мм. На глибині від 12 до 25 мм з'являється малиновий колір фенолфталеїну, що свідчить про високу лужність порової рідини в бетоні. Однак цього рівня недостатньо для збереження пасивного стану арматури, адже глибина корозії арматури досягла 2 мм.

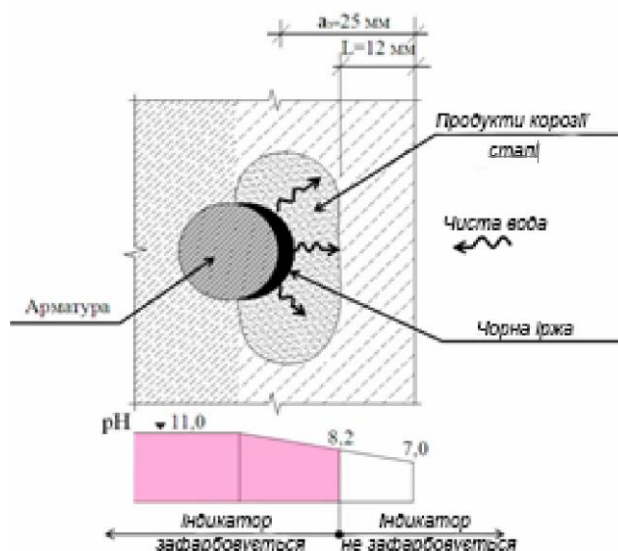


Рис. 1.16. Зміна показника рН цементного каменю бетону:
L-глибина карбонізації бетону; a_z -товщина захисного шару бетону.

Відомо [15], що малиновий колір з'являється, коли бетон обробляють розчином фенолфталеїну, якщо рН дорівнює або перевищує 8,2. Пошаровий хімічний аналіз показав, що біля арматури рН становить 9,5. Оскільки для пасивного стану арматури потрібен рівень рН не менше 11,0 [2, 11], лужності бетону поблизу арматури (на глибині 12-25 мм) недостатньо для її захисту від корозії, що і спричинило активну корозію сталі.

Хоча ця зона забарвлюється індикатором (див. рис. 1.16), корозія арматури неможлива без наявності кисню, адже він входить до складу всіх продуктів корозії сталі. Корозія сталі – це процес її окислення, при якому утворюються різні оксиди та гідрооксиди: $Fe + O_2 \rightarrow FeO; Fe_2O_3; Fe_3O_4; Fe(OH)_3; FeOON$ і т.д. Водночас кількості розчиненого у воді кисню недостатньо для початку та активного розвитку корозії. Тому виникає питання: як саме кисень проникає до поверхні арматури через захисний шар бетону в такій кількості, що дозволяє розвиватись корозії.

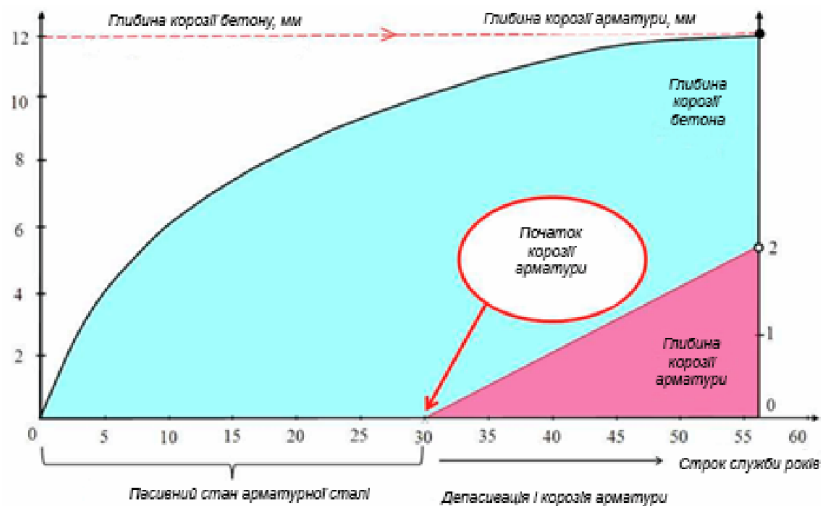


Рис. 1.17. Стан арматурної сталі в конструкціях колон у підводній частині резервуара з терміном служби 56 років.

Марка бетону по водонепроникності-W 4

Аналіз технічних документів показав, що резервуари з чистою водою щорічно проходять профілактичне очищення після повного спорожнення, що триває щонайменше тиждень. Також періодично проводяться різні ремонтні роботи, які виконують у "сухих" резервуарах. Під час цих робіт кисень і вуглекислий газ потрапляють до конструкцій підводної частини, де вони "накопичуються" у захисному шарі бетону. За весь час експлуатації цього виявляється достатньо, щоб корозія арматури досягла втрати перетину на 2 мм за 26 років, тобто приблизно 0,08 мм/рік.

Натурні дослідження показали, що в резервуарах, яким не більше 30 років, корозія арматури в підводних частинах відсутня. Це дає підстави вважати, що цей період — своєрідний "індукційний період" для бетону з водонепроникністю W4 (табл. 1.4), коли захисні плівки на сталі зберігаються та підтримують пасивний стан арматури. Згодом, при зниженні рН порової рідини в захисному шарі, сталь втрачає пасивність і починає кородувати. Умовну схему пасивного стану і початку корозії арматури зображено на рис. 1.17.

Отже, навіть без зовнішніх ознак пошкоджень підводних залізобетонних конструкцій (окрім "лущення" поверхневого шару бетону, що

може частково оголити заповнювач — див. рис. 1.16), арматура може перебувати в незадовільному стані через корозію. Це призводить до зниження несучої здатності конструкцій не лише через зменшення перетину арматури, а й через погіршення її зчеплення з бетоном, спричинене появою шару корозійних продуктів, що діє як "мастило".

1.4. Прогноз довговічності залізобетону в конструкціях резервуарів питного водопостачання

1.4.1. Прогноз довговічності бетону

При виробництві залізобетонних конструкцій дуже важливо правильно задати товщину захисного шару бетону, адже це впливає на довговічність. Відхилення фактичної товщини захисного шару до робочої арматури не повинні перевищувати граничних значень, передбачених стандартами. Для залізобетонних колон резервуарів чистої води допустиме відхилення становить від -5 до +15 мм, оскільки їх поперечний переріз дорівнює або більший за 300 мм, а мінімальна товщина захисного шару – 19 мм, як визначено нормативом [18].

