

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО- НАУКОВИЙ ІСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
Кафедра Міського будівництва і архітектури
(повна назва)

Кваліфікаційна робота

рівень вищої освіти Магістр
(рівень вищої освіти)

на тему: "Забезпечення довговічності будівельних
конструкцій з урахуванням нелінійного впливу зовнішніх
факторів" / "Ensuring of the durability of building structures
under the non-linear influence of external factors"

Виконав: студент 2 курсу, групи
8.1922-мбг

Шапарь Валерій Віталійович
(прізвище та ініціали)

спеціальність

192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

освітньо-професійна програма

Міське будівництво та господарство
(шифр і назва)

Керівник доц., канд. арх. Сазонова О.Ю.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент проф. д.т.н. Банах В.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя – 2023 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
 ІМ. Ю.М. ПОТЕБНИ

Кафедра Міського будівництва і архітектури
 Рівень вищої освіти магістерський
 Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(код та назва)
 Освітня програма «Міське будівництво і господарство»
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри [підпис]
 « 01 » 01 2023 року

ЗАВДАННЯ
 НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Шапарь Валерій Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) "Забезпечення довговічності будівельних конструкцій з урахуванням нелінійного впливу зовнішніх факторів" / "Ensuring of the durability of building structures under the non-linear influence of external factors"
 керівник роботи Сазонова О.Ю., канд. арх., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, звання)

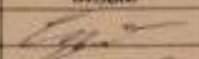

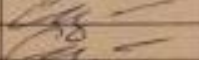

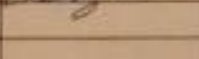
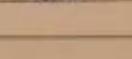
затверджені наказом ЗНУ від « 01 » 05 2023 року № 639-с

2 Строк подання студентом роботи _____
 3 Вихідні дані до роботи нормативно-технічна документація, вихідні дані стосовно досвіду забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз теоретично-методологічних аспектів забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій. 2. Аналіз технології ефективного забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій. 3. Теоретичні засади вдосконалення засобів із забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій.

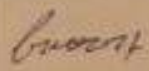
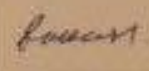
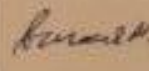
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) вісім листів

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Сазонова О.Ю.		
Розділ 2	Сазонова О.Ю.		
Розділ 3	Сазонова О.Ю.		

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз теоретично-методологічних аспектів забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій	з 01.10 по 24.10.2023	
2	Аналіз технології ефективного забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій.	з 25.10 по 15.11.2023	
3	Теоретичні засади вдосконалення засобів із забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій.	з 16.11 по 06.12.2023	

Студент



В.В. Шапарь

(підпис)

(підпис та прізвище)

Керівник роботи (проекту)



О.Ю. Сазонова

(підпис та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер



Гребенюк І.В.

(підпис та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Шапарь В.В. Забезпечення довговічності будівельних конструкцій з урахуванням нелінійного впливу зовнішніх факторів.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник О.Ю. Сазонова, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потєбні Запорізького національного університету, 2023.

В роботі проведено аналіз різновидів систем аспектів забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій та їх властивостей, на базі дослідження теоретично-методологічних підходів стосовно технології поліпшення властивостей бетонних і залізобетонних конструкцій.

Обґрунтовано удосконалення методів забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій, проведено порівняльний аналіз, відокремлені переваги та недоліки цих систем.

Ключові слова: довговічність, бетон, залізобетонні конструкції, вплив зовнішніх факторів, системи забезпечення довговічності.

ANNOTATION

Shapar V.V. Ensuring the durability of building structures taking into account the non-linear influence of external factors.

Qualifying graduation thesis for obtaining the degree of master of higher education in specialty 192 – Construction and civil engineering, supervisor O.Yu. Sazonova, Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Postgraduate students of Zaporizhzhya National University, 2023.

In the work, an analysis of various systems of aspects of ensuring the durability of concrete and reinforced concrete structures and their properties is carried out, based on the study of theoretical and methodological approaches regarding the technology of improving the properties of concrete and reinforced concrete structures.

The improvement of the methods of ensuring the durability of concrete and reinforced concrete structures is substantiated, a comparative analysis is carried out, the advantages and disadvantages of these systems are separated.

Key words: durability, concrete, reinforced concrete structures, the influence of external factors, durability systems.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНО-МЕТОДОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ	10
1.1 Теоретичний стан питання забезпечення довговічності	10
1.2 Агресивні середовища, що діють на матеріали та конструкції	13
1.3 Сучасні уявлення про корозійну стійкість конструкцій	14
1.4 Визначення можливості застосування полімербетонів і пластбетонів для відновлювальних робіт	25
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ЕФЕКТИВНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ	36
2.1 Вплив технологічних факторів на структуроутворення наповненої полімерної матриці пластбетону	36
2.2 Оптимізація складу модифікованої полімерної матриці бетону	42
РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ	50
3.1 Дослідження корозійної стійкості арматури в пластбетоні на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ	50
3.2 Морозостійкість пластбетону на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ	61
3.3 Технологія пластбетонів на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ	64
ВИСНОВКИ	69
Список використаних джерел	70

ВСТУП

Будинки й інженерні споруди зводяться з будівельних матеріалів. Кожен будівельний матеріал має ряд властивих йому властивостей. Одні матеріали надають міцність, несучу здатність і жорсткість конструкцій і споруд в цілому. Інші матеріали призначені для облицювання внутрішніх і зовнішніх стін, надання архітектурного вигляду споруд. Наступна група об'єднує будівельні матеріали спеціального призначення, необхідні для захисту конструкцій від шкідливих впливів середовища, а також для підвищення експлуатаційних властивостей і створення комфорту: теплоізоляційні, акустичні, гідроізоляційні, покрівельні та герметизуючі, антикор-розійняючі, вогнетривкі.

В процесі експлуатації залізобетонні конструкції піддаються впливу різних чинників навколишнього середовища: силових, фізичних, хімічних, техногенних і т.д. Відомо, що під дією хімічно-активних речовин властивості матеріалу змінюються, причому дана зміна відбувається нерівномірно за обсягом зразка.

Для більш точної оцінки довговічності і підвищення безпеки при експлуатації розрахунок конструкцій повинен відображати їх реальну роботу при спільній дії навантаження і агресивного середовища, а також враховувати випадковий характер величин, прийнятих в розрахунку.

Всі матеріали виконують властиві їм функції. Наприклад, покрівельні матеріали захищають будівлі і споруди від атмосферних опадів, ізоляційні матеріали застосовуються для захисту будівельних конструкцій від атмосферного впливу, проникнення агресивних ґрунтових вод, а також забезпечення водонепроникності конструкцій з бетону і т. д.

Матеріали в спорудженні піддаються впливу зовнішнього середовища, яке надає на них руйнівну дію. Тому зробити правильний їх вибір, вміти оцінити їх якість і забезпечити нормальні умови експлуатації конструкцій з цих матеріалів - все це є одним з кроків підвищення довговічності як елементів конструкцій так і самої будівлі.

Відповідно до цього кожен матеріал, крім виконання експлуатаційних функцій, повинен мати властивості, а саме забезпечення надійності і довговічність споруди.

Актуальність теми роботи. Надійність і довговічність матеріалів і конструкцій при експлуатації будівель і споруд - важлива науково-технічна проблема. Рішення її пов'язано з вивченням причин і механізмів руйнування матеріалів, пошуком надійних способів попередження і захисту від руйнування окремих елементів будівель і споруд.

Метою роботи є дослідження теоретично-методологічних підходів стосовно технологій забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій з урахуванням зовнішніх факторів.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення в роботі таких **основних задач:**

- дослідити основні теоретично-методологічні аспекти забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій;
- з'ясувати суть технології ефективного забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій;
- теоретизувати засади оптимізування засобів вдосконалення із забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій.

Об'єктом дослідження є технології та методи забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій.

Предметом дослідження є формування обґрунтування оптимізаційної теоретико-методологічної концепції із забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій.

Методологія дослідження: оцінка літературних джерел, фізичних показників та їхній аналіз.

Новизна роботи полягає у дослідженні методологічних підходів стосовно технології та методів забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій.

У роботі висвітлені основні теоретично-методологічні аспекти забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій, з'ясована

суть технологій ефективного забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій, проаналізовані існуючі матеріали, які використовуються в проектних рішеннях улаштування забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій та сформовані оптимізаційні рішення.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНО-МЕТОДОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1 Теоретичний стан питання забезпечення довговічності

Штучні будівельні матеріали, що застосовуються в конструкція будівель і споруд, виготовляють в порівняно короткі технологічні терміни. Ці терміни досить малі в порівнянні з багаторічним використанням будівель і споруд. До моменту передачі конструкцій в експлуатацію важливо забезпечити стан штучних будівельних матеріалів на рівні, що відповідає вимогам вищої якості готової продукції.

Передексплуатаційний період є найважливішим, безпосередньо впливає на довговічність будівель і споруд або їх елементів. Якісні показники готової продукції, придбані в результаті технологічної переробки сировини, служать вихідними характеристиками, що перетерплюють наступні зміни в експлуатаційний період до критичного розміру. І чим прогресивніша технологія при переробці сировини, тим вище, як правило, і вихідні якісні показники до часу передачі об'єкта в експлуатацію. З цього моменту починається відлік періоду, іменованого довговічністю.

Довговічність відносять до комплексної характеристики якості будівельних матеріалів, виробів та конструкцій і виражається в їх здатності пручатися складному впливу зовнішніх і внутрішніх факторів, що проявляються в експлуатаційний період роботи конструкції. Про довговічність судять за тривалістю зміни до критичних розмірів міцності або деформаційної стійкості як ключових властивостей в відношенні даної конструкції будівлі або споруди.

Довговічність - здатність матеріалу протягом визначено-ного часу зберігати на допустимому рівні структурні параметри, що склалися в технологічний період.

Довговічність будівель і споруд - граничний термін служби будівель і споруд, протягом якого вони зберігають необхідні експлуатаційні якості.

Розрізняють довговічність моральну і фізичну.

Моральна Довговічність (термін морального зносу) характеризується терміном служби будівель і споруд до того моменту, коли вони перестають відповідати мінливих умов експлуатації або режимам технологічних процесів.

Фізична Довговічність визначається тривалістю зносу основних несучих конструкцій і елементів (наприклад, каркаса, стін, фундаментів і ін.) Під впливом навантажень і фізико-хімічних факторів.

Деякі конструктивні елементи і частини будівель і споруд, - жений (легке стеновое огорожу, покрівля, перекриття, підлога, віконні палітурки, двері та інше) можуть мати меншу довго-вічність і замінюватися при капітальному ремонті.

Поступовий фізичний знос конструкцій відбувається нерівномірно протягом загального терміну служби будівлі; в перший період після будівлі - швидше (що пов'язано з деформаціями конструкцій, що нерівномірними опадами ґрунту і т. п.), а в наступний, переважаючи-ючий по тривалості, - повільніше (нормальний знос).

Після закінчення першого періоду експлуатації будівлі окремі його конструкції можуть потребувати спеціального післясадочних ремонті.

Довговічність скорочується при неправильній експлуатації будівель і споруд, перевантаженнях конструкцій, а також при різко виражених руйнують впливах навколишнього середовища (дія вологи, вітру, морозу і т. Д.).

Велике значення для забезпечення довговічності має пра--Вільний вибір конструктивних рішень з урахуванням особливостей клімату і умов експлуатації.

Підвищення довговічності досягається застосуванням будів-вельних та ізоляційних матеріалів, що володіють високою стійкістю при заморожуванні

і відтаванні, вологостійкістю, биостойкістю, і захистом конструкцій від проникнення в них руйнівних агентів і перш за все рідкої вологи.

Час «життя» будівлі або споруди визначається довговічністю чотирьох його основних складових: фундаменту, стін, віконних конструкцій та покрівлі. Термін їх служби, в свою чергу, багато в чому залежить від технологій і якості будівельних матеріалів, асортимент яких сьогодні досить широкий. Головне тут - не помилитися і зробити грамотний вибір.

Таким чином, час «життя» будівлі або споруди залежить від терміну служби матеріалів, з яких вони виготовлені. Для оп-ределенном цього періоду проводяться спеціальні лабораторні ис-проходження і експертизи, за результатами яких судять про можли-ності того чи іншого виробу. Наприклад, це можуть бути випробування на морозостійкість, водостійкість або на перевірку міцності.

Найбільш жорсткі вимоги щодо довговічності пред'являються до конструкційних матеріалів, які працюють в екстремальних умовах: агресивне середовище, різка зміна температур і т. Д. Для матеріалів несучих і огорожувальних конструкцій довговічність повинна бути не менше терміну служби будівлі і споруди. Довго-вічність оздоблювальних матеріалів може бути трохи нижче, пос-кольку вона пов'язана з термінами морального старіння обробки.

Довговічність - властивість виробу або конструкції зберігати працездатність до граничного стану з необхідними пе-реривами на ремонт. Граничний стан визначається ступенем руйнування виробу, вимог безпеки або економічними міркуваннями. Довговічність будівельних виробів вимірюють зазвичай терміном служби без втрати експлуатаційних якостей в конкретних кліматичних умовах і в режимі експлуатації.

Довговічність визначається сукупністю фізичних, механічних і хімічних властивостей матеріалу. Її потрібно оцінювати примі-ково до конкретних умов експлуатації.

Показники довговічності і надійності будівельних матеріалів і виробів безпосередньо пов'язані з витратами на експлуатацію - ремонт будівель і споруд.

З одного боку, довговічність залежить від складу, структури і якості матеріалу, т. Е. Сукупних властивостей самого матеріалу, з іншого - від інтенсивності зовнішніх впливів: навантажень, тим-ператури, вологості і агресивності середовища. Тому для кожного конкретного матеріалу його довговічність буде визначатися об-областю застосування, інтенсивністю експлуатаційних навантажень, якістю догляду протягом терміну служби.

Довговічність оцінюється найважливішим експлуатаційним умовам з урахуванням експериментальних і розрахункових даних і коли-кількісний вимірюється часом (в роках) від початку експлуатації в заданому режимі до моменту досягнення граничного стану. У будівельних нормах і правилах, що діють в нашій країні, встановлені наступні ступені довговічності будівельних конструкцій: I ступінь з терміном служби не менше 100 років; II - 50 років; III - 20 років.

1.2 Агресивні середовища, що діють на матеріали та конструкції

Будівельні конструкції і елементи будівель і споруд в процесі експлуатації піддаються впливу:

- газоподібного середовища у вигляді забрудненої атмосфери навколишнього повітря, суміші повітря, водяної пари, газів, парів летких речовин;

- твердої середовища у вигляді пилу, що забруднюють атмосферу повітря (зважені речовини) і осідають на зовнішніх поверхнях конструкцій, сипучих і кускових технічних продуктів ґрунту і асфальтових покриттів, солей-обмерзання, ґрунтів, що містять агресивні компоненти;

- рідкого середовища у вигляді атмосферних опадів, особливо кислотних дощів, технологічних розчинів і у вигляді агресивних природних або забруднених поверхневих і мінералізованих ґрунтових вод. Забруднення поверхневих і ґрунтових вод, як правило, обумовлено побутовими та технічними відходами, які не-фтепродуктами, витоками каналізаційних вод і технологічних рідин.

Можуть бути і різні комбінації зазначених середовищ, а також їх поєднання з електричним струмом, світловими і радіаційними випромінюваннями. При цьому в кожному окремому випадку середовище може со-тримати один або кілька агентів.

Всі середовища за ступенем впливу на будівельні конструкції підрозділяються (СНиП 2.03.11-85 та ДСТУ Б В.2.6-145: 2010):

- на неагресивні (Н);
- слабоагресивні (Сл);
- середньоагресивному (Ср);
- сильноагресивних (Сі).

В основу класифікації покладено відносне зниження міцності матеріалу в зоні корозії і зовнішні прояви при-знаків корозії в результаті експлуатації виробів протягом одного року.

1.3 Сучасні уявлення проблем забезпечення довговічності

Проблема забезпечення довговічності матеріалів і конструкцій на сучасному етапі розвитку технології бетону розглядається з техніко-економічних позицій. Ефективність матеріалів і конструкцій, що експлуатуються в агресивних середовищах, визначається приведеними витратами на виготовлення конструкцій, зведення будівель і споруд, витратами на захист від корозії, ремонт, а також втратами в народному господарстві від простоїв виробництва під час ремонту конструкцій. Висока

техніко-економічна ефективність бетонних і залізобетонних конструкцій значною мірою визначається їхньою довговічністю при мінімальних витратах на їхнє утримування у процесі експлуатації.

Ремонт бетону, що руйнується, є дорогим і в більшості випадків малоефективним заходом. У той же час виключення можливості ушкодження бетону часто досягається виконанням досить дорогих заходів. Для ряду конструкцій не представляється можливим виконання вторинного захисту.

Проведені дослідження показали можливість підвищення ефективності проектних рішень антикорозійного захисту конструкцій при використанні в розрахунках характеристик бетону, що змінюються внаслідок перебігу деяких корозійних процесів в умовах впливу агресивних середовищ.

Питання застосування вторинного захисту також вирішуються з позиції забезпечення функціональних властивостей конструкцій. Вторинний захист повинен застосовуватися лише в тому випадку, якщо первинний не в змозі забезпечити необхідний термін служби. Отже, у цьому випадку перехід на виконання вторинного захисту обґрунтовується розрахунками внутрішніх ресурсів бетону, що забезпечуються елементами первинного захисту.

Розробка кількісних методів проектування первинного захисту і розрахункового проектування вторинного, а також розрахункових методів оцінки корозійної небезпеки середовища – подальший крок у підвищенні ефективності застосування бетонних і залізобетонних конструкцій в умовах агресивних впливів.

Розв'язання зазначених задач орієнтовано на розробку наукових основ технологічних і конструктивних заходів, що забезпечують безвідмовну роботу конструкцій при мінімальних витратах часу і засобів на технічну експлуатацію і ремонт будівель, а також матеріальних втратах у народному господарстві від простоїв у період ремонтів при регламентованому терміні служби будівель і споруд.

Будівлі і споруди, конструкції, матеріали – складні технічні системи, при проектуванні яких з урахуванням розмаїття впливу середовища

раціонально використовувати принципи системотехніки. Системотехніка розглядає вибір і організацію функцій і структури системи в цілому, припускає з'ясування цілей, для яких повинна служити система, і основних розв'язуваних нею задач, дослідження властивостей зовнішнього середовища і визначення характеристик впливу його на систему, а також обґрунтування в результаті аналізу технічних вимог до системи і взаємодії її із зовнішнім середовищем.

В основу створення складних систем покладені три основних принципи системотехніки: фізичності, моделюємості, цілеспрямованості.

Принцип фізичності полягає в тому, що будь-якій системі властиві фізичні закономірності, що визначають внутрішні причинно-наслідкові зв'язки, існування і функціонування. Ніяких інших законів, крім фізичних, для пояснення дії системи будь-якої природи не потрібно. Принцип моделюємості - складна система, представлена кінцевою безліччю моделей, кожна з яких відбиває визначену властивість або групу властивостей складної системи за допомогою однієї або декількох спрощених (вужько орієнтованих) моделей. Принцип цілеспрямованості – функціональна тенденція, спрямована на досягнення системою деякого стану, у якому вона здатна протистояти зовнішньому впливові.

Базою системотехніки є теорія складних систем, способом побудови якої є системний підхід. Він поєднує природно-науковий метод, заснований на експерименті, формальному висновку і кількісній оцінці, з розумоглядним методом, що спирається на образне сприйняття навколишнього світу і якісний синтез, і складається в багатозв'язності процесу рішення на основі розвитку й уточнення вихідної моделі за допомогою взаємодії її складових частин.

Основні положення системного підходу представляються у такий спосіб: виділення проблеми: врахувати все необхідне; опис: виразити єдиною мовою різноманітні за фізичною природою явища і фактори; встановлення критеріїв; ідеалізація: ввести раціональну ідеалізацію проблеми, спростити її

до припустимої межі; декомпозиція: знайти спосіб поділу цілого на частини, не втрачаючи властивостей цілого; композиція: знайти спосіб об'єднання частин у ціле, не втрачаючи властивостей частин; знайти розв'язання проблеми.

Розв'язання поставлених завдань дозволяє дати відповідь на найважливіші питання практики: оптимізацію параметрів бетону як первинного захисту бетонних і залізобетонних конструкцій; обґрунтування необхідності застосування вторинного захисту і його оптимізацію; нормування корозійної небезпеки середовища; оптимізацію системи ремонту і технічного обслуговування конструкцій; обґрунтування необхідності ремонту, посилення або заміни конструкцій.

Розширення вимог, що висуваються до бетонів для відновлення експлуатаційних характеристик споруд, зокрема, до полімерних адгезивів, призводить до того, що, незважаючи на різноманіття клеячих композицій, ускладнюється вибір полімерних матеріалів, які цілком задовольняють усьому комплексу властивостей. Таким чином, виникає необхідність створення нових полімерних композицій, що володіють заданими конструкційними і технологічними властивостями. У зв'язку з цим виникає необхідність пошуку економічніших шляхів оптимізації властивостей відомих видів полімерних зв'язуючих речовин. Одним зі шляхів є створення полімерних матеріалів з поліпшеними властивостями, які одержують на основі наявних загальнодоступних зв'язуючих речовин, модифікаторів, наповнювачів за рахунок оптимізації складів полімерних композицій.

Під терміном «робота» зазвичай розуміють поведінку конструкції на стадії експлуатації. В принципі, працездатність конструкції можна пов'язати з її несучою здатністю, стійкістю, безпекою експлуатації, щільністю, гіротермічної і акустичними властивостями, зовнішнім виглядом і т.д. В контексті допомоги під терміном «робота» мається на увазі тільки кількісна характеристика.

Працездатність - функція часу і, з цієї точки зору, прямо пов'язана з поняттям довговічності. Деградація являє собою процес поступового зниження характеристик працездатності в часі, тому опис працездатності можна здійснювати через ступінь деградації.

Концепції працездатності і деградації в часі можуть застосовуватися на різних рівнях:

- на рівні споруд;
- на рівні окремих конструктивних елементів;
- на рівні матеріалів.

Між цими рівнями можливі взаємозв'язки. Так, якщо, наприклад, визначають несучу здатність залізобетонної колони або балки, задача насправді вирішується на рівні конструктивного елемента. З іншого боку, в більш глибокому розумінні, несуча здатність буде залежати від деградації бетону та сталі. Таким чином, зміна працездатності в часі на рівні конструктивного елемента має спочатку оцінюватися як швидкість зміни працездатності на рівні матеріалів.

Мінімально прийнятні значення працездатності (або максимально прийнятні значення деградації) називають граничними станами по довговічності. Граничний стан працездатності - вирішальний критерій для терміну служби. Воно може виражатися як через межу міцності, так і через межу експлуатаційної придатності.

За термін служби вживають період часу, відлічуваний від пуску об'єкта в експлуатацію, протягом якого виконуються вимоги по його працездатності. Поняття терміну служби також може розглядатися на різних рівнях. Характер заходів, виконуваних в кінці терміну служби, залежить від обраного рівня. На рівні споруди закінчення терміну служби зазвичай тягне за собою повне відновлення, реконструкцію або відмова від його використання. На рівні конструктивного елемента або на рівні матеріалу це означає заміну або серйозний ремонт елемента або матеріалу.

З іншого боку, проблему терміну служби можна розглядати принаймні з трьох різних точок зору: технічної, функціональної та економічної. Залежно від обраної точки зору можна говорити про технічний, функціональному або економічному обґрунтуванні терміну служби. Різні точки зору змушують пред'являти до одного і того ж об'єкту різні вимоги.

Технічні вимоги викликають необхідність забезпечення технічних характеристик працездатності. Залежно від рівня розгляду до числа таких вимог можна віднести конструктивну цілісність споруди, несучу здатність конструкції і / або міцність матеріалів. Значна частина цих вимог включена до складу нормативних документів.

Функціональні вимоги визначають характер нормального використання споруди або конструкції. Наприклад, ширину і висоту моста призначають в залежності від потреб транспорту, що рухається як по мосту, так і під ним. У цьому випадку тривалість терміну служби буде залежати, в першу чергу, не стільки від технічного стану конструкції, скільки від характеру розвитку транспорту. З точки зору економіки, спорудження, конструктивний елемент або матеріал розглядають як капіталовкладення, і вимоги до терміну служби визначають на підставі умови дотримання прибутковості.

Несуча спроможність споруди може бути втрачена через деградацію бетону та арматури. Проектування конструкцій повинно вестися таким чином, щоб протягом усього заданого терміну служби, незважаючи на деградацію і старіння матеріалів, забезпечувався б мінімальний рівень безпеки.

Дефекти матеріалів також можуть призводити до зниження експлуатаційної придатності або до виникнення незручності користування спорудою. Наприклад, пошкодження бетонного покриття проїжджої частини дорожнього полотна може викликати неприємну вібрацію автомобіля.

Естетичні міркування включають до складу технічних вимог, якщо естетичні дефекти виникають через деградацію або старіння матеріалів. В

цьому випадку естетичні вимоги можуть бути виражені в технічних поняттях.

Точне визначення терміну служби конструкції ускладнюється тим, що протягом цього терміну виконуються планові заходи по догляду та обслуговування. Заходи по обслуговуванню і догляду за спорудою можуть впливати на тривалість його терміну служби, і тому вони також повинні бути включені в розгляд. З цієї причини у визначенні терміна «термін служби» є додаток: «За умови забезпечення планового обслуговування». Строк служби, заявлений замовником або власником споруди при його проектуванні, називають заданим терміном служби.

У імовірнісному методі проектування довговічності необхідно мати на увазі не тільки заданий термін служби, а й визначити максимально допустиму ймовірність того, що заданий термін служби не буде досягнутий. Цю ймовірність називають ймовірністю руйнування. З іншого боку, ймовірність руйнування можна позначити як ймовірність того, що буде перевищено деякий граничний стан, обумовлений граничним станом несучої здатності або граничним станом експлуатаційної придатності.

Якщо руйнування викликано деградацією матеріалів, зазвичай застосовують вираз «порушення довговічності», щоб відрізнити його від «фізичного руйнування», яке викликають реальні фізичні навантаження. Однак порушення довговічності може бути однією з причин фізичного руйнування.

Необхідна ймовірність руйнування залежить від того, яким чином визначають подія руйнування і які наслідки можливі в результаті руйнування. Якщо руйнування призводить до серйозних наслідків, максимально допустима ймовірність руйнування повинна бути, природно, малою.

Для оцінки наслідків руйнування зазвичай застосовують концепцію ризику, під яким розуміють твір ймовірності руйнування і обсягу шкоди.

У загальному випадку, при визначенні необхідної імовірності руйнування необхідно враховувати соціальні та економічні критерії, а також критерії, пов'язані зі збереженням навколишнього середовища.

До складу соціальних критеріїв повинні включатися:

- соціальне значення споруди або конструкції;
- наслідки руйнування (число можливих жертв і т.д.);
- труднощі визначення рівня ризику.

Теорія проектування довговічності, в принципі, ґрунтується на теорії безпеки (або конструктивної надійності), що застосовується в проектуванні будівельних конструкцій. У цьому контексті під безпекою експлуатації розуміють здатність конструкції з певним ступенем надійності чинити опір руйнуванню, супроводжуваного різними потенційно небезпечними діями, характерними для призначення конструкції. Однак застосування цієї теорії до цих пір обмежувалося більшою ступеня завданнями, в яких час грало лише підпорядковану роль.

В даний час проектування конструкції з забезпеченим запасом надійності передбачає облік часу, протягом якого повинні виконуватися вимоги безпеки експлуатації. Іншими словами, необхідне введення вимоги на гарантований термін служби. У практиці проектування конструкцій його називають заданим терміном служби. Рівень безпеки при цьому висловлюють як максимально допустиму ймовірність руйнування.

Найпростіша математична модель, що описує подію «руйнування», включає змінну навантаження S і змінну міцності R . У принципі, змінні S і R можуть мати будь-яке значення в будь-яких одиницях. Єдиною вимога, яке при цьому має бути дотримано, полягає в тому, що вони повинні бути в одній системі одиниць.

Якщо R і S не залежать від часу, то подія «руйнування» можна виразити таким чином

$$\{\text{руйнування}\} = \{R < S\} \quad (1.1)$$

Іншими словами, руйнування настає тоді, коли міцність стає менше навантаження. У цьому випадку ймовірність руйнування P_f тепер визначається умовою

$$P_f = P\{R < S\} \quad (1.2)$$

Як міцність R , так і навантаження S , або вони обидві можуть бути величинами, залежними від часу. Таким чином, ймовірність руйнування також буде залежати від часу. Беручи $R(t)$ і $S(t)$ за значення міцності і навантаження в момент t , ймовірність руйнування в віці t можна виразити як

$$P_f(t) = P\{R(t) < S(t)\} \text{ для всіх } t < t \quad (1.3)$$

Визначення функції $P_f(t)$ з рівняння математично важко. У звичайних умовах міцність і навантаження не можуть бути виражені в якості миттєвих фізичних величин. Саме тому R і S вважаються імовірнісними величинами з щільністю розподілу, або залежною від часу, або постійною. Звідси звичайно вдається висловити ймовірність руйнування

$$P_f(t) = P\{R(t) < S(t)\} \quad (1.4)$$

Відповідно до виразом (3.4) ймовірність руйнування безперервно збільшується зі зростанням часу, як схематично зображено на рис. 1.1. У початковий момент часу при $t = 0$ криві щільності розподілу навантаження і міцності знаходяться далеко один від одного, і ймовірність руйнування невелика. Зі збільшенням часу криві розподілу наближаються одна до одної, утворюючи зростаючу зону перекривання, яка і являє собою ймовірність руйнування.

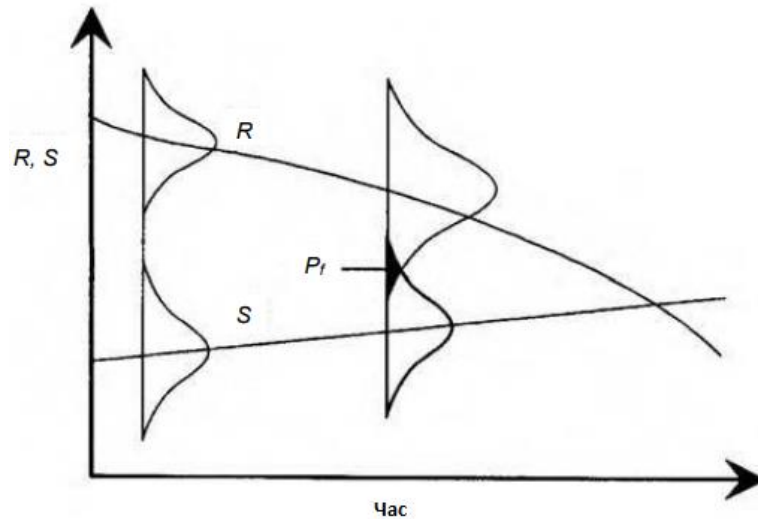


Рисунок 1.1 - Графік зростання ймовірності руйнування

Функція $P_f(t)$ має характер функції розподілу. Якщо термін служби визначається таким чином, що подія « $t'_L < t$ » ідентично події «руйнування у віці t », то функцію розподілу терміну служби можна виразити як

$$F_L(t) = P\{t_L < t\} = P_f(t) \quad (1.5)$$

де F_L - сукупне розподіл терміну служби.