Через це, товщина захисного шару, навіть за дотримання всіх технологічних вимог, може бути на 5 мм меншою, ніж закладено в проєкті. Це пояснюється тим, що при проєктуванні не враховуються можливі мінусові відхилення товщини захисного шару (див. рис. 1.18).

На рис. 1.18 наведені дані фактичної глибини вилугування бетону з водонепроникністю W2 та W4, отримані під час обстежень, а також розрахункові дані для бетону з водонепроникністю W6, де швидкість корозії $k_1=0,8 \text{ мм}^2/\text{рік}$ (табл. 1.2).

Як видно з рис. 1.18, для бетону з водонепроникністю W4 прогнозований термін служби значно перевищує нормативний термін

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		31

експлуатації резервуарів, що становить 50 років. Зокрема, розрахункова довговічність бетону може досягати 75 років навіть при мінімально допустимій товщині захисного шару $[A_3]_{\min} = 14$ мм.

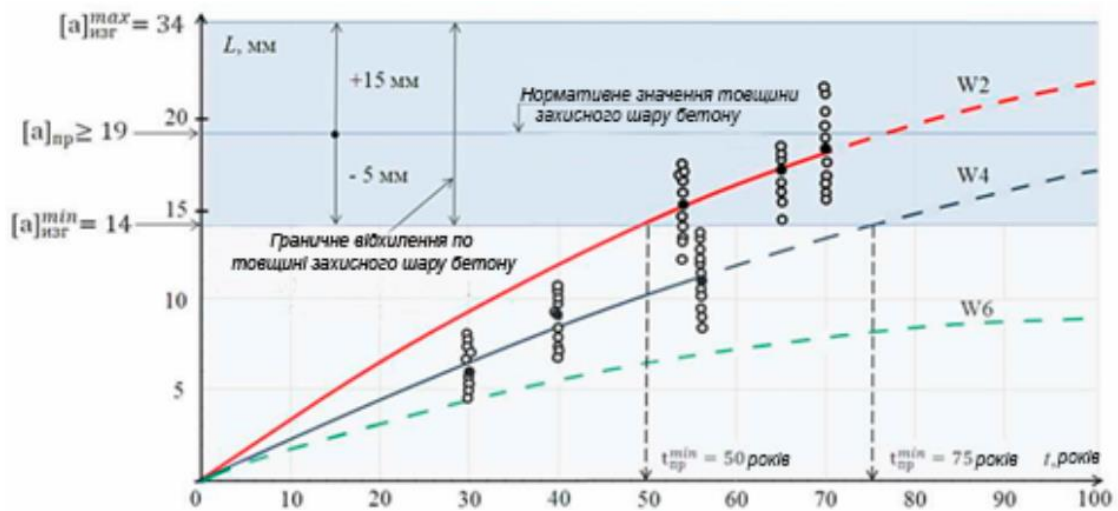


Рис. 1.18. Співвідношення глибини корозії бетону 1 виду у підводній частині колон L з нормативним і можливим фактичним значенням товщини захисного шару бетону.

У разі застосування для виготовлення конструкцій бетону з маркою по водонепроникності W2 підводні конструкції мають фактичну довговічність "по бетону", рівну нормативній: $t_{\text{пр min}} = [T] = 50$ років. Це відноситься до ділянок конструкцій, виготовлених з дотриманням нормативних мінімальних допусків. Якщо ж фактична товщина захисного шару менше 14 мм, то на даній ділянці для конструкції фактична довговічність буде значно менше нормативного терміну. Відзначимо у зв'язку з цим дві обставини. По-перше, при досягненні $L > [a_3]_{\text{изг}}$ фактично відбувається зміна розрахункового перетину колони. По-друге, застосування низькоміцних бетонів (з маркою по водонепроникності W2) в конструкціях резервуарів неприпустимо вже через їх водопроникності.

1.4.2. Прогноз довговічності арматури

При обстеженні резервуарів виявили, що арматура в колонах з бетону водонепроникності W4 починає кородувати приблизно через 30 років з початку експлуатації. Глибина корозії бетону при цьому становила лише 6 мм, а фактична товщина захисного шару була 25 мм. Це означає, що бетон марки W4 не може забезпечити захист арматури навіть на 30 років. Таким чином, довговічність залізобетону за умовами захисту арматури вдвічі менша за довговічність бетону, тобто приблизно 75 років / 30 років $\approx 2,5$ рази.

Виходячи з цього, при проектуванні нових резервуарів чистої води слід використовувати бетон із водонепроникністю не нижче W8. Для існуючих резервуарів з терміном служби понад 30 років, де використаний бетон марки W4, потрібно регулярно перевіряти стан арматури, особливо в колонах. Це можна робити під час щорічного профілактичного очищення резервуарів, але не рідше одного разу на 5 років.

1.4.3. Зміна розрахункових перетинів через корозію бетону і арматури

Колони в резервуарах працюють у значно жорсткіших умовах порівняно зі стінами та дном конструкцій з двох основних причин:

- На колони впливає середовище з чотирьох сторін, тоді як стіни та дно піддаються впливу лише з одного боку (див. рис. 1.19, в).

- Через нерівномірні осідання окремих частин резервуара (що часто трапляється під час будівництва та експлуатації) у колонах можуть виникати додаткові навантаження, що призводить до їх перевантаження. Це трапляється через недостатнє ущільнення ґрунту під фундаментом, протікання через мікро- і макротріщини або дефекти гідроізоляції, які послаблюють ґрунти основи.

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
						33
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

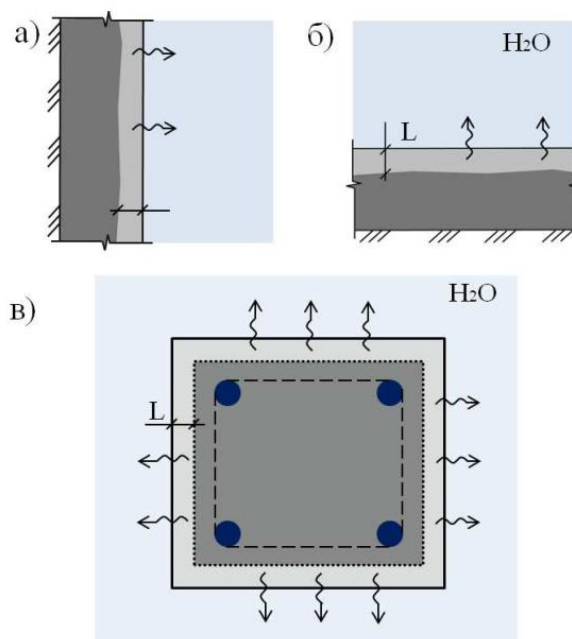


Рисунок 1.19 - Схема впливу експлуатаційного середовища на підводні конструкції резервуарів мають вигляд: односторонній вплив - на конструкції стін (а) і днища (б); чотиристоронній вплив – на конструкції колон (в). Стрілками показано напрямок виносу речовин при розчиненні у воді $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і інших компонентів цементного каменю. L-глибин корозійного пошкодження.

З огляду на це, важливо знати, яка частина поперечного перетину колон реально "працює" і може бути врахована при оцінці несучої здатності. Окрім зменшення робочої площі поперечного перетину на глибину корозії бетону L, слід також враховувати можливе "вимкнення" з роботи деяких стрижнів робочої арматури, якщо товщина захисного шару виявилася меншою за допустиму, тобто фактична товщина захисного шару $a_{\text{факт}} > [a_{\text{з}}]_{\text{зг}_{\text{мін}}}$. На схемах рис. 1.20 показано, що з роботи можуть бути виключені від одного до трьох стрижнів робочої арматури (ці стрижні позначені червоним).

Оскільки товщина захисного шару для хомутив завжди менша, ніж для робочої арматури (див. рис. 1.20, а), стрижні робочої арматури можуть "вимкнутися" раніше, ніж почнеться їхня корозія. Це відбувається тому, що

через корозію хомути втрачають свою основну функцію — скорочення вільної довжини стрижнів, що може призвести до втрати їхньої стійкості.

Захисний шар бетону протягом усього терміну служби конструкції має залишатися незмінним, оскільки його проектна товщина $[a_3]$ змін забезпечує:

- сумісну роботу арматури з бетоном;
- вогнестійкість конструкції;
- довговічність конструкції.

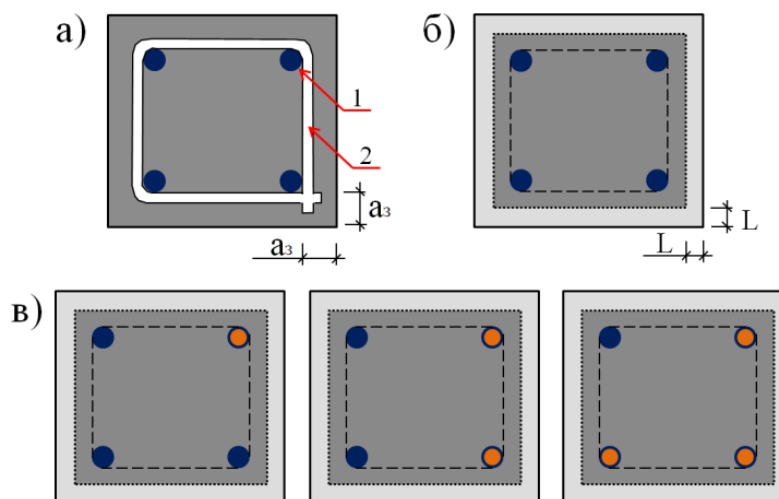


Рис. 1.20. Зміна розрахункових перетинів колони через корозію бетону і арматур. а-вихідний поперечний переріз колони; б – поперечний переріз колони після корозії бетону на глибину L ; в – «вимикання» з роботи стрижнів робочої арматури через її корозію.

Висновок

1. Дослідження показали, що в процесі розчинення цементного каменю у воді (корозія першого типу) відсутні сполуки C_4A , C_3S_2 і C_4F , як вважалося раніше. Крім вилуговування, цементний камінь активно піддається карбонізації через бікарбонати в питній воді, що впливає на захисний шар і сприяє корозії арматури в підводних конструкціях. Хоча

зовнішні ознаки пошкодження підводних конструкцій можуть бути відсутні (окрім "лущення" поверхневого шару бетону), арматура може зазнавати корозії, що знижує несучу здатність конструкції не тільки через зменшення перетину арматури, а й через зниження її зчеплення з бетоном через появу "мастила" з корозійних продуктів.

2. Вперше досліджено особливості корозії арматури підводних конструкцій. В умовах обмеженого доступу кисню корозія починається раніше (приблизно через 30 років), ніж в надводних конструкціях (де присутня карбонізація бетону), утворюючи "чорну іржу", яка проникає в структуру бетону. При цьому "розпирний ефект" продуктів корозії відсутній, і на поверхні бетону немає тріщин навіть при глибині корозії арматури в 1-2 мм, що значно глибше за корозію в надземних конструкціях, де "червона іржа" призводить до тріщин або відшарування захисного шару бетону навіть при незначній корозії.

3. Теоретично обґрунтовано та підтверджено числові значення констант швидкості вилугування бетону різної щільності на основі натурних обстежень та лабораторних досліджень.

4. Розроблено принципи оцінки рівня корозійних процесів (довговічності) і методи продовження терміну служби залізобетону в резервуарах питної води з урахуванням умов експлуатації (надводні та підводні конструкції). Використано кінетичні характеристики корозійних моделей, отриманих за результатами тривалих натурних досліджень.

5. На основі констант швидкості корозії для бетону W2, W4 і W6 здійснено прогноз довговічності як наявних, так і проєктних залізобетонних резервуарів. Дослідження показали, що нормативна довговічність у 40 років для надводних і підводних конструкцій резервуарів не забезпечується при використанні бетону W4. Запропоновано коригування вимог: для досягнення довговічності без додаткового захисту необхідно застосовувати бетон з

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
						36
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

водонепроникністю W6 для 50 років, W8 для 75 років, W10 для 100 років, W12 для 125 років і W14 для 150 років.