Функцію щільності ймовірності можна визначити, як похідну від функції розподілу

$$f_L(t) = (d/dt)F_L(t) \quad (1.6)$$

Ймовірність руйнування в якийсь момент часу можна виразити як суму творів двох ймовірностей:

- ймовірності того, що $R < S$ при $S = s$, і
- ймовірності того, що $S = s$ поширюється на весь діапазон S

$$P_f = \sum_{\forall S} P\{R < S / S = s\} P\{S = s\} \quad (1.7)$$

Розглядаючи безперервні розподілу ймовірності руйнування P_f в певний момент часу, можна висловити її за допомогою інтегральної згортки

$$P_f = \int_{-\infty}^{\infty} F_R(S) f_S(S) ds \quad (1.8)$$

де $F_R(S)$ - функція розподілу R ,

$f_S(S)$ - функція ймовірнісної щільності S ,

s - загальна кількість або виміряні значення R і S .

Загальне рішення інтегральної згортки, що містить залежні від часу розподілу R і S , може бути досить трудомістким. Просте рішення цього інтеграла можливо тільки в тих нечисленних випадках, коли розподілу R і S нормальні. Однак інтеграл можна вирішити і спрощеними числовими методами. Розподіл терміну служби може бути отримано шляхом розрахунку значень ймовірності руйнування в різні моменти часу, наприклад, при $t = 0, 10, 20, 30$ і т.д. років.

Основні формули проектування довговічності можна записати відповідно до одним з двох принципів: принципом роботи або принципом терміну служби.

При використанні принципу роботи основна формула проектування може бути записана шляхом введення навантаження S , взаємопов'язаної з роботою R . Робота, визначена за моделі роботи, повинна бути більшою, ніж необхідна навантаження. При цьому наявна на увазі робота може ставитися до механічних явищ, фізичних, хімічних або до експлуатаційних функцій, або до естетичним вимогам. Що стосується навантаження, то вона може мати механічну природу, або під нею може матися на увазі вплив навколишнього середовища.

При використанні принципу терміну служби t_L , його величину можна визначити за допомогою моделі терміну служби, при цьому він повинен перевищувати необхідний заданий термін служби t_g .

Зазвичай обидва принципи дають однакові результати. Вибір того чи іншого принципу, багато в чому, залежить від характеру поставленої проектної задачі, від типу прийнятих моделей довговічності і від вибору найбільш простого способу математичного рішення задачі.

Метод проектування довговічності може бути детерміністичним, імовірнісним або заснованому на факторі безпечного терміну служби.

1.4 Визначення можливості застосування полімербетонів і пластбетонів для відновлювальних робіт

Полімербетони є штучними будівельними конгломератами, які одержують при суміщенні синтетичних зв'язуючих речовин з мінеральними в'язучими з питомою поверхнею $100 \dots 600 \text{ м}^2/\text{кг}$ і заповнювачами фракцій до 40 мм. Полімерна зв'язуюча речовина утворюється при суміщенні низьков'язких синтетичних смол, мономерів і олігомерів з тонкодисперсними мінеральними наповнювачами, отверджувачами і модифікуючими добавками.

Слід зазначити, що в літературі зустрічаються різні трактування термінів «полімербетон» і «пластбетон». З огляду на фізико-хімічну сутність матеріалу, під назвою «полімербетон» розуміють цементний бетон, до складу якого введені полімерні добавки, що служать сполучним матеріалом на додаток до цементу. При суміщенні цих різних за властивостями речовин утворюються матеріали зі складною органо-мінеральною структурою і специфічними властивостями, запозиченими як у цементів, так і у полімерів. Змінюючи природу і кількість полімеру, що вводиться, можна широко регулювати технологічні властивості суміші і кінцеві характеристики матеріалу. Під назвою «пластбетон» розуміється бетон, у якому в якості сполучних застосовують полімери – малов'язкі терморективні смоли, здатні при додаванні отверджуючих компонентів переходити у твердий неплавкий

стан [1, 2]. У порівнянні зі звичайними цементними бетонами пластбетони і полімербетони відрізняються істотним збільшенням міцності на розтяг при згині (відношення міцності на розтяг при згині до міцності при стиску іноді досягає 1:2) і підвищеним зчепленням майже з усіма будівельними матеріалами. При цьому найчастіше міцність при стиску стику зі старим бетоном вище міцності старого бетону. Полімербетони і пластбетони також характеризуються підвищеною стійкістю до стирання і впливу агресивних середовищ. Поверхня таких бетонів не запилюється. Однак недолік полімербетонів складається у вимиванні емульгатора при тривалому впливі води, у зв'язку з чим обмежується галузь застосування матеріалу. Основною перешкодою широкого застосування пластбетонів є набрякання й усадка полімерів при позмінному зволоженні і висиханні, викликаючи розвиток внутрішніх напружень, тим самим знижуючи довговічність конструкцій з такого бетону.

Вітчизняними і зарубіжними дослідниками внесено значний внесок у теорію і практику полімербетонів і пластбетонів. Зокрема, працями Л.В. Андреева, С.В. Амагна, Ю.М. Баженова, Г.М. Бартенєва, О.Я. Берга, М. Брокарда, В.А. Воскресенського, Дж. М. Гейста, В.Є. Гуля, Г.І. Горчакова, С.С. Давидова, Б.В. Дерягіна, Г.Д. Діброва, І.М. Єлшина, С.Н. Журкова, А.Р. Заїченко, Л.М. Залана, Ю.С. Зуєва, А.М. Іванова, Ю.Г. Іващенко, В.І. Ітинського, О. Кавано, А.К. Кніпенберга, А.Г. Комара, Ю.С. Ліпатова, Ю.В. Максимова, Б.Б. Меллора, І. Морі, О.П. Мчедлова-Петросяна, Н.А. Мощанського, Н.Н. Остер-Волкова, Й. Охама, В.В. Патуроева, А.П. Прошина, Г.С. Рояка, Л. Скупіна, В.І. Соломатова, С.І. Толстої, Т.І. Татишвілі, Н.Б. Урьєва, Р.С. Фармазяна, М.М. Холмянського, А.В. Чуйка, А.К. Шрайбера встановлені загальні закономірності структуроутворення полімербетонів і пластбетонів і розроблено основи їхньої технології.

Пластбетони відрізняються, як правило, високою міцністю при стиску і розтягу, високою стійкістю до більшості агресивних і сильно агресивних реагентів і високим зчепленням практично з усіма будівельними

матеріалами. Міцність і хімічна стійкість при цьому залежать від виду і вмісту полімеру, який застосовується в якості зв'язуючої речовини.

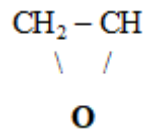
Впровадження в будівельну практику пластбетонів супроводжується по-шуком нових ефективних полімерних зв'язуючих речовин, підвищуючих експлуатаційні характеристики, зокрема, корозійну стійкість конструкцій [3, 4]. В якості зв'язуючих речовин у пластбетонах застосовується ряд синтетичних смол: фуранові, поліефірні, епоксидні, кумароно-інденові, перхлорвінілові.

З числа різних поліефірних смол для пластбетонів застосовують ненасичені поліефірні смоли, які одержують поліконденсацією ненасичених багатоатомних спиртів із багатоосновними кислотами. Отверджувачем смол служить суміш бензолу, що з метою безпечного застосування перед вживанням розчиняють у стиролі, взятому в кількості 20...45% від маси смоли. Використовуються також пероксид циклогексанона і гідропероксид ізопропилбензола – гіперіз. Прискорювачем отвердження в нормальних умовах є нафтенат кобальту або діметиланілін.

Отверджена смола має високу міцність і твердість, водостійкість і стійкість до дії розчинів кислих і нейтральних солей і полярних розчинників [5]. Однак у зв'язку з тим, що поліефірні смоли відрізняються невисокою хімічною стійкістю, головним чином, проти лугів, а також значною усадкою і горючістю, галузь застосування пластбетонів на основі поліефірних смол обмежена.

Універсальність епоксидних смол сприяла їхньому широкому застосуванню в якості зв'язуючої речовини пластбетону у різних галузях будівництва. Епоксидні смоли одержують при поліконденсації поліфенолів з діхлор- або епіхлоргідрином. На відміну від деяких інших конденсаційних смол, реакція отвердження епоксидних смол являє собою ступінчасту полімеризацію, завдяки чому епоксидні смоли отверджуються без виділення побічних продуктів. Перетворення епоксидних смол у неплавкі продукти відбувається під дією отверджувачів, найчастіше поліамідів, тіоколів або

полієфірів, що виконують роль реагентів, що зшивають. Поєднання лінійних молекул у просторіві утворення відбувається за рахунок епоксігруп [6].



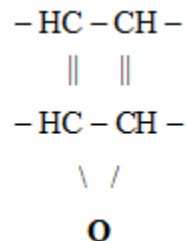
Однак поряд з комплексом позитивних властивостей, пластбетони на основі епоксидних смол відрізняються високою вартістю. Широке застосування таких пластбетонів при провадженні ремонтно-відбудовних робіт стримується також дефіцитністю полімерної зв'язуючої речовини.

В якості зв'язуючої речовини пластбетону застосовуються також фенолформальдегідні смоли [7]. При надлишку фенолу в кислому середовищі виходять термопластичні полімери – новолаки, а при надлишку формальдегіду при введенні лужного каталізатора утворюються термореактивні смоли – резолі, а у випадку заглиблення – резити. В якості зв'язуючої речовини у пластбетонах можуть бути використані резольні смоли [8], а також новолачні смоли [9]. Такі бетони відрізняються хімічною і термічною стійкістю, але мають істотний недолік – вони не водостійкі.

Завдяки сполученню високих показників фізико-механічних властивостей, корозійної стійкості в агресивних середовищах і відносно низької вартості найбільше поширення одержали пластбетони на основі фуранових смол. Дослідження підтвердили, що особливо ефективно застосування пластбетонів на фуранових смолах для відновлення бетонних і залізобетонних конструкцій, що експлуатуються в агресивних гарячих умовах на підприємствах чорної і кольорової металургії.

Серед пластбетонів, які одержують на різних термореактивних смолах [10-14], найбільше застосування при проведенні ремонтно-відбудовних робіт одержали фуранові полімербетони на основі мономерів ФА і ФАМ [15-18]. Фуранові зв'язуючі речовини і пластбетони на їхній основі характеризуються високою хімічною стійкістю в розчинах кислот, лугів, тваринних жирів, рослинних оліях та інших середовищах [19-23].

Розробка пластбетонів на основі фуранових смол почалася завдяки працям хіміків Н.А. Остер-Волкова, В.І. Ітинського і І.В. Каменського, що одержали зв'язуючу речовину – фурфурол-ацетоновий мономер [24-26]. Смоли названі фурановими через наявність в основній ланці смоли гетероциклічного фуранового кільця



Основним видом сировини для виробництва фуранових смол є фурфурол C_4H_3OCHO , що одержують з рослинної сировини - деревини, шкарлупи горіхів, соломи, кукурудзяних качанів, соняшnikової лузги. Крім того, фурфурол є побічним продуктом гідролітичних заводів, що виробляють спирт із наведеної вище сировини. Фурфурол одержують при дегідратації пентози, що одержується гідролітичним розщепленням полісахаридів пентозанів. Фуранові смоли – продукт конденсації фурфуролу з ацетоном у різних молярних відношеннях [26]. Дослідженнями якісного і кількісного складу різних модифікацій продуктів конденсації фурфуролу й ацетону встановлено, що в смолі ФА утримується близько 50% монофурфуриліденацетону, інша частина складається з діфурфуриліденацетону з домішками фурфуролу й компонента, що осмолюється. При участі в реакції 1,5 моля фурфуролу і 1 моля ацетону утворюється фурфуrolацетонова смола ФАМ, що містить близько 35% монофурфуриліденацетону [27].

Різний вміст у фурфуrolацетонівій зв'язуючій речовині монофурфурилі-денацетону і діфурфуриліденацетону впливає на механізм полімерутворення і властивості фуранових смол. На першій стадії полімеризації фуранових смол типу ФА відбувається реакція поліконденсації, при якій виділяється вода у кількості 0,5 моль на 1 моль фурфуриліденацетону, що складає 6% від маси мо-номера. Вода, що

виділяється, послаблює зв'язки полімеру з наповнювачем і заповнювачами, що призводить до зниження показників фізико-механічних властивостей пластбетону. При проходженні екзотермічної реакції полімеризації мономера ФА внутрішні шари пластбетону нагріваються, і конденсована вода випаровується. Пара, що піднімається до поверхні маси, утворює дрібні канали, через які в отверджений пластбетон проникають вода або агресивні розчини. Отже, при цьому знижується морозостійкість і водонепроникність матеріалу, можлива корозія арматури.

Друга стадія включає утворення тривимірної структури з малою кількістю зшивок полімерних ланцюгів, унаслідок чого полімер не розчиняється, а тільки набухає в органічних розчинниках. На третій стадії отвердження смола переходить у неплавкий і нерозчинний стан, характерний для просторово структурованих полімерів [28]. Таким чином, зі збільшенням у смолі частки монофурфуріліденацетону поперечні зв'язки молекул лінійного ланцюга слабшають, чинячи негативний вплив на міцність, деформативність і теплостійкість полімеру. При поліконденсації фурфуролацетонної смоли ФАМ, що містить меншу кількість монофурфуріліденацетону, виділяється відповідно менше води, що сприяє зміцненню просторових зв'язків і поліпшенню показників властивостей пластбетону.

Фурфуролацетонна смола 4ФА (при співвідношенні фурфурол:ацетон =4:1) має більш високу хімічну стійкість і теплостійкість у порівнянні з іншими фурановими смолами, але висока реакційна здатність цієї смоли ускладнює технологічний процес виготовлення конструкцій на її основі. Крім того, у процесі отвердження фурфуролацетонна смола 4ФА відрізняється високою температурою саморозігріву, що викликає температурні напруження, які знижують міцність пластбетону.

Режим отвердження пластбетону на мономері ФА має дуже велике значення. При твердненні при підвищеній температурі (60...80°C) на протязі 10...12 год міцність пластбетону сягає значень міцності нормального

тверднення у 28-добовому віці, а наступного наростання міцності не спостерігається [29]. З огляду на специфічність проведення ремонтно-відбудовних робіт у виробничих умовах перевага надається твердненню пластбетону в природних умовах, тому необхідний пошук шляхів досягнення максимально можливих значень міцності пластбетону.

Застосування пластбетонів на мономері ФА і його модифікаціях найбільш перспективно виходячи з високих показників експлуатаційних характеристик таких бетонів [30-32]. Раніше встановлено [33], що значення міцності при стиску пластбетонів на мономері ФА лежать у межах 30...80 МПа, а за деякими даними сягають 120 МПа, міцності на розтяг при згині 12...30 МПа; водопоглинання – 0,2...0,8%, що забезпечує високу непроникність для води, бензину і газу. Пластбетон характеризується стираністю не більш 0,26 г/см², що в багато разів менше, ніж у цементного бетону.

Однак поряд з перевагами у порівнянні з цементним бетоном, пластбетон на мономері ФА має низку недоліків: значно велику усадку і повзучість і помітне старіння при твердненні у вологому середовищі й у воді. Так, за даними А.В. Яшина [34], усадка дрібнозернистого пластбетону на мономері ФА до 6 разів вище в порівнянні з цементним дрібнозернистим бетоном. Разом з тим, А.В. Яшин відзначає можливість регулювання експлуатаційних характеристик пластбетону шляхом раціонального призначення складу бетону. Наприклад, заміна мікронаповнювача коксу на андезитове борошно зменшує усадку більш ніж у 2 рази. Крім того, теплова обробка виробів із пластбетону на мономері ФА, що прискорює отвердження, знижує повзучість у кілька разів у порівнянні зі зразками, що тверднули в нормальних умовах. Разом з тим, при розміщенні зразків, які пройшли теплову обробку, в умови підвищеної температури (у межах 50...60оС) повзучість їх зростає в кілька разів у порівнянні зі зразками, що знаходилися тривалий час у нормальних умовах. З огляду на специфічні умови отвердження пластбетону в природних умовах експлуатації споруд, що

підлягають ремонту, слід враховувати можливі зміни властивостей і розробляти заходи для одержання матеріалу з заданими характеристиками.

Пластбетон на модифікованому мономері ФАМ, що відрізняється від мо-номера ФА зниженим вмістом ацетону, має значно меншу повзучість, підвищені міцність і модуль пружності, а також знижену усадку, що згасає протягом трьох тижнів [35]. Однак пластбетони на мономерах ФА і ФАМ показують істотне зниження міцності при збереженні у воді, причому авторами [36, 37] встановлено падіння міцності зразків, що практично призводить до їхнього руйнування.

Слід зазначити, що широка орієнтація на мономери ФА і ФАМ, з одного боку, забезпечила поглиблене вивчення властивостей і удосконалення технології пластбетонів на їхній основі, а з іншого боку, обмежене виробництво цих мономерів стало стримуючим фактором їхнього широкого використання. Тому першочерговою задачею розвитку технології пластбетонів є розробка нових і вдосконалення існуючих зв'язуючих речовин. У цьому відношенні представляє інтерес використання композиційних зв'язуючих речовин. Сполучення двох або декількох полімерів є одним з ефективних способів одержання матеріалів із заданим комплексом властивостей. При цьому в залежності від властивостей вихідних полімерів і їхньої сумісності можна одержати матеріали з різною структурою і характеристиками, що визначають їхнє практичне застосування.

Одним зі шляхів розширення сировинної бази для виробництва зв'язуючих речовин пластбетонів і зниження їхньої вартості є сполучення мономерів ФА або ФАМ з доступними полімерами. Перспективним у цьому випадку представляється сполучення фуранових смол з відходами коксохімічного виробництва – кислотою смолкою, що є техногенним продуктом ректифікації сирого бензолу. Утилізація відходів поряд з можливістю одержання пластбетонів із заданими властивостями сприяє також поліпшенню екологічної обстановки в зоні дії коксохімічних

виробництв, пов'язаному з ліквідацією «мертвих озер» – місць складування відходів.

Задовільні результати отримані при сполученні епоксидної смоли з кам'яновугільною смолою [38]. Подібні за складом матеріали в останні роки набули широкого застосування за рубежом. Наприклад, американська компанія «Coopers Company» випускає матеріал «Butumastik», англійська фірма – «Erimastik». Розроблені комплексні зв'язуючі речовини, що містять продукти взаємодії епоксидних смол з низькомолекулярними тіоколами складу 3:1, що характеризуються підвищеною еластичністю, низькою паропроникністю і високою кавітаційною стійкістю.

Особливий інтерес представляють фурано-епоксидні зв'язуючі речовини типу ФАЕД. Кількість епоксидної складової може змінюватися в межах 20...80%, однак, як встановлено експериментально, збільшення вмісту епоксидної смоли більш 20% не дає істотного ефекту. Сполучення епоксидної смоли з мономером ФА знижує вартість зв'язуючої речовини за рахунок зменшення її витрати. Бетони на основі ФАЕД-20 відрізняються високою адгезією при проведенні ремонтних робіт, при цьому підвищуючи водо- і морозостійкість конструкцій споруд.

В якості отверджувачів, що сприяють переходу фуранових смол у неплавкий і нерозчинний стан і прискоренню процесів отвердження термореактивних смол, використовуються сульфокислоти і сульфохлориди (бензолсульфокислота, толуолсульфокислота, хлорбензолсульфокислота), хлористі сполуки металів (заліза, алюмінію), концентрована сірчана кислота, амінні отверджувачі та ін. [39-43]. Отвердження полімерних композицій на основі фуранових смол здійснюється за рахунок утворення містків між молекулами при розкритті подвійних зв'язків фуранового кільця.

Одними з активних є ароматичні отверджувачі фуранових смол (сульфокислоти і сульфохлориди), однак у зв'язку з високою гігроскопічністю перед використанням їх необхідно розчинити або

розплавляти. Пластбетони з застосуванням цих отверджувачів повинні мати стабільні властивості.

Хлористі сполуки металів володіють малою реакційною здатністю, забезпечують спокійне протікання реакції отвердження, але відрізняються дефіцитністю і високою вартістю.

Концентрована сірчана кислота є надзвичайно активним отверджувачем. Отвердження полімерних композицій сірчаною кислотою являє собою інтенсивну екзотермічну реакцію, що в остаточному підсумку призводить до зниження показників фізико-механічних властивостей пластбетону. Тому для зниження реакційної здатності сірчана кислота розбавляється дібутилфталатом, полієфіракрилатними смолами, фурфуролом або контактом Петрова. Однак використання розріджувачів здорожує отверджувач, оскільки їхня кількість сягає 50% від маси сірчаної кислоти. Крім того, у технологічному циклі з'являється додаткова операція з приготування двохкомпонентного отверджувача.

Отвердження полімерних композицій слабкими кислотами (малеїною, щавелевою, фосфорною) протікає дуже повільно, що порушує технологічний процес виготовлення конструкцій із пластбетону.

З проведеного аналізу випливає, що усі відомі отверджувачі мають ті або інші недоліки, що призводять до зниження експлуатаційних характеристик ви-робів із пластбетону. Попередніми дослідженнями встановлено, що найбільш раціональним і економічним отверджувачем полімерних композицій на основі фуранових смол є бензолсульфо кислота, що забезпечує одержання пластбето-нів із заданими експлуатаційними властивостями. Бензолсульфо кислота добре розчиняється у воді, ацетоні і фурфуролі і складається з 98% моноссульфо кислоти бензолу, близько 1% вільної сірчаної кислоти і бензолу (не більш 0,2%). Повний ступінь полімеризації фуранових смол багато в чому залежить від рівномірності розподілу бензолсульфо кислоти в полімерній композиції, тому отверджувач

розплавляється при температурі 55-60°C з наступним охолодженням до температури 35-40°C.

Принципово важливим у технології пластбетонів є вибір наповнювачів фуранових зв'язуючих речовин. Введення наповнювачів у полімерні композиції додає їм міцність, а також сприяє зниженню температурних і усадочних деформацій.

В якості наповнювачів фуранових смол широко використовуються різні кислотостійкі тонкодисперсні матеріали. Оскільки більшість мінеральних наповнювачів характеризується високою поверхневою енергією, вони здатні до адгезійної й адсорбційної взаємодії з карбонільними групами, які містять фуранові смоли [44, 45].

Фізичні і механічні властивості багатофазної, багатокомпонентної системи, якою є пластбетон, вивчені недостатньо. Відомо, що вони визначаються властивостями компонентів, які його складають, і в першу чергу властивостями введеного в нього полімеру. Властивості полімеру, його здатність взаємодіяти зі складовими бетону визначаються не тільки характером, але і кількістю полімеру. Очевидно, що розкриття механізму структуроутворення полімерної зв'язуючої речовини дає можливість керування властивостями кінцевого продукту – пластбетону.

Таким чином, для оптимального вибору виду полімерної зв'язуючої речовини з метою одержання пластбетону з заданими властивостями слід враховувати особливості структуроутворення різних полімерів, а також прогнозувати поведінку визначеного полімеру у сукупності з іншими компонентами бетону.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ЕФЕКТИВНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

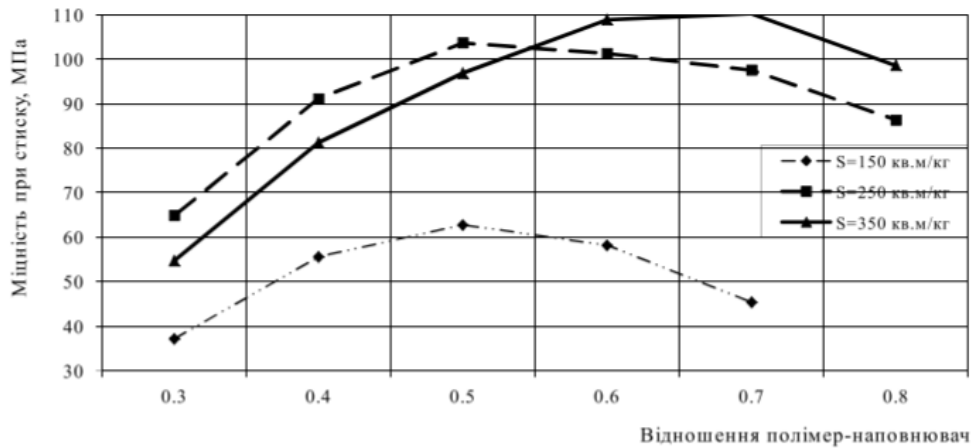
2.1 Вплив технологічних факторів на структуроутворення наповненої полімерної матриці пластбетону

Процеси взаємодії в наповненій полімерній композиції з моменту готування розчину протікають у такий спосіб. При введенні мономера ФА разом з кислотою смолкою і фуриловим спиртом – ФАКФ – смола, що має глобулярну структуру, утворює локальні просторові структури (мікрогель) у присутності отверджувача. Внаслідок низької концентрації і малої відносної молекулярної маси (300...500) структура полімеру неоднорідна: присутні як глобули смоли й отверджувача, так і мікрогелі, причому в'язкість одержуваного розчину незначно відрізняється від в'язкості води. При взаємодії полімерного розчину з поверхнею часток цементу відбувається утворення рівноважного адсорбційного шару смоли. Молекули, що знаходяться в адсорбційному шарі, не беруть участь у реакції отвердження, сприяючи посиленню гальмуючої ролі гідратних оболонок, що екранують. Смола і продукти отвердження смоли внаслідок наявності полярних ОН-груп з високою енергією когезії і вивільнення додаткової їхньої кількості при розкритті фуранового кільця мають високу адгезійну здатність до різного роду поверхням, у тому числі і до продуктів гідратації клінкерних мінералів [52]. Завдяки цьому отверджені продукти смоли, що осаджуються в капілярно-пористій системі розчину при відсосі води цементом, а також смола, що адсорбувалася на поверхні продуктів гідратації, надійно кольматують поровий простір і перешкоджають виникненню фільтраційних потоків порової рідини. Утворення додаткових зв'язків у тверднучому полімерцементному розчині типу полімер - цементні частки і гідратні новоутворення, зв'язування розчинника в сітці мікрогелю, а також

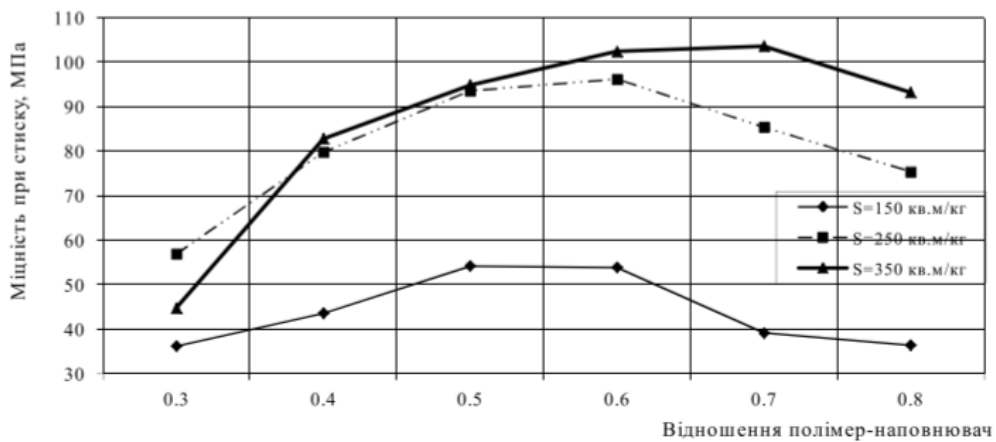
кольматація порового простору сприяють підвищенню седиментаційної стійкості розчину [53].

При взаємодії молекул полімеру з твердим тілом поверхня його покривається тонким шаром полімеру, що утримується адсорбційними силами. Джерелом цих сил є некомпенсовані зв'язки на поверхні цементу або в міжфазному шарі. Основою адсорбційних процесів є загальний закон, що виражається в мимовільному зменшенні запасу вільної енергії в системі. Прагнучи знизити свою поверхневу енергію і нейтралізувати електричний заряд, дисперсна частка цементу притягає до себе молекули полімеру, що мають дипольну структуру. Під впливом силового поля, створюваного активними центрами на поверхні часток цементу, до яких притягаються диполі полімеру, знижується кінетична енергія його молекул, що утрудняє їх відрив від мінеральних часток. Оскільки активні центри відділені друг від друга енергетичними бар'єрами, то для переміщення молекул полімеру в силовому полі поверхні твердих часток необхідно зовнішній тепловий або механічний вплив. Роз'єднані частки і флокули, знаходячись спочатку у зваженому стані, поступово випадають у виді осаду, витісняючи полімер, шар якого над осадом тим товще, чим більше полімеру затворення понад оптимальну кількість утримується в наповненому полімерному тісті.

Оскільки вміст мінеральної складової впливає на властивості полімерної зв'язуючої речовини, а, отже, і на властивості бетону, для визначення оптимального наповнення в першу чергу проведені дослідження міцності фуранових безцементних композицій. Досліди проводилися на зразках розміром 50x50x50 мм. Аналіз отриманих результатів показав, що криві міцності фуранових композицій складаються з висхідної, екстремальної і спадної частин (рис. 2.1). Обґрунтування ходу кривих можна представити в такий спосіб. Оскільки наповнена система складається з трьох структурних елементів – наповнювача, межфазного шару і полімеру, у залежності від вмісту кожного з них визначаються властивості полімерної зв'язуючої речовини.



а) наповнювач шлам ГЗК



б) наповнювач мелений цегельний бій

Рисунок 2.1 - Залежність міцності фуранової зв'язуючої речовини ФАКФ від ступеню наповнення і дисперсності наповнювача: а - наповнювач шлам ГЗК, б - наповнювач мелений цегельний бій

Міжфазний шар неоднорідний і не має чітких границь. У його склад входять поверхневий шар наповнювача, що змінився під дією полімеру, адсорбційний шар полімеру і полімер, який знаходиться в структурованому стані. Як встановлено дослідженнями [54], міцність міжфазного шару вище міцності полімерної матриці. Це дозволяє зробити висновок, що при оптимальному наповненні полімерної композиції відбувається підвищення значень міцностних характеристик полімерної зв'язуючої речовини.

Таким чином, у висхідній зоні (див. рис. 2.1) полімеру недостатньо для повного змочування зерен наповнювача. Друга структурна зона – ділянка

екстремума – відноситься до оптимального. Для цієї зони характерний стан, при якому найбільша кількість полімеру переведена в міжфазний шар. Суміші такого складу характеризуються високої легкоукладальністю і при отвердженні утворюють щільну структуру. Для третьої зони (спадна область) характерно зниження міцностних показників за рахунок росту частки об'ємного полімеру. Суміші таких складів також мають задовільну легкоукладальність і після отвердження утворюють міцну полімерну структуру, але відрізняються підвищеною деформативністю. Кінцеві значення міцності цієї структурної зони близькі до міцності зв'язуючих речовин на основі ненаповнених фуранових смол, оскільки наповнювача в системі так мало, що він не робить впливу на властивості полімерної зв'язуючої речовини.