1.5. Методи ремонту експлуатованих резервуарів систем водопостачання

Метод 1 передбачає ремонт резервуарів за технологією компанії "Linabond", яка забезпечує захист і відновлення поверхні залізобетону. Особливість цього підходу полягає у створенні композитного полімерного покриття, що складається з розпилюваного поліуретану та твердого ПВХ-лайнера. Таке облицювання має високу адгезію до поверхні бетону, навіть якщо вологість поверхні перевищує 1,5 МПа (див. рис. 1.21).

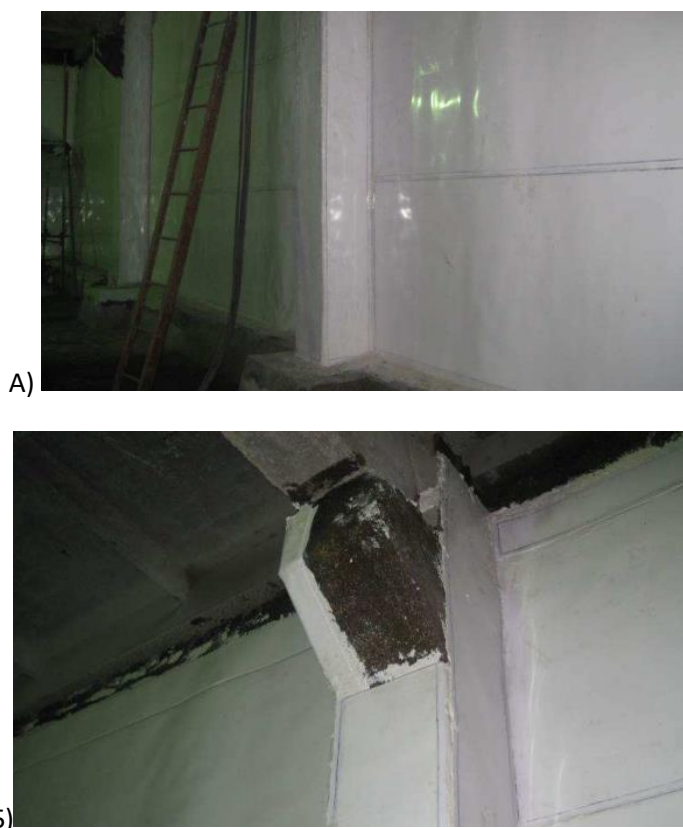


Рис. 1.21. Створення композитного полімерного покриття з розпилюваного поліуретану і твердого непроникного ПВХ листа-лайнера за технологією фірми "Linabond" а-облицювання стін і Колон; б-облицювання консолі колони.

Метод 2 передбачає облаштування внутрішнього облицювання резервуарів поліетиленом за технологією компанії "Hydroquick" (див. рис. 1.22). Поліетилен має високі технічні, хімічні та фізіологічні властивості, що підтверджено технічними стандартами для експлуатації. Завдяки цьому резервуар набуває міцне облицювання з гладкою внутрішньою поверхнею, що забезпечує високу довговічність і знижує експлуатаційні витрати.

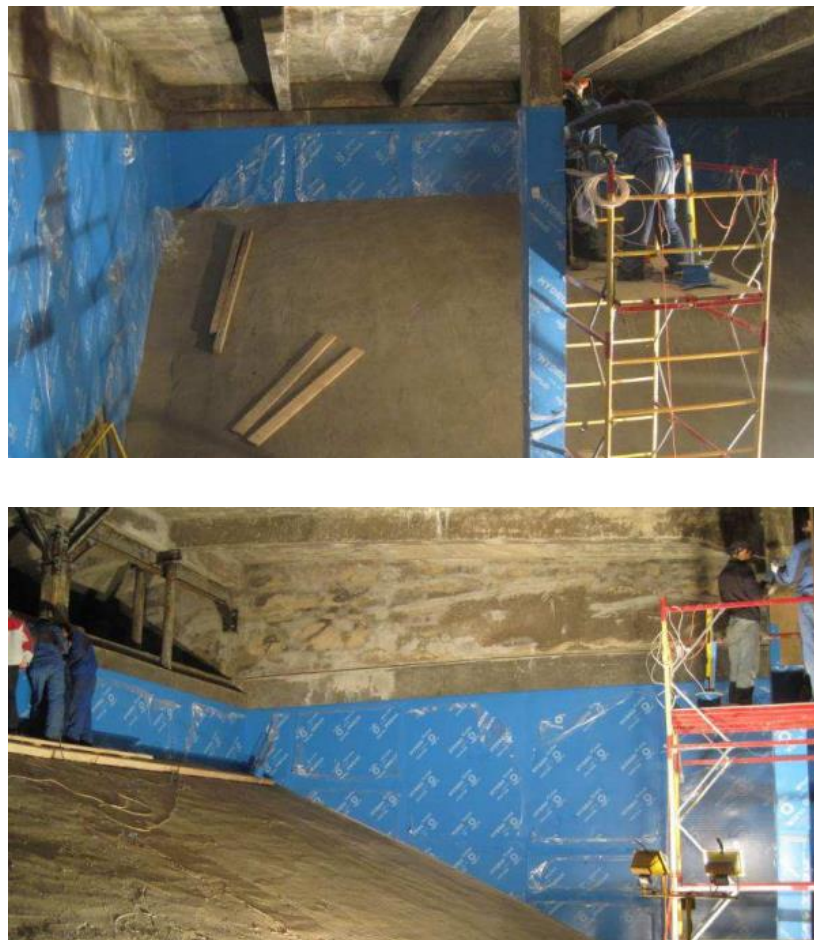


Рис. 1.22. Облицювання резервуарів поліетиленом за технологією фірми "Hydroquick" (резервуар №1 ємністю 3000 м³)

Метод 3 полягає у ремонті резервуарів із використанням сучасних високоеластичних матеріалів на цементній основі. Багато залізобетонних резервуарів, які зараз експлуатуються, є негерметичними через тріщини в стінах і днищі. У резервуарах для питної води гідроізоляцію у вигляді

вторинного захисту зазвичай не використовують через санітарно-гігієнічні вимоги до якості води. Можливість реалізації цього методу з'явилася завдяки розробці концерном "BASF" еластичного полімерцементного матеріалу "Masterseal 588" (табл. 1.4), який має європейські та українські санітарно-гігієнічні сертифікати, що дозволяють його застосування в резервуарах питного водопостачання.