Дослідженнями встановлено, що найбільш ефективно застосування кремнійутримуючих відходів – шламів гірничо-збагачувальних комбінатів у порівнянні з меленим цегельним боєм. Визначена оптимальна величина відношення полімер – наповнювач, при якій міцність фуранових зв'язуючих речовин має максимальне значення, знаходиться в межах 0,6...0,7 у залежності від питомої поверхні наповнювача. Ця закономірність зберігається при використанні в якості полімерної зв'язуючої речовини фуранових композицій ФА (з невеликим відхиленням), ФАКС і ФАКФ (рис. 2.2).

У зв'язку з тим, монофурфуріліденацетон, що міститься у фурфуролацетонівій зв'язуючій речовині, впливає на механізм полімерутворення, протягом якого відбувається реакція поліконденсації з виділенням води, що приводить до зниження показників фізико-механічних властивостей полімербетону, встановлена висока ефективність уведення портландцементу до складу полімерної зв'язуючої речовини.

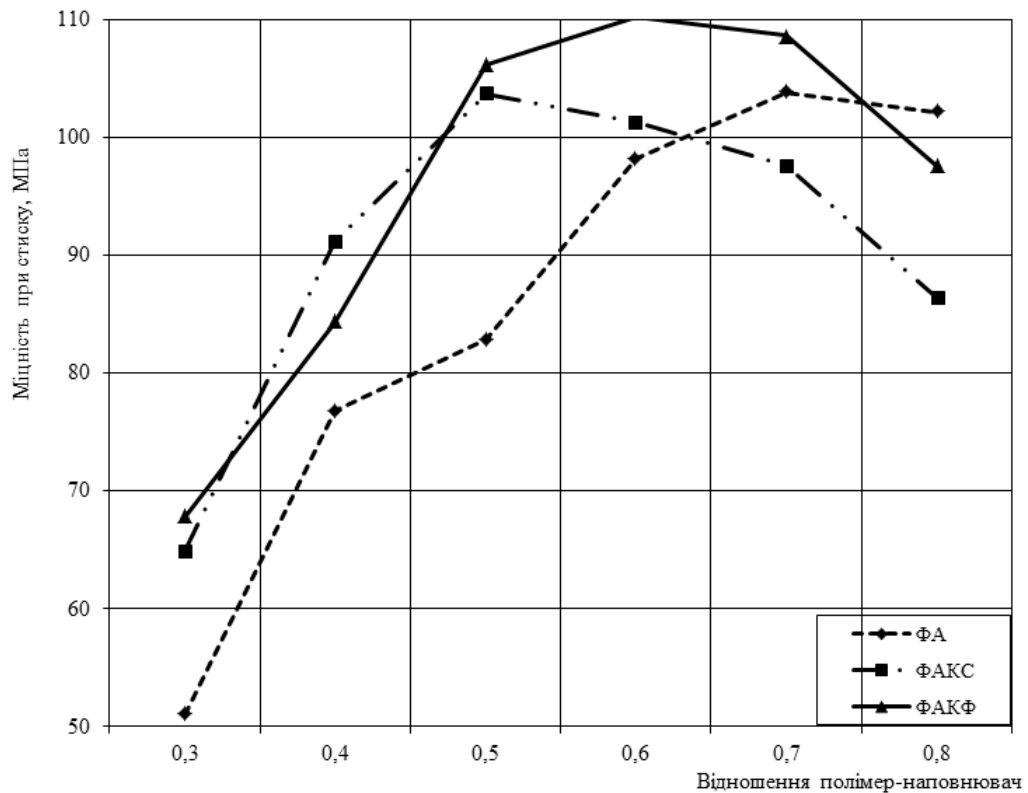


Рисунок 2.2 - Залежність міцності полімерних зв'язуючих речовин від ступеню наповнення кремнійвмісних шламів ГЗК

При цьому експериментально встановлено, що при полімеризації кількість вільної води складає близько 6% від маси мономера. Виходячи з цього визначено оптимальний вміст портландцементу в полімерній зв'язуючій речовині, складаючий 10...12% від маси мономера. На рис. 2.3 наведені результати дослідження міцностних характеристик наповненого полі-мерцементного каменя, у досліді використаний Криворізький портландцемент М 400. Хід кривих зміни міцності наповненого полімерцементного каменя принципово не змінився у порівнянні з наповненою полімерною зв'язуючою речовиною, що підтверджує збереження закономірностей формування структури полімерцементної зв'язуючої речовини при введенні в її склад наповнювача з різною питомою поверхнею.

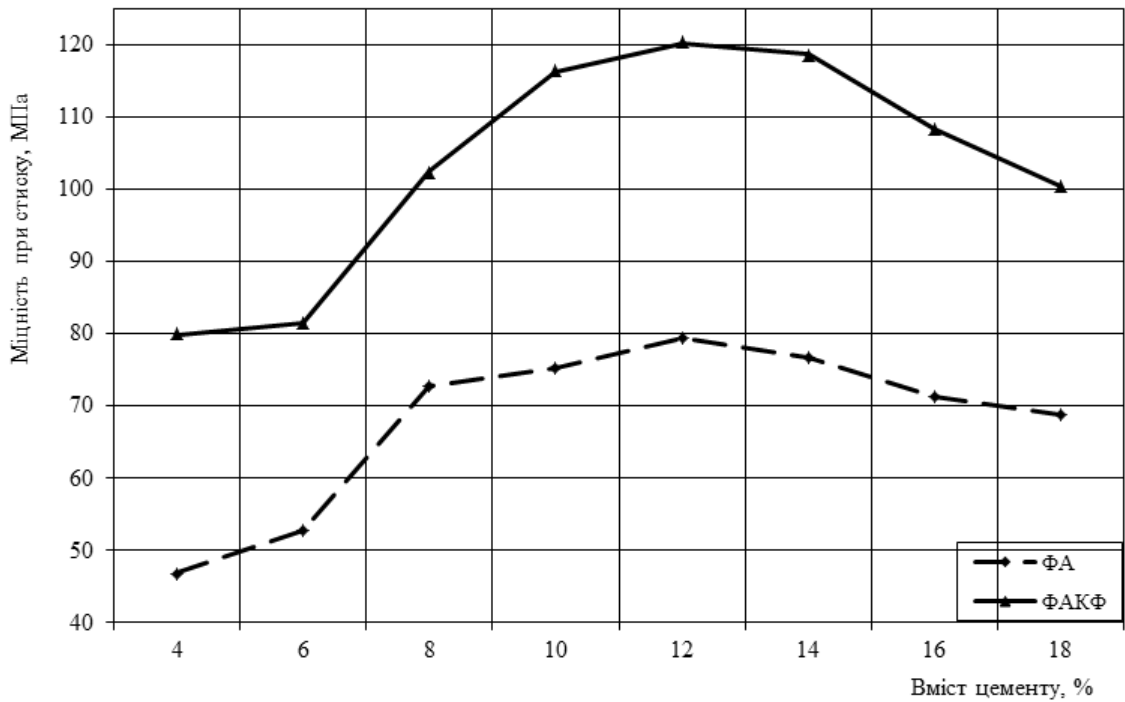


Рисунок 2.3 - Міцнісні показники наповненої полімерної матриці бетону (вік 28 діб, питома поверхня наповнювача 250 кв.м/кг)

Разом з тим, при введенні портландцементу до складу полімерної зв'язуючої речовини спостерігається збільшення міцності наповненої полімерної матриці в межах 16...18%, що підтверджує доцільність використання цементу при готуванні пластбетонної суміші. Крім того, при проведенні мікроскопічних досліджень встановлено утворення упорядкованої просторової структури полімерцементного каменя, що характеризується зменшенням пористості. У процесі триваючої гідратації зерен цементу збільшується об'єм новоутворень, у зв'язку з чим поступово зменшується об'єм капілярно-пористого простору. Цей показник визначається пористістю полімерної матриці. Результати визначення пористості зразків модифікованої фуранової зв'язуючої речовини з різними наповнювачами методом ртутної порометрії представлені у табл. 2.1. Значення інтегральної пористості свідчать про зменшення об'єму пор при введенні в модифіковану полімерну зв'язуючу речовину ФАКФ цементу і мікронаповнювача, причому ефект наповнення вище при введенні в якості наповнювача шламу ГЗК.

Таблиця 2.1 - Структура пор наповненої полімерної матриці бетону

Вид полімерної матриці бетону	Питома пористість, см ³ /м	Розподіл пор за радіусами, %				Об'єм відкритих пор, %
		>10 ⁻⁶ м	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁶ м	10 ⁻⁸ - 10 ⁻⁷ м	< 10 ⁻⁸ м	
ФАКФ	0,032	5,8	8,1	69,4	19,7	7,71
ФАКФ+ППФ+Ц	0,026	5,3	10,4	20,4	63,9	5,34
ФАКФ+Ц+шлам ГЗК	0,025	5,1	9,8	17,7	67,4	5,23

Розподіл пор за розмірами показує, що наповнення фуранової зв'язуючої речовини приводить не тільки до зменшення загального об'єму пор, але також до зміни об'ємів пор визначених розмірів. У зразках на чистій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ значний об'єм макропор радіусами $10^{-6} \dots 10^{-5}$ м і перехідних пор радіусами $10^{-8} \dots 10^{-7}$ м, що теоретично проникні для води, тобто служать шляхами фільтрації. При наповненні полімерної зв'язуючої речовини ФАКФ цементом і ППФ максимум пористості приходить на пори радіуса $7 \cdot 10^{-8}$ м, а при наповненні зв'язуючої речовини цементом і шламом ГЗК - $2 \cdot 10^{-8}$ м. У віці 28 діб макропори заростають продуктами отвердження смоли і гідратних новоутворень клінкерних мінералів.

2.2 Оптимізація складу модифікованої полімерної матриці бетону

Як відомо, задані експлуатаційні властивості пластбетонів на основі терморективних фуранових смол забезпечуються при повному ступені полімеризації, близької до теоретичної. Численними дослідженнями встановлено [55-60], що ступінь полімеризації синтетичних смол поряд з видом і кількістю мінеральної складової і технологічних факторів залежить від кількості отверджувача. Аналіз досліджень по визначенню оптимальної кількості бензолсульфоїкислоти показав, що в більшості робіт кількість

отверджувача визначалася на різних складах і на малих зразках без урахування збільшення маси пластбетону в реальних конструкціях. Основним критерієм служили не повнота отвердження, а зміна міцності зразків у залежності від кількості бензолсульфо кислоти. Так, у роботі [61] відзначається, що для повного отвердження фуранових смол досить 15...20% отверджувача від маси мономера, а в роботі [62] наводяться дані про досягнення максимальної міцності пластбетоном на основі мономера ФА зі вмістом отверджувача 35% від маси смоли. Експериментально встановлено, що підвищений вміст отверджуючого реагенту викликає значний саморозігрів і швидке отвердження суміші, що іноді супроводжується самозайманням. Максимальна температура розігріву залежить не тільки від кількості отверджувача, але і від температури навколишнього середовища і масивності пластбетонної конструкції. Наприклад, при виготовленні лабораторних зразків температура саморозігріву знаходиться в межах 30...40° С, а при виготовленні масивних конструкцій досягає 100°С. Настільки високий розігрів пластбетону супроводжується температурним тріщиноутворенням і, як наслідок, порушенням монолітності конструкції.

З урахуванням приведених у літературі даних про оптимальну кількість отверджувача слід судити по зміні міцності і водостійкості пластбетону, а також по кількості екстрагуємих ацетоном речовин.

Процес отвердження ФАКФ у присутності бензолсульфо кислоти починається полімеризацією іонного характеру з проміжним утворенням карбоіона. Каталітична дія отверджувача виявляється в передачі протона H^+ .

Полімеризація відбувається за рахунок етиленових груп фуранового кільця, що підтверджується зменшенням інтенсивності смуг 810, 830, 930, 980, 1610 cm^{-1} . Зменшення інтенсивності смуги 1610 cm^{-1} і поява смуги 260 cm^{-1} відповідають зниженню концентрації сполучених карбонільних груп $-CH=CH-CO-CH=CH-$ і $-CH=CH-CO-$ і утворенню ефірної групи $-C-O-C-$, що сприяє розкриттю карбонільної групи з наступним утворенням простого ефіру. Зменшення інтенсивності смуги 1350 cm^{-1} і поява смуги поглинання

1720 cm^{-1} після отвердження відповідає зниженню концентрації метильних груп CH_3 і появи кетонів за рахунок реакції конденсації молекул монофурфуриліденацетона.

Для прогнозування властивостей пластбетону необхідно визначити терміни тужавіння комплексної полімерної зв'язуючої речовини і фактори, що впливають на них. Встановлено, що на терміни тужавіння полімерів впливають температура навколишнього середовища і кількість введеного в суміш отверджувача. Експериментальні результати визначення термінів тужавіння фуранових зв'язуючих речовин ФА і ФАКФ наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Терміни тужавіння фуранових зв'язуючих речовин

Вид зв'язуючої речовини	Температура повітря, °С	Терміни тужавіння, хв, при вмісті отверджувача, % від маси композиції		
		22 / 18	26 / 22	31 / 27
ФА	20	118	94	68
	30	64	52	36
	35	38	33	24
ФАКФ (ФА 80%, кисла смолка 10%, фуриловий спирт 10%)	20	116	94	69
	30	67	49	46
	35	39	37	29

Примітка. У чисельнику – вміст отверджувача в суміші з ФА, у знаменнику – те ж, у суміші з ФАКФ.

Для визначення оптимальної кількості отверджувача проведені дослідження міцності зразків ненаповнених фуранових зв'язуючих речовин, що тверднули в різних умовах (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 - Міцнісні характеристики фуранових композицій нормального тверднення

Вид полімеру	Міцність, МПа, з кількістю бензолсульфокислоти, % від маси полімеру							
	при стиску				при згині			
	18	22	24	27	18	22	24	27
ФА	77,2	66,4	61,8	56,2	18,2	21,1	17,4	15,7
ФАКС	78,6	83,5	76,2	72,2	21,4	19,3	16,8	15,9
ФАКФ	83,4	89,2	83,8	74,2	29,4	32,6	26,2	21,7

Для підтвердження правильності вибору оптимальної кількості отверджувача проведені дослідження ударної в'язкості отверджених фуранових зв'язуючих речовин на мономері ФА і модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ, наповнених шламом ГЗК і меленим цегельним боєм. Досліди проводилися на зразках розміром 15x15x120 мм із прорізом посередині глибиною 2 мм із використанням маятникового копра МК-6. Результати досліджень питомої ударної в'язкості полімерних сполучних приведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Дослідні значення питомої ударної в'язкості наповнених фуранових зв'язуючих речовин

Зв'язуюча речовина	Наповнювач	Вміст бензолсульфокислоти, %	Питома ударна в'язкість, Дж/м ² , у віці, діб			
			14	28	180	360
ФА	бій цегли мелений	22	1730	1010	1970	2240
		27	2310	2820	1985	2380
	шлам ГЗК	22	1880	1030	1020	2880
		27	2350	2920	1760	2440
ФАКФ	бій цегли мелений	22	2680	2710	2880	3150
		27	2860	2950	3130	3230
	шлам ГЗК	22	2730	2850	2940	3200
		27	2930	3010	3150	3310

З аналізу даних табл. 2.4 випливає, що питома ударна в'язкість полімерної зв'язуючої речовини підвищується зі збільшенням вмісту отверджувача бензолсульфо кислоти до визначеної межі. Встановлено, що збільшення вмісту бензолсульфо кислоти понад 30% знижує питому ударну в'язкість, тому що в цьому випадку отверджувач є пластифікатором. Значний вплив на питому ударну в'язкість робить вид наповнювача.

Так, при введенні до складу полімерної зв'язуючої речовини шламу ГЗК значення питомої ударної в'язкості зростають на 11...16% у залежності від кількості отверджувача. Крім того, питома ударна в'язкість на модифікованій зв'язуючій речовині ФАКФ вище на 27...34% у порівнянні зі зв'язуючою речовиною на мономері ФА.

Таким чином, при дослідженні впливу бензолсульфо кислоти на властивості зв'язуючої речовини встановлено, що оптимальна кількість отверджувача для ФА знаходиться в межах 22...24% від маси мономера, а в сумішах з ФАКФ – 18...20%. На основі результатів проведених дослідів встановлена ефективність модифікованої зв'язуючої речовини ФАКФ як у ненаповнених, так і в наповнених композиціях у порівнянні з мономером ФА, що полягає в можливості зниження витрати отверджуючого компонента, а також у підвищенні технологічних і фізико-механічних характеристик полімерної зв'язуючої речовини.

При визначенні ступеня отвердження полімерної зв'язуючої речовини, котрий визначався по кількості екстрагуємих ацетоном речовин в апараті Соколетта, встановлено, що оптимальний ступінь отвердження фуранових зв'язуючих речовин характерний для складів, наповнених шламом ГЗК, зі вмістом бензолсульфо кислоти в межах 20% (рис. 2.4). Максимальний ступінь отвердження фуранової зв'язуючої речовини ФАКФ складає 95...97%.

Модифікування поверхні мінеральної складової повинно вироблятися таким чином, щоб між фурановою смолою і поверхнею цементу і мікронаповнювача виникли сили взаємодії, здатні розгорнути полімерний

ланцюжок на границі розділу фаз. Це найбільше раціонально досягається введенням до складу зв'язуючої речовини ПАР [63, 64].

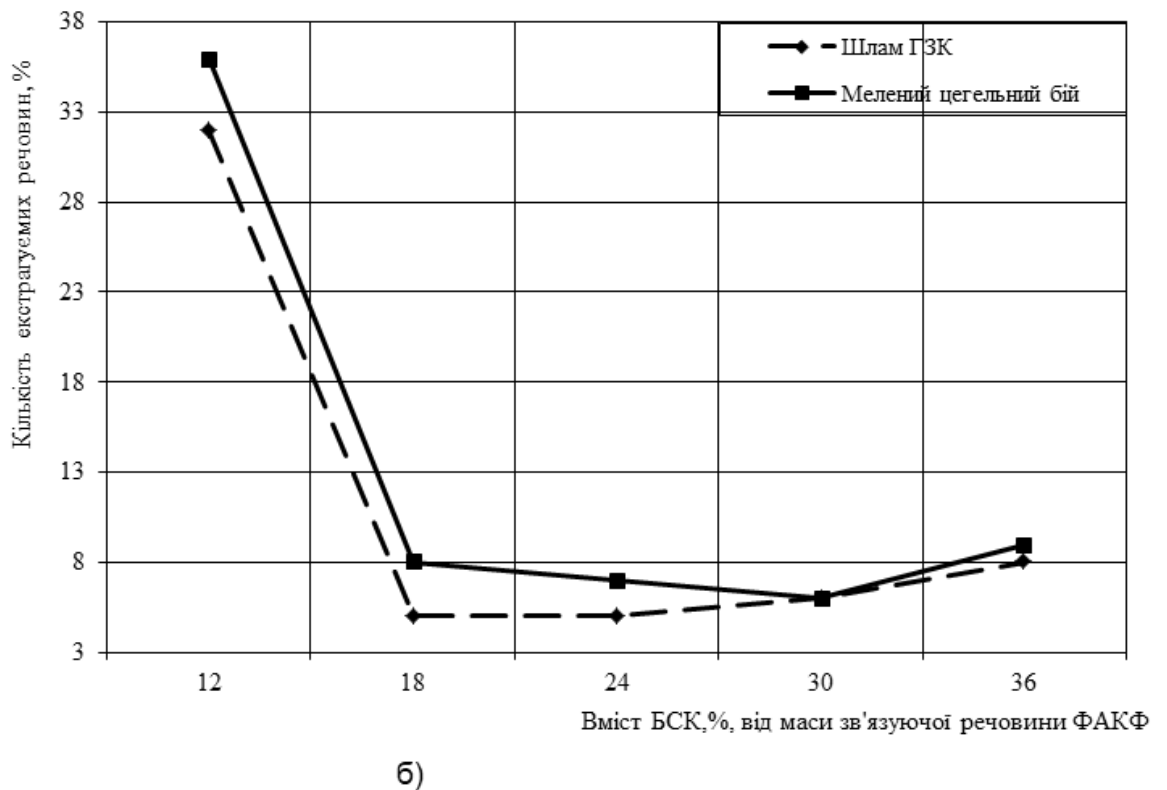
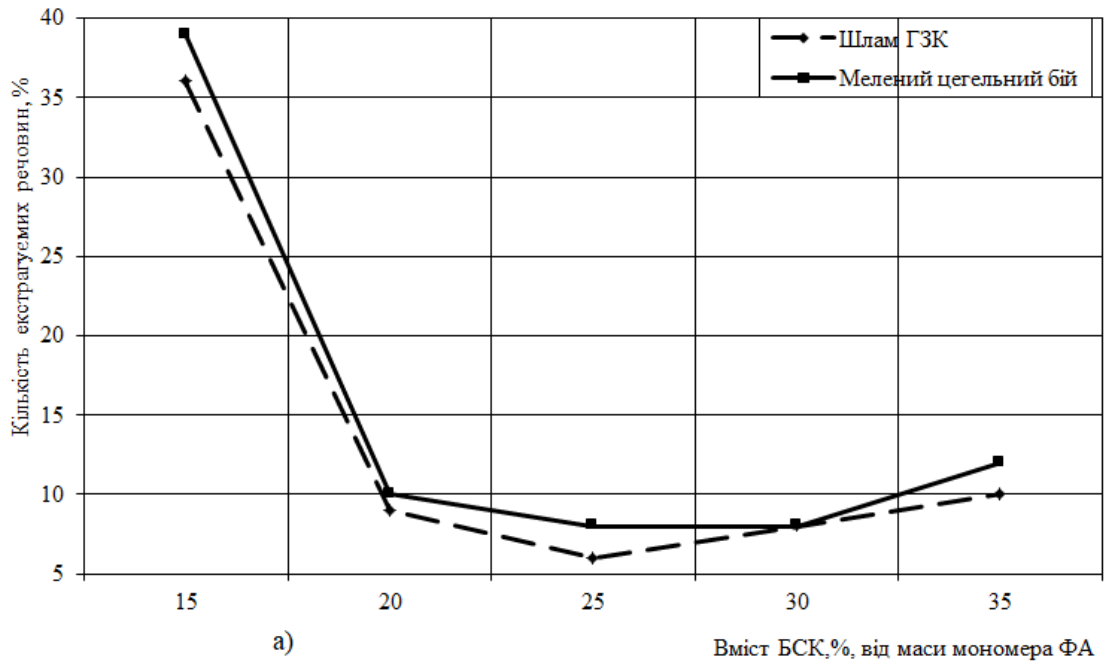


Рисунок 2.4 - Ступінь отвердження мономера ФА (а) і комплексної зв'язуючої речовини ФАКФ (б) при різному вмісті бензолсульфо кислоти

Вплив ПАР на змочування гладких поверхонь низькомолекулярними рідинами показано в роботах [65...68]. Змочування порошків модифікованими низькомолекулярними рідинами (модифікованої ПАР фурановою смолою) вивчено недостатньо [69...73]. У роботі [74] показано, що для повного змочування поверхні мінеральних часток поверхневий натяг полімеру повинен бути менше критичного поверхневого натягу твердого тіла, що змочується.

Поверхнево-активні речовини дозволяють різко змінити природу дотичних поверхонь і умови взаємодії між ними, зокрема, підвищити зчеплення полімеру з мінеральною складовою. При готуванні пластбетонної суміші таке підвищення зчеплення досягається гідрофобізацією поверхні мінеральної складової зв'язуючої речовини в результаті адсорбції ПАР з утворенням орієнтованого шару молекул ПАР вуглеводневими ланцюгами в органічне середовище.

У дослідженнях у якості ПАР використаний катіонактивний оксид алкілдіметиламіна (ОАДМА, формула $R[CH_3]_2^+NO_2^-$, де R – залишок, що містить $C_{10}-C_{18}$), аніонактивна суміш натрієвих солей сульфоефірів вторинних спиртів (СНС, формула $C_nH_{2n}-CH(OSO_3Na)R$, де $n=6...16$, $R=CH_3$), а також ал-кілдіметилбензиламонійхлорид (АДМАХ), формула $R(CH_3)_2[NCH_2C_6H_5]^+Cl^-$, де R – залишок, що містить $C_{12}-C_{18}$.

Поверхневий натяг полімерної зв'язуючої речовини ФАКФ із добавками ПАР визначався методами найбільшого тиску бульбашків, рахунку крапель і відриву кільця, причому результати дослідів, проведених різними методами, близько корелювали (табл. 2.5). При визначенні впливу різних добавок на поверхневий натяг мономера ФА встановлено, що зниження показника в присутності ПАР менш ефективно (рис. 2.5). З огляду на відносно стабільну дію пластифікатора ОАДМА на величину поверхневого натягу фуранової композиції, він і обраний для практичного застосування.

Таблиця 2.5 - Поверхневий натяг модифікованої ПАР полімерної зв'язуючої речовини ФАКФ (вміст ПАР 1%, температура середовища 20°C)

Найменування ПАР	Поверхневий натяг, 10^{-6} Н/м	
	на приладі Ребіндера	методом підрахунку крапель
-	42,4	41,3
СНС	36,1	36,6
ОАДМА	34,8	34,1
АДМАХ	35,4	34,7

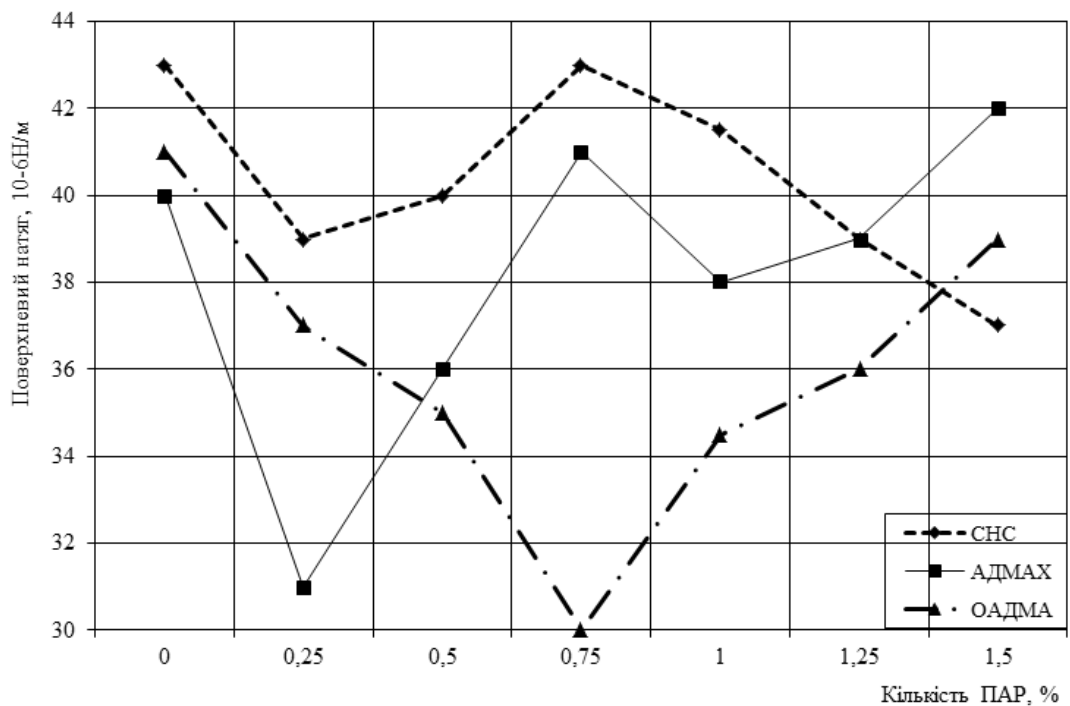


Рисунок 2.5 - Залежність поверхневого натягу мономера ФА від кількості ПАР

РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

3.1 Дослідження корозійної стійкості арматури в пластбетоні на моди-фікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ

Як відомо, сталева арматура в цементному бетоні не кородує протягом тривалого часу. Відсутність корозії сталі в цементних бетонах порозумівається її пасивністю в лужному середовищі таких бетонів, тобто нездатністю протікання анодної реакції іонізації металу [77]. Численні дослідження показують, що pH водної витяжки зі свіжоукладеного бетону знаходиться в межах 12...13. У такому розчині відбувається практично повна пасивація сталевих арматур [78, 79]. Пластбетон на фуранових смолах, отверджених кислотними отверджувачами, відрізняється іншим механізмом захисної дії на арматуру. Визначені на водних витяжках розчинної частини пластбетону значення концентрації водневих іонів показують, що пластбетон на поліефірних смолах характеризується pH , рівним 9...10, а пластбетон на фуранових смолах має $pH = 5...6$. У такому середовищі очевидна корозія арматури [80].

Корозія металів, окремим випадком якої є корозія сталевих арматур в пластбетоні, представляє хімічний процес. Найбільш поширена електрохімічна корозія, що може відбуватися в умовах контакту з електролітом [81].

Для армопластбетонів, призначених для експлуатації в повітряно-сухих умовах, кислий характер середовища пластбетону не робить істотного впливу на стан арматурної сталі, тому що відсутність вологи, а, отже, відсутність електролітичного зв'язку між металом і середовищем унеможливорює протікання електрохімічних процесів корозії арматури.

Пластбетони на основі терморективних смол є діелектриками, що

володіють високим електричним опором порядку 10^{10} Ом [82]. Однак під дією рідких середовищ електричний опір знижується до сотень і навіть десятків Ом. Пластбетони в цих умовах стають, як і цементні бетони, провідниками другого роду, тому процеси корозії сталевих арматур в них можна розглядати з позицій електрохімічної теорії корозії металів в електролітах. Відповідно до цієї теорії, при саморозчиненні металів в електроліті відбуваються дві електрохімічні реакції.

Перша – іонізація металу, що полягає в переході гідратованих іонів металу з кристалічних ґрат у розчин (анодний процес) і, що приводить до нагромадження надлишкових негативних зарядів на поверхні металу і до зрушення потенціалу електрода в негативну сторону, тобто до поляризації електрода:



Друга реакція відбувається на поверхні електрода і йде з поглинанням надлишкових електронів яким-небудь деполіаризатором (катодний процес):



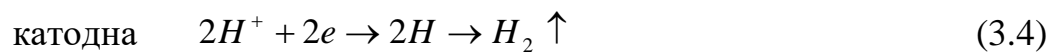
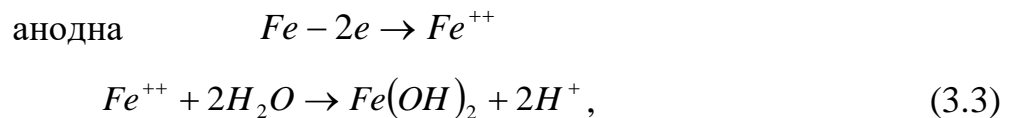
Деполіаризатором може бути будь-яка речовина або іони, рівноважний потенціал яких на даному металі шляхетніше потенціалу самого металу. Загальний потенціал електрода в стані процесу корозії є стаціонарним. Таке трактування корозії має назву «гомогенного механізму» [83].