Таблиця 1.4 - Технічні характеристики полімерцементного гідроізоляційного матеріалу "Masterseal 588" виробництва концерну "BASF»

Адгезія до бетонної основи, МПа	Міцність на розрив після 28 діб, МПа	Водонепроникність (позитивний тиск), МПа	Відносне подовження після 28 діб (під водою), %
1,0	0,64	1,4	16,2

Пропонований метод ремонту резервуарів включає два основні етапи:

1. Герметизація тріщин у стінах і днищі резервуара. Враховуючи, що резервуар може продовжувати деформуватися, тріщини можуть залишатися рухливими. Тому для надійної герметизації потрібні еластичні матеріали, які дозволяють створити водонепроникні деформаційні шви з рухомих тріщин. Зазвичай для герметизації наскрізних тріщин застосовують метод ін'єктування полімерними або полімерцементними складами. Однак під час ремонту днища резервуара №2 об'ємом 5000 м³ виявилось, що цей метод не забезпечив повної герметизації через значну звивистість тріщин, а також був дорогим через велику кількість тріщин, що зробило його порівнянним за вартістю з будівництвом нового резервуара.

2. Суцільне нанесення гідроізоляційного покриття «Masterseal 588» на внутрішню поверхню резервуара. Це покриття забезпечує додатковий захист, підвищуючи довговічність і водонепроникність конструкції.

Цей підхід дозволяє підвищити ефективність герметизації та зменшити витрати, порівняно зі звичайним ін'єктуванням.

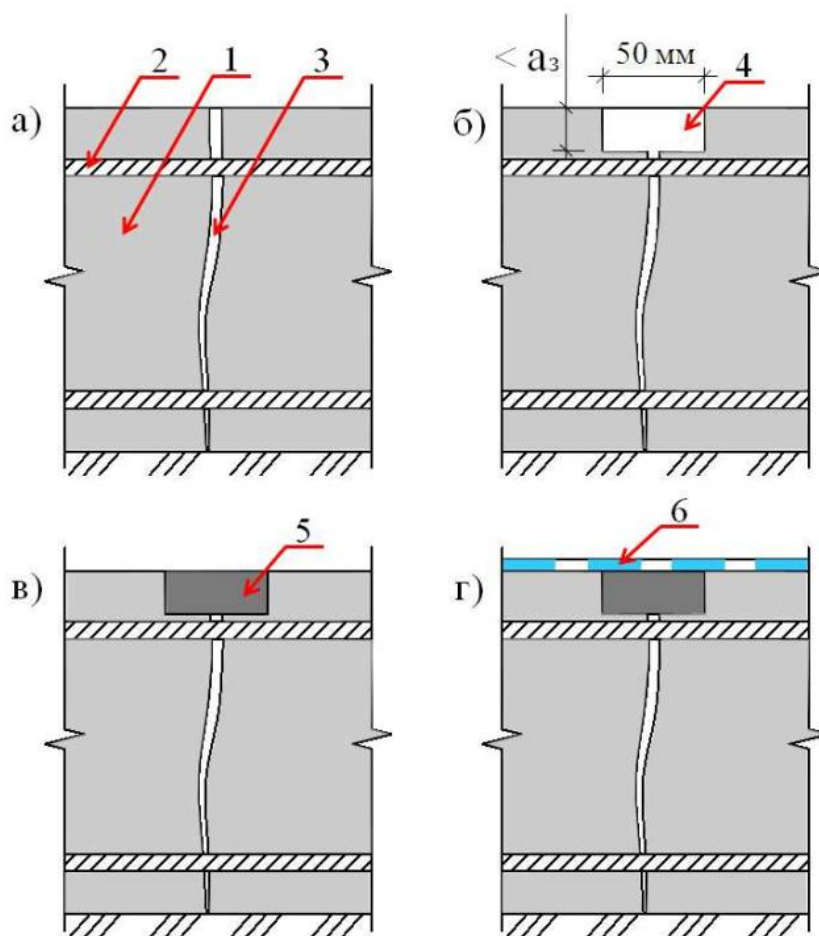


Рис. 1.23. Схема ремонту резервуара з герметизацією тріщин (шляхом їх розшивки і подальшої закладення безусадковим полімерцементним складом) і нанесенням еластичної гідроізоляції. а-стан днища до його ремонту; етапи ремонту: етап 1-розширення тріщин (б) і їх закладення безусадочним складом (в); етап 2 – нанесення гідроізоляції.

У зв'язку з цим, при ремонті двох наступних резервуарів, за пропозицією автора герметизація тріщин виконувалася шляхом їх розшивки на глибину, що не перевищує товщину захисного шару, а заповнення тріщин виконувалося безусадочним високоміцним тиксотропним складом марки "Емасо S88С" колишня назва сухої суміші "Nanocrete R4") - таблиця 1.5.

Схема ремонту і етапи виконання робіт по ремонту резервуара запропонованим методом наведені на рис. 1.5 відповідно.

Таблиця 1.5 - Технічні характеристики сухої суміші "Емасо S88С" ("Nanocrete R4») виробництва концерну " BASF»

Адгезія до бетонної основи, МПа	Міцність на розрив після 28 діб, МПа	Марка по водонепроникності	Марка по морозостійкості
2,0	60	W12	F300

Після виконання робіт з ремонту обидва резервуари пройшли гідро випробування на герметичність і успішно експлуатуються до теперішнього часу.



в)



г)



Рис. 1.23. Етапи виконання робіт по ремонту резервуара з герметизацією швів безусадковим складом і подальшим нанесенням суцільної еластичної гідроізоляції (метод 3). а, б-улаштування штроб (розширення тріщин) в днищі і стінах резервуара, відповідно; в-закладення штроб тиксотропним безусадковим складом; г-суцільне нанесення полімерцементного еластичного гідроізоляційного покриття (резервуар чистої води ємністю 5000 м3,).

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
						42
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

2. ОХОРОНА ПРАЦІ

2.1 Аналіз небезпечностей і шкідливостей, що виникають на будмайданчику

Під час організації будівництва важливо забезпечити безпечні умови для робітників на всіх етапах виконання робіт. Сам майданчик є небезпечною зоною, тому його обносять парканом висотою не менше 2 метрів, щоб сторонні не мали доступу. Біля входу розміщують схему руху транспорту, а також дорожні знаки, що регулюють швидкість і порядок руху техніки. Автомобілі мають їхати повільно — не більше 10 км/год на прямих ділянках та 5 км/год на поворотах.

Якщо будівельний майданчик розташований на території діючого підприємства і його неможливо огородити, межі зони позначають попереджувальними знаками. Також у темний час доби всі місця роботи мають бути освітлені. Мінімальний рівень освітлення — 2 Лк, а для монтажних робіт — від 10 Лк, для кладки та монтажу конструкцій — 25 Лк, а для малярних робіт — від 50 Лк. Якщо необхідно, забезпечують аварійне й охоронне освітлення.

Для зручності та безпеки всіх працівників важливо позначити небезпечні зони. Це, наприклад, смуги до 2 метрів навколо необгороджених перепадів висоти, зони переміщення вантажопідйомних кранів, місця з високим рівнем шуму чи вібрації. Якщо зона є потенційно небезпечною, її також виділяють спеціальними знаками або бар'єрами.

На майданчику є кілька зон підвищеної небезпеки. Наприклад, для кранів це ділянки, де вони працюють, а для електромереж — зони, де людина може випадково доторкнутися до дротів чи інструментів, що проводять струм. Земляні роботи мають обвалозахисні заходи біля глибоких котлованів, а на будівництві багатоповерхівок створюють буферну зону не менше 7-10 метрів для безпеки від можливих падінь.

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		5

Робочі часто стикаються з несприятливими умовами. Влітку — спека й сонячна радіація, а взимку — низька температура та вітер. Шум теж поширена проблема, особливо під час роботи компресорів, екскаваторів, бетономішалок, і це може вплинути на здоров'я робітників. Вібрація також негативно діє на операторів машин і компресорного обладнання. Роботи, як-от штукатурні, часто супроводжуються високим рівнем пилу.

Різноманітні зварювальні та малярні роботи сприяють утворенню шкідливих аерозолів і виділенню токсичних речовин, таких як чадний газ, окис азоту та інші. Зварники, наприклад, ризикують отримати опіки від розплавленого металу чи ураження струмом, тому використовують засоби індивідуального захисту.

Нещасні випадки часто трапляються через падіння з висоти, недотримання техніки безпеки, використання несправного обладнання або роботи без належного захисту. Проблеми з електробезпекою виникають через порушення правил монтажу й експлуатації електроустановок, недотримання умов заземлення, використання несправного обладнання або роботи в захисних зонах ЛЕП.

2.2 Заходи по усуненню небезпечностей і шкідливостей на будмайданчику

2.2.1. Загально-організаційні заходи.

Небезпечні і шкідливі фактори на роботі не обов'язково мають бути постійною проблемою для працівників. Щоб зменшити або взагалі усунути їхній вплив, розроблені різні колективні та індивідуальні засоби захисту.

До колективних засобів захисту відносяться:

- механізація й автоматизація виробничих процесів, що знижують навантаження на організм;
- огорожі, блокуючі пристрої, гальма на машинах, знаки безпеки, які захищають від механічних ризиків;

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		6

- вдосконалення машин та механізмів, які створюють менше шуму та вібрації; інструменти, які зазвичай вібрують, мають бути налаштовані для зменшення цього впливу;

- рівномірне і якісне освітлення робочих місць, щоб зменшити втомлюваність. Це досягається завдяки лампам і природному світлу;

- вентиляція та очищення повітря, що створює нормальні умови для роботи. Також застосовується герметизація місць зберігання матеріалів, що є джерелом пилу, та захисні кожухи для обладнання;

- захисне заземлення та ізоляція електрообладнання, автоматичне відключення і сигналізація для захисту від ураження струмом;

- захист від сонця та обігрівальні пристрої для холодної пори року.

Індивідуальні засоби захисту для працівників включають спецодяг, засоби гігієни й особистого захисту. Наприклад, монтажники та працівники на висоті носять каски, щоб уникнути травм від падаючих предметів. Спецодяг також захищає від впливу зовнішнього середовища й складається з міцних курток, штанів, комбінезонів та рукавиць. Окуляри захищають очі від пилу, ультрафіолету та інших впливів, а спеціальні щитки й маски оберігають все обличчя від теплового й світлового випромінювання.

Щоб знизити вплив шуму, працівники використовують протишумові навушники. Для захисту органів дихання від пилу та газів застосовують респіратори та протигази.

До загальних заходів також входять інструктажі, розробка правил безпеки на об'єктах, організація безпечного будмайданчика. План виконання робіт повинен містити рішення для уникнення небезпеки при одночасному виконанні різних видів робіт. На плані позначають небезпечні зони біля підйомно-транспортного обладнання, нових будівель і ліній електропередач.

Санітарно-побутові приміщення та пішохідні доріжки мають бути за межами небезпечних зон. Якщо дорога розташована в зоні переміщення крана, встановлюються сигнальні огорожі й попереджувальні знаки.

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		7

Розташування будівельних машин і робочих місць планують так, щоб була достатня видимість і можливість маневру. Робочі місця мають бути облаштовані на міцних конструкціях з урахуванням зон небезпеки. При цьому встановлюють колективні засоби захисту, механізований інструмент та інше обладнання для безпеки праці.

Роботи з піднімання і переміщення вантажів потребують гарного освітлення, а також спеціально розроблених способів підвішування, щоб вантаж не ковзав. Роботи з електроінструментом виконують тільки працівники, які пройшли спеціальне навчання і мають відповідні сертифікати.