При гомогенно-електрохімічному механізмі корозії вважається, що анодний і катодний процеси не зв'язані з визначеними ділянками поверхні, і передбачається можливість протікання катодного й анодного процесів на тій самій ділянці поверхні металу. Корозія в цьому випадку являє собою роботу корозійних локальних мікроелементів, що утворюються на металі внаслідок

неоднорідності поверхні металу.

У даний час доведено, що гомогенний і гетерогенний механізми не виключають, а взаємно доповнюють один одного [84]. Корозія арматури в залізобетоні розглядається з позицій гетерогенно-електрохімічного механізму [85, 86], що зв'язано з неоднорідною, капілярно-пористою структурою бетону, що сприяє утворенню мікро- і макропор на поверхні арматури. Пластбетон на фуранових зв'язуючих речовинах значно щільніше й однорідніше цементного бетону, однорідна і поверхня контакту пластбетон – арматура. Тому початкова корозія може розглядатися на базі гомогенного механізму. Після утворення на поверхні арматури продуктів корозії роль гетерогенного механізму зростає, і основний матеріальний ефект корозії визначається роботою локальних елементів [87, 88].

По мірі насичення пластбетонного шару електролітом і нагромадження вологи в поверхні арматури починається корозія сталі. Корозія протікає з розвитком водневої деполяризації у відповідності зі стаціонарним потенціалом системи з наступними реакціями:

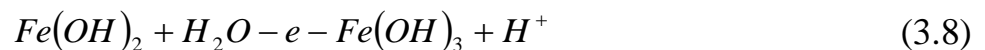


У таких механізмах на корозію затрачується тільки волога. Агресивні іони, що входять до складу вологи, яка дифундує до арматури, у реакціях не приймають участі. Таким чином, нестаціонарний процес полягає в тому, що в міру дифузії агресивної рідини до електрода підвищується концентрація агресивної речовини, що викликає збільшення електропровідності середовища. Корозія арматури буде розвиватися і за рахунок виникнення гетерогенного локального механізму корозії. Локальний механізм, створений

наявністю включень у виді поверхневих оксидів, може також йти з водневою деполяризацією. Киснева деполяризація неможлива в середовищі пластбетону доти, поки не з'являться тріщини в захисному шарі, через які атмосферний кисень проникає до арматури. Утворення оксидів може супроводжуватися екзотермічними реакціями:



Поряд з реакціями анодного процесу корозії можуть спостерігатися також реакції взаємодії іонів заліза з агресивною рідиною з утворенням нерозчинних сполук, що випадають у виді осаду:



Утворення стабільних поверхневих оксидів приводить до настання стаціонарного стану корозії. Розвиток дифузії в часі йде, мабуть, у бік збільшення за рахунок зростання пористості внаслідок виділення водню, збільшення гідрофільності і стабілізації шляхів дифузії. Крім того, процес формування поверхневих оксидів супроводжується виділенням води. Реакції анодного і катодного процесів корозії перестають бути залежними від величини дифузійної вологи і визначаються тільки стаціонарним потенціалом.

У ряді робіт [89...90] показано, що наявність адгезійного зв'язку

покриття з металом істотно сповільнює розвиток корозійних процесів у початковий період. При цьому час уповільнення корозії адгезійним шаром залежить від виду полімеру і корозійної активності зовнішнього середовища.

При дослідженні корозії арматури в пластбетоні [94] з адгезійним шаром і при відсутності його встановлено, що час початку корозії в першому випадку настає на 25...30 діб пізніше. Таким чином, у загальному випадку час початку корозії арматури в пластбетоні залежить від часу проникнення рідини через захисний шар і від ступеня адгезії пластбетону до арматури.

Стан витягнутих із пластбетонних зразків стрижнів оцінювалося за наступними показниками: по площі поширення корозії у відсотках до площі стрижня; по втраті маси на корозію зважуванням стрижнів на аналітичних вагах з точністю до 0,0001 г; по глибині проникання корозії, що визначається на мікроскопі МИС-11; по швидкості корозії ($\text{г/м}^2 \cdot \text{год}$) за формулою

$$V = \frac{M}{F \cdot \tau}, \quad (3.10)$$

де M – втрата маси зразка арматури, г;

F – площа поверхні стрижня, м^2 ;

τ – час випробовування, год;

також визначався глибинний показник швидкості корозії, мм/рік:

$$П = \frac{8,76V}{\rho}, \quad (3.11)$$

де ρ – щільність металу, г/см^3 .

Результати досліджень корозійної стійкості арматури в пластбетоні на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Корозія сталевій арматури в пластбетоні на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ

Пластбетон на заповнювачі	Агресивне середовище	Товщина захисного шару, мм	Показники корозії				
			площа корозії, %	втрата маси, г/м ²	швидкість корозії, г/м ² ·год·10 ⁻⁴	проникність, мм/рік	глибина корозії, мкм
На гранітному щебені	Вода	15	40-45	16,4	18,1	0,0009	471
		20	35-39	9,8	7,6	0,0005	293
	5% розчин НСІ	15	70-75	20,0	30,0	0,0011	853
		20	58-65	14,8	13,7	0,0008	762
На цегляному бої	Вода	15	70-80	26,2	34,0	0,0015	569
		20	60-65	15,7	17,9	0,0008	481

Ступінь корозійного ураження сталевих стрижнів у пластбетоні при одній і тій же товщині захисного шару залежить від виду агресивного середовища. На рис. 3.1 показана кінетика корозії арматурних стрижнів у пластбетоні на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ і гранітному щебені при товщині захисного шару 7 мм. Для випробовувань використані гарячі розчини соляної кислоти 5-, 20- і 30-процентної концентрації з температурою 60°C. При випробовуваннях пластбетону, армованого сталеву арматурою, у повітряно-сухих умовах корозії арматури не виявлено. Незначні корозійні ураження арматурних стрижнів у виді дрібних плям тонкої іржі (0,2...0,5 г/м²), що з'явилися під час виготовлення й отвердження пластбетонних зразків за рахунок агресивного впливу отверджувача на арматурну сталь, з часом не збільшилися, тому що відсутність рідкої фази в отвердженому пластбетоні унеможливило протікання електрохімічних процесів корозії арматури.

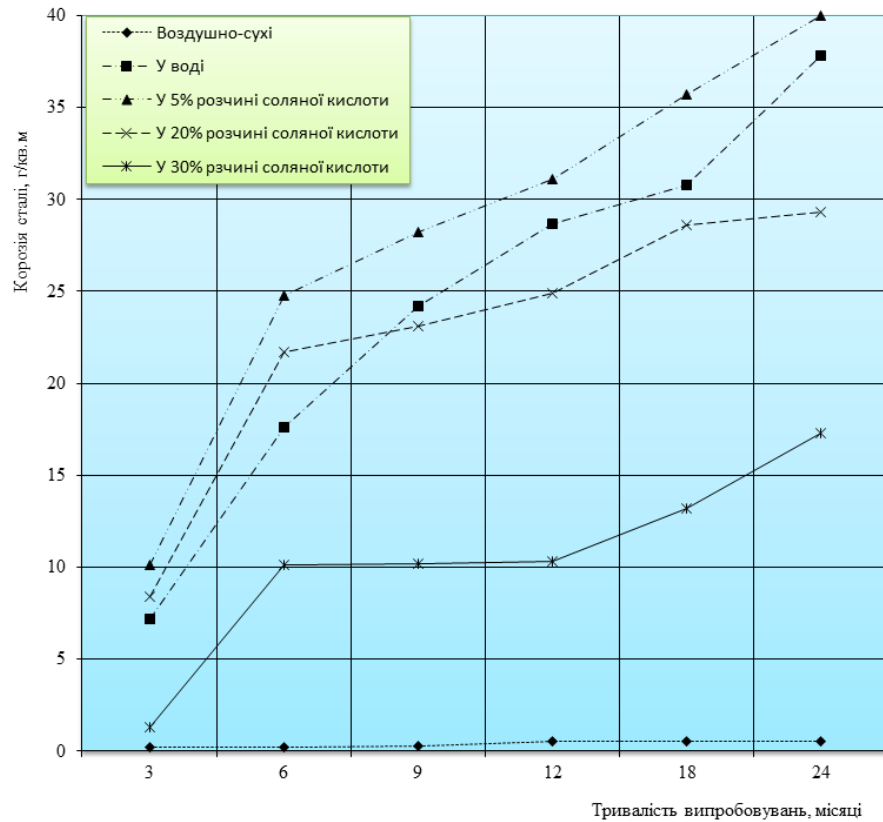


Рисунок 3.1 - Кінетика корозії сталевих стрижнів у пластбетоні на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ при товщині захисного шару 7 мм при витримуванні зразків у різних агресивних середовищах

У період від двох до чотирьох місяців спостерігається корозійна поразка сталевих стрижнів при витримуванні пластбетонних зразків у 5% і 20% розчині соляної кислоти. При цьому втрати маси стрижнів вище, ніж при витримуванні зразків у воді. При витримуванні зразків у 30% розчині соляної кислоти корозійне ураження стрижнів спостерігається після закінчення шести місяців випробувань, однак втрати маси стрижнів невеликі і складають 8...10 г/м² до річного терміну випробувань.

На рис. 3.2 представлені результати досліджень кінетики корозії арматурних стрижнів у пластбетоні на гранітному щебені з захисним шаром 15 мм. Аналіз отриманих даних показує, що зі збільшенням товщини захисного шару пластбетону час початку корозійних уражень арматурної сталі збільшується. При визначеній товщині захисного шару корозія

арматури практично не спостерігалася як у холодної, так і в гарячій соляній кислоті, що зв'язано з відсутністю електроліту на поверхні арматури. У зразках з більшою товщиною захисного шару пластбетону, крім того, спостерігається поліпшення стану самого пластбетону. Корозійні руйнування у виді мікротріщин, виколів ребер і т.п., що спостерігалися при випробовуваннях зразків з товщиною захисного шару пластбетону 7 мм внаслідок розклинцювального тиску продуктів корозії сталі, були відсутні в зразках з товщиною захисного шару 15 і 20 мм навіть при випробовуваннях у гарячій соляній кислоті. При випробовуванні зразків пластбетону на гранітному щебені біля двох років у 30% розчині соляної кислоти при товщині захисного шару 15 і 20 мм ознак корозії арматурних стрижнів не виявлено, що є наслідком незначної величини швидкості дифузії концентрованих кислот, а, отже, відсутністю електроліту на поверхні сталевих стрижнів.

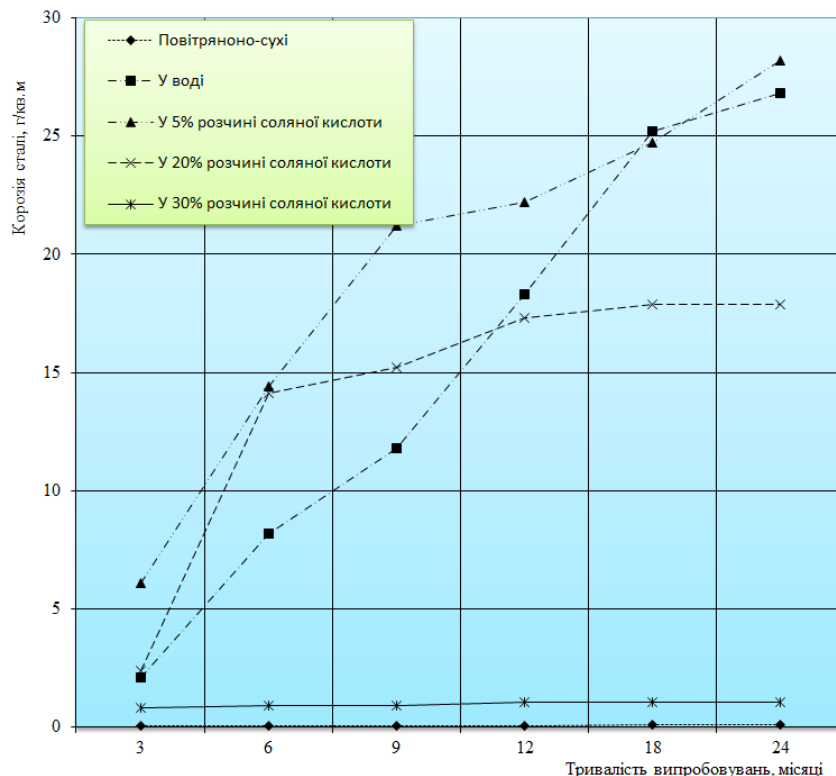
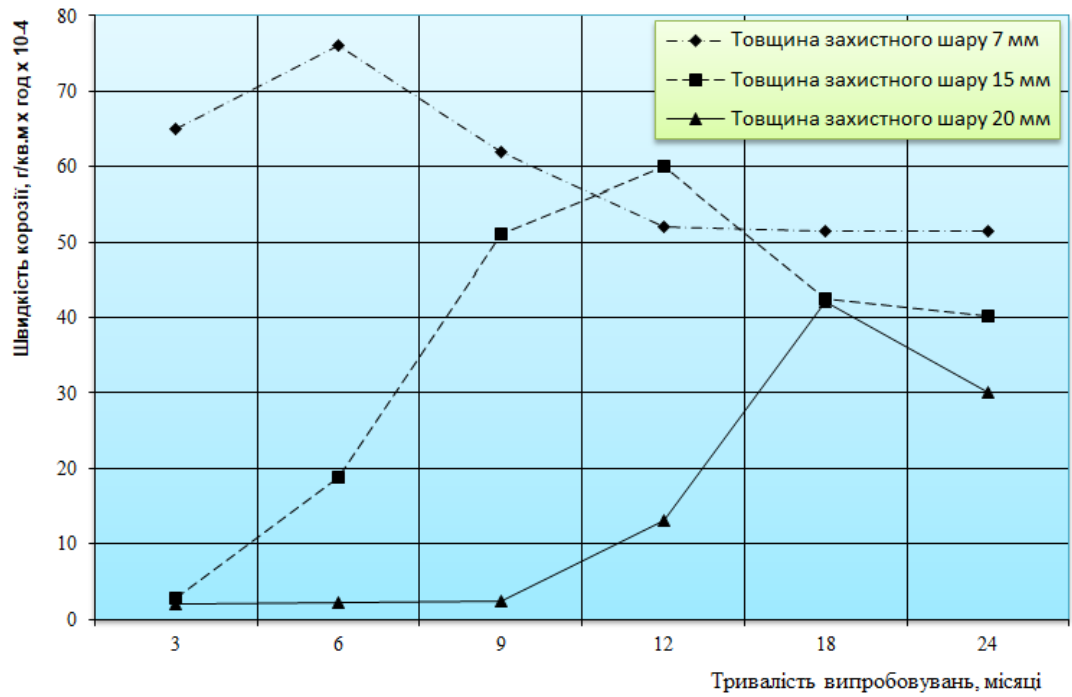


Рисунок 3.2 - Кінетика корозії сталевих стрижнів у пластбетоні на модифіцированій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ при товщині захисного шару 15 мм при витриманні зразків у різних агресивних середовищах