2.2.2. Заходи з охорони праці на будівельному майданчику.

Вимоги до охорони праці та техніки безпеки в проєктах виконання робіт мають відповідати ДБН. Територія будівельного майданчика під час робіт обгороджується парканом висотою не менше 2 метрів. Біля під'їздів та на майданчику розміщують необхідні знаки й позначають безпечні проходи для пішоходів. Траншеї та котловани обгороджують парканом висотою 1 метр.

У темний час майданчик освітлюють прожекторами, що кріплять на конструкції будівель або спеціальні стійки. Для освітлення робочих зон застосовують переносні прожекторні щогли, які обов'язково заземлюють.

Небезпечні зони позначають огорожами з жовто-чорними смугами під кутом 45-60°, що попереджають про небезпеку. Проїзди, проходи та робочі місця слід регулярно чистити від сміття, а в зимовий час – від снігу і льоду, посипати піском або шлаком.

Робочі місця, що розташовані на висоті більше 1,3 метра, мають бути огорожені. Огорожа складається зі стійок, поручнів на висоті не менше 1 метра, проміжного елемента та бортової дошки висотою 15 см. Якщо

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		8

встановити такі огорожі неможливо, робітники повинні використовувати страхувальні пояси, які відповідають ДСТУ.

Зони для зберігання матеріалів мають бути в межах дії вантажопідіймальних машин і обов'язково обгороджені. Ширина проходів між штабелями повинна бути не менше 1 метра, а відстань до дороги — не менше 0,5 метра.

Балони зі стисненими газами зберігають вертикально у спеціальних приміщеннях подалі від джерел вогню та місць зварювання. Заборонено одночасне зберігання кисневих та ацетиленових балонів поруч.

При виконанні земляних робіт екскаваторами важливо забезпечити стійкість машини, для чого вирівнюють платформу, а гусениці мають бути не ближче 1 метра до місця обвалу. Навантаження ґрунту в автомобілі проводиться з боку заднього або бокового борта.

Для спуску в котлован використовують сходи з поручнями висотою 1 метр з обох сторін. Робота поблизу газопроводів або електрокабелів виконується лише вручну лопатою.

Під час монтажних робіт важливо, щоб маса вантажу не перевищувала вантажопідіймальність крану. Роботи зупиняють при сильному вітрі (понад 6 балів), ожеледиці, снігопаді чи дощі.

Зварювальна апаратура має бути заземлена, дроти захищені від пошкоджень і прокладені в гумових трубах. Підключення зварювального обладнання до освітлювальної мережі заборонено — живлення має подаватися від спеціальних трансформаторів або генераторів.

Під час покрівельних робіт електропроводку, що проходить по покрівлі, знеструмлюють, а робітники мають підніматися на покрівлю лише по внутрішніх сходах. Інструменти розташовують так, щоб вони не ковзали по даху, а гарячі мастики піднімають у закритих ємностях.

Великий обсяг штукатурних робіт на висоті вимагає правильного встановлення риштувань. Настил на риштуваннях повинен бути шириною не менше 1,5 метра. Навантаження на риштування не повинні перевищувати

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
						9
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

допустимі значення, а для інформування працівників мають бути встановлені плакати з інструкціями.

2.3 Пожежна безпека на будмайданчику

Перед тим, як почати основні будівельні роботи, потрібно забезпечити об'єкт тимчасовим або постійним пожежним водопостачанням. Будівельники мають знати правила пожежної безпеки та вміти користуватися засобами для гасіння пожежі.

До всіх місць на будівельному майданчику повинен бути вільний доступ для пожежних машин. Дороги, під'їзди та пожежні гідранти завжди повинні бути справні й освітлені вночі.

Коли складається або ставиться обладнання, не можна перекривати доступ до входів на горище, виходів з будівель, підходів до пожежного інвентарю, сигналізації та гідрантів.

У пожежних розривах між будівлями можна зберігати тільки ті матеріали, які не горять.

Всі будівельні відходи, особливо легкозаймисті (як стружка, тканина, лаки, порожні мішки), потрібно щодня прибирати з місця робіт та з території майданчика. Місця для зберігання таких матеріалів мають бути не ближче 80 м від будівель і складів легкозаймистих матеріалів.

При розміщенні тимчасових побутових будівель треба дотримуватися протипожежних відстаней:

- між легкозаймистими будівлями – 18 м;
- між незаймистими – 10 м;
- між легкозаймистими та незаймистими – 15 м.

Місця для варіння або нагріву мастик та бітуму мають бути не менше 20 м від дерев'яних споруд і складів. Біля кожного котла постійно має бути комплект засобів пожежної безпеки: вогнегасники, лопати та сухий пісок.

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		10

Роботи з відкритим полум'ям можна проводити тільки з дозволу відповідального за пожежну безпеку.

2.4 Охорона навколишнього середовища

Будівельно-монтажні роботи на будь-якому об'єкті мають виконуватися з дотриманням вимог законів про охорону природи, щоб захистити довкілля від забруднення та пошкоджень.

При облаштуванні будівельного майданчика слід передбачити спеціальні заходи для охорони навколишнього середовища:

- щоб уникнути забруднення повітря;
- щоб уникнути забруднення води;
- щоб уникнути забруднення ґрунту;
- для збереження дерев та чагарників.

Будівельні роботи повинні відбуватися в межах визначеного майданчика. Заборонено використовувати прилеглу територію для розміщення тимчасових споруд, прокладання інженерних мереж або руху техніки. На території будмайданчика не дозволяється рубка дерев і кущів, якщо це не передбачено проектом. Усі викорчувані дерева, пні й великі камені треба вивозити у спеціально відведені місця.

Не допускається злив поверхневих стічних вод просто на територію без вжиття протиерозійних заходів, які запобігають руйнуванню ґрунту.

Під час земляних робіт родючий шар ґрунту потрібно знімати і зберігати для подальшого використання при благоустрої території або для відновлення земель.

Щоб уникнути пилу на майданчику під час роботи техніки чи транспортування сипучих матеріалів, треба використовувати закриті ємності та контейнери. Загазованість повітря можна зменшити, налаштовуючи паливну систему машин, щоб скоротити час їх роботи на холостому ходу. Зниженню забруднення також допомагає використання електротехніки

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		11

замість двигунів внутрішнього згоряння, а також технології, як-от встановлення фундаментів на палях або прокладання труб способом проколу.