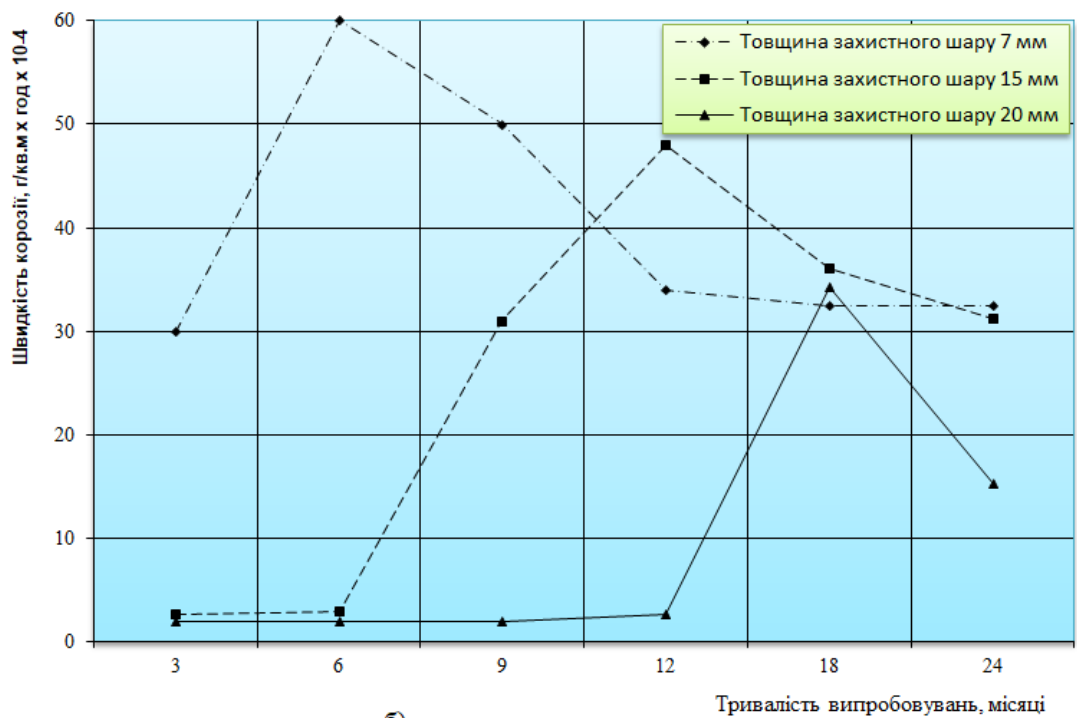
На рис. 3.3 представлені криві, що характеризують залежність швидкості корозії арматури з захисним шаром пластбетону 7, 15 і 20 мм від тривалості випробовувань у 5% розчині соляної кислоти. З аналізу результатів досліджень слід, що корозія арматури починається через якийсь час після початку контактування пластбетону з агресивним середовищем, значення якого залежить від швидкості дифузії агресивної рідини в товщу захисного шару пластбетону. Після дифузійного проникнення агресивного середовища і нагромадження його на границі метал – пластбетон починається активне наростання швидкості корозії арматурної сталі, тобто має місце нестационарний процес. По мірі утворення на поверхні арматури щільних плівок, що складаються з продуктів корозії, і екранування ними поверхні металу швидкість корозії знижується і при тривалих випробовуваннях стабілізується, у цьому випадку спостерігається стаціонарний процес. У подальшому збільшення швидкості корозії арматури відбувається тільки після появи тріщин у захисному шарі пластбетону внаслідок набрякання при прониканні води і від розклинцювальної дії продуктів корозії сталі.

При однакових товщині захисного шару пластбетону, умовах отвердження й агресивного впливу середовищ величина швидкості корозії арматури в бетоні на гранітному щебені в середньому на 46% менше, ніж у бетоні на щебені з бою цегли, що пояснюється меншою дифузійною проникністю пластбетону на гранітному щебені.

Таким чином, при проведенні досліджень отримані експериментальні дані по швидкості корозії сталевих арматур в пластбетоні на гранітному щебені і щебені з цегельного бою, що дає можливість прогнозування термінів служби армопластбетонних конструкцій, призначених для відновлення споруд. Такі конструкції з погляду економічної доцільності повинні застосовуватися як спеціальний захист при експлуатації в сильно агресивних середовищах. Для пластбетонних армованих конструкцій визначені критерії визначення терміну служби, відмінні від залізобетонних конструкцій.



а)



б)

Рисунок 3.3 - Швидкість корозії сталевих стрижнів при випробовуванні зразків пластбетону на модифікованій зв'язуючій речовині ФАКФ у 5% розчині сірчаної кислоти: а - заповнювач цегельний бій; б - заповнювач гранітний щебінь

Враховуючи, що експлуатація пластбетонних конструкцій у сильно агресивних кислих середовищах навіть протягом 5 років дає визначений

економічний ефект, стає очевидним, що при прогнозуванні їхнього терміну служби слід виходити з умови допущення корозії арматури в межах, які не визивають зниження несучої здатності конструкції. При цьому величина корозії арматури не повинна приводити до ушкодження захисного шару пластбетону, а також зменшувати міцність арматури.

А.М. Підвальним [95] встановлено, що опір захисного шару бетону залежить від відношення його товщини до радіуса арматури. При бетон може довгостроково опиратися тиску продуктів корозії, сприяючи утворенню щільної оксидної плівки на арматурі. У пластбетону на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ міцність на розтяг при згині і граничній розтяжності значно вище, ніж у цементних бетонів, тому схоронність захисного шару при співвідношеннях цілком забезпечена, що повинно враховуватися при призначенні товщини захисного шару пластбетону. По конструктивних і технологічних розуміннях товщина захисного шару пластбетону не повинна бути менш 15...20 мм.

Для зниження корозії арматури до складу пластбетону вводили інгібітори КМА, ТПО і ДКХ-1. Звичайно при введенні інгібітору спостерігається не тільки зниження швидкості розчинення металу, але і зсув електродного потенціалу, зміна хімічних і фізичних властивостей поверхні, механічних характеристик металу. Це відбувається в результаті адсорбції інгібітору на поверхні кородуючого металу [96].

Результати досліджень показали, що збільшення кількості інгібітору більш 0,5 відсотка від маси зв'язуючої речовини знижує міцнісні властивості пластбетону і не знижує швидкості корозійного процесу. Рациональна кількість інгібіторів знаходиться в межах 0,4% для КМА, 0,3% для ТПО і 0,1...0,3% для ДКХ-1.

Для оцінки дії інгібіторів використано спосіб втрати маси металу в одиницю часу з одиниці поверхні. Ефективність захисту оцінювалася інгібіторним ефектом і ступенем захисту. Інгібіторний ефект показує, наскільки інгібітор сповільнює процес корозії:

$$\phi = \frac{V_0}{V}, \quad (3.12)$$

де V_0 і V – швидкість корозії в присутності інгібітору і без нього, відповідно.

Ступінь захисту арматури характеризує повноту сповільнення корозії:

$$z = \frac{V_0 - V}{V_0} \cdot 100\%, \quad (3.13)$$

$$z \left(1 - \frac{1}{\phi} \right) \cdot 100\% \quad (3.14)$$

За результатами досліджень кращий ефект у захисті арматурної сталі в пластбетоні на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ належить інгібіторам ДКХ-1 і КМА.

3.2 Морозостійкість пластбетону на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ

Сучасні уявлення про причини і механізм руйнування бетону під впливом вологи і морозу зводяться до наступного. Бетон розглядається як капілярно-пористе тіло, структура якого визначається як його компонентами, так і техно-логічними параметрами – умовами готування, укладання, ущільнення, тверднення і збереження. Розподіл вологи і її загальна кількість у бетоні залежить як від характеру його структури, так і від умов зовнішнього середовища.

При впливі негативної температури на капілярно-пористий матеріал, що містить вологу, у ньому виникають власні температурні деформації, на які на-кладаються деформації льоду, що утворюється з замерзлої в порах води. Величина і знак результуючої деформації, що визначають стан системи, є змінними величинами і залежать від умов зовнішнього середовища і характеру структури бетону.

Пластбетон, як і будь-який інший штучний конгломерат, не може бути аб-солютно щільним. Джерелами пороутворення служать повітрозалучення при перемішуванні пластбетонної суміші, контракція смоли при її отвердженні, ви-нос з тіла пластбетону отверджувачів, що не прореагували, і розчинників, структурні і внутрішньомолекулярні пустоти [97, 98]. За даними НДІЗБ, кількість пор у пластбетоні може досягати 10%, але при щільному упакуванні і правильно призначеному складі суміші заповнювачів кількість пор знижується до 3...6%. Пори, як правило, мають замкнуту структуру, і пластбетон стає практично непроникним при тиску 1,5...2 МПа. Водопоглинення пластбетону на фуранових смолах, що певною мірою характеризує відкриту пористість, незначне і складає 0,25...0,5%. Однак, на відміну від цементних бетонів і інших пористих тіл, для пластбетонів характерна дифузійна проникність [99].

Як основний критерій оцінки морозостійкості пластбетону прийнято вва-жати зниження міцності. Цей показник є прямою характеристикою ступеня руйнування пластбетону при багаторазовому заморожуванні і відтаванні.

Міцнісні характеристики пластбетону після циклічного заморожування і відтавання, а також характеристики контрольних зразків, витриманих у воді й у повітряно-сухих умовах, наведені у табл. 3.2 і на рис. 3.4.

Таблиця 3.2 - Міцнісні характеристики пластбетону на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ при заморожуванні – відтаванні

Вид заповнювача	Кількість циклів	Міцність при стиску, МПа			K _{мрз}	K _{водост}
		після заморожування-відтавання	при витримуванні у воді	при витримуванні на повітрі		
Гранітний щебінь	50	82,0	77,7	85,4	0,96	0,91
	100	82,1	75,9	87,3	0,94	0,87
	150	77,2	72,0	86,7	0,89	0,83
	200	72,2	70,4	85,9	0,84	0,82
	300	69,9	66,5	85,2	0,82	0,78
Цегляний бій	50	58,2	56,3	64,7	0,90	0,87
	100	56,7	52,4	65,9	0,86	0,795
	150	53,8	50,5	66,4	0,81	0,76
	300	46,7	44,8	64,9	0,72	0,69

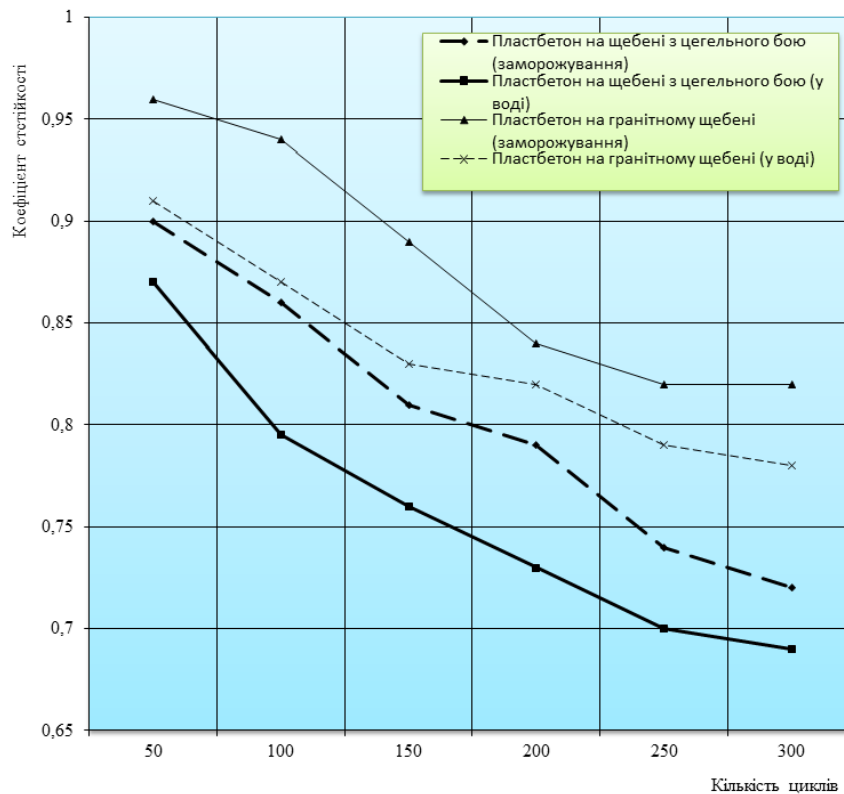


Рисунок 3.4 - Зміна міцності при стиску пластбетонних зразків на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ при циклічному заморожуванні - відтаванні і у воді

Дослідженнями встановлено, що міцність пластбетону, підданого позмінному заморожуванню і відтаванню, після 150 циклів знижується на 9...13%. При збільшенні кількості циклів випробовувань до 300 границя міцності при стиску пластбетонних зразків знижується незначно – на 4...5%. При цьому встановлено, що міцнісні характеристики зразків, підданих заморожуванню, вище характеристик зразків пластбетону, витриманих у воді. Це можна пояснити тим, що завдяки порівняно невеликому водопоглинанню пластбетону (0,5...1%), високої міцності на розтяг при згині і граничній розтяжності в порівнянні з цементними бетонами, напруги, що виникають при заморожуванні води в тонких капілярах пластбетону, не викликають мікроруйнувань. Зниження міцнісних і деформативних характеристик пластбетону в процесі заморожування і відтавання в межах досліджених 300 циклів викликано, мабуть, виникненням напруженого стану при заморожуванні і релаксації у воді.

Більш висока міцність пластбетону при циклічному заморожуванні – відтаванні у порівнянні з міцністю пластбетону, витриманому у воді, при рівній тривалості випробовувань обумовлена, очевидно, уповільненою швидкістю дифузії води в пластбетон при заморожуванні.

3.3 Технологія пластбетонів на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ

Особливістю технології пластбетону є можливість використання існуючого устаткування і засобів механізації, застосовуваних у технології цементних бетонів і залізобетону [100]. Однак такий підхід до технології пластбетону на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ, призначеного для ремонту і відновлення конструкцій і споруд спеціального призначення, слід вважати прийнятним лише при проведенні невеликих об'ємів ремонтних робіт, тому що при цьому економічно не виправдане створення спеціальних змішувальних установок, пневмоапаратів і іншого

устаткування для нанесення пластбетону на різні основи. Але при необхідності відновлення несучої здатності масивних конструкцій і споруд з одночасним підвищенням довговічності матеріалу в умовах дії агресивних середовищ досить актуальною задачею стає наукова розробка технології пластбетонів і створення спеціального технологічного устаткування.

Відмінності в технології пластбетонів на термореактивних смолах від тех-нології цементних бетонів полягають у наступному.

1. Фізико-механічні й експлуатаційні властивості пластбетонів у великій мері залежать від виду і кількості зв'язуючої речовини й отверджувачів, виду, хімічної природи і якості мінеральних наповнювачів і заповнювачів. Тому пред'являються підвищені вимоги до складу і якості вихідних матеріалів, точності їхнього дозування і дотримання технологічного режиму готування пластбетонної суміші. Мінеральні заповнювачі і мікронаповнювачі не повинні містити шкідливих органічних або мінеральних домішок. Найбільш щільні суміші заповнювачів, що забезпечують найменшу витрату полімерної зв'язуючої речовини, підбирають за принципом переривчастої гранулометрії, тому заповнювачі необхідно ретельно фракціонувати і дозувати.

2. Для готування пластбетонів необхідно застосовувати сухі мінеральні заповнювачі (пісок, щебінь) і мікронаповнювачі, тому що застосування матеріалів з вологістю більш 0,5% значно знижує міцність пластбетонів на термореактивних смолах. Тому з'являється додаткова і трудомістка технологічна операція – сушіння заповнювачів.

3. Пластбетонні суміші на фуранових