Мити техніку у водоймах біля майданчика заборонено. Для цього на будівельному майданчику мають бути облаштовані спеціальні місця з брудовідстійниками для очищення стічних вод.

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
						12
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Загальні висновки:

1. На основі обстежень технічного стану резервуарів для чистої води було виявлено ділянки, схильні до корозії, та проведено оцінку й порівняння швидкості корозії бетону і арматури в надводних і підводних частинах резервуарів.

2. Уточнено механізм корозії арматури в залізобетоні: у підводній частині конструкцій корозія арматури призводить до утворення "чорної іржі" з подальшим проникненням корозійних продуктів у структуру бетону, що запобігає появі "розпирного ефекту" та тріщин у захисному шарі. Під час ремонту існує ризик переходу "чорної іржі" в "червону" через окислення, що призводить до збільшення обсягу іржі, виникнення розпирного ефекту та тріщин у захисному шарі бетону. Основними факторами ризику є товщина та щільність захисного шару бетону, а також тривалість висушування резервуарів після ремонту. З цієї причини важливо обмежити тривалість ремонтних робіт до одного місяця, оскільки для повного висихання захисного шару бетону потрібно близько 30 діб.

3. Удосконалено методику оцінки та прогнозування довговічності залізобетонних конструкцій резервуарів для чистої води на основі кінетичних характеристик, визначених за результатами натурних досліджень тривало експлуатованих об'єктів.

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		5

General conclusions:

1. Based on inspections of the technical condition of the clean water tanks, corrosion-prone areas were identified and the corrosion rate of concrete and reinforcement in the surface and underwater parts of the tanks was assessed and compared.

2. The mechanism of corrosion of reinforcement in reinforced concrete was clarified: in the underwater part of structures, corrosion of reinforcement leads to the formation of "black rust" with further penetration of corrosion products into the concrete structure, which prevents the appearance of the "spacer effect" and cracks in the protective layer. During the repair process, there is a risk of black rust turning into red rust due to oxidation, which leads to an increase in the volume of rust, the appearance of a spacer effect and cracks in the protective layer of concrete. The main risk factors are the thickness and density of the protective concrete layer and the duration of drying of the tanks after repair. For this reason, it is important to limit the duration of the repair work to one month, as it takes about 30 days for the protective layer of concrete to dry completely.

3. The methodology for assessing and predicting the durability of reinforced concrete structures of clean water tanks based on the kinetic characteristics determined from the results of field studies of long-term operating facilities has been improved.

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		6

Список використаних літературних джерел:

1. Москвін, В. М. Корозія бетону [Текст] / В. М. Москвін. – Київ : Будівельник, 1952. – 264 с.
2. Вербецький, Г. П. Механізм корозії цементного каменю [Текст] / Г. П. Вербецький. – Київ : Вища школа, 1998. – 304 с.
3. ДСТУ Б В.2.6-145:2010. Конструкції будівельні. Залізобетонні резервуари для води. Норми проектування [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд, 2010. – 36 с.
4. BASF. Masterseal 588. Гідроізоляційні матеріали для резервуарів питної води [Текст] / BASF. – Київ : BASF Україна, 2012. – 48 с.
5. Алексєєв, С. Н. Теорія корозії бетону [Текст] / С. Н. Алексєєв. – Київ : Вища школа, 2003. – 314 с.
6. Полак, А. Ф. Прогноз довговічності бетонних конструкцій [Текст] / А. Ф. Полак. – Львів : ЛДУБА, 2011. – 192 с.
7. Linabond. Технологія покриття та відновлення бетону [Текст] / Linabond. – Київ : Linabond Україна, 2014. – 48 с.
8. Hydroquick. Системи облицювання резервуарів для водопостачання [Текст] / Hydroquick. – Київ : Hydroquick Україна, 2015. – 64 с.
9. Снисаренко, І. М. Методи прогнозу довговічності конструкцій [Текст] / І. М. Снисаренко. – Київ : Видавництво НТУУ «КПІ», 2016. – 284 с.
10. ДБН В.2.6-220:2012. Будівельні конструкції. Вимоги до резервуарів для води [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд, 2012. – 68 с.
11. Емасо S88С. Ремонтні матеріали для герметизації тріщин [Текст] / BASF. – Київ : BASF Україна, 2015. – 52 с.

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

12. Nanocrete R4. Технології ремонту резервуарів [Текст] / BASF. – Київ : BASF Україна, 2014. – 64 с.
13. Саадельян, К. Матеріали для герметизації тріщин у бетоні [Текст] / К. Саадельян. – Київ : Академпрес, 2017. – 108 с.
14. Патон, Б. Е. Конструкції та методи армування резервуарів [Текст] / Б. Е. Патон. – Київ : НАН України, 2001. – 144 с.
15. Верескін, В. Г. Інструментальне обстеження технічного стану резервуарів [Текст] / В. Г. Верескін. – Київ : Вища школа, 2005. – 204 с.
16. Зильberman, К. І. Методи попередження корозії в системах водопостачання [Текст] / К. І. Зильberman. – Львів : ЛДУБА, 2013. – 188 с.
17. Борщов, В. С. Матеріали для підвищення водонепроникності бетону [Текст] / В. С. Борщов. – Київ : Університет будівництва, 2014. – 236 с.
18. ДСТУ Б В.2.6-120:2010. Ремонт залізобетонних конструкцій [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд, 2010. – 44 с.
19. Плаксін, О. А. Прогноз довговічності бетону на основі обстежень [Текст] / О. А. Плаксін. – Київ : Університет будівництва, 2016. – 182 с.
20. Ломовцев, М. І. Кінетика корозійних процесів у захисному шарі бетону [Текст] / М. І. Ломовцев. – Харків : ХНУБА, 2009. – 194 с.
21. Федин, В. К. Рекомендації щодо підвищення довговічності залізобетону [Текст] / В. К. Федин. – Львів : ЛДУБА, 2015. – 148 с.

					ДДЗК 2319222 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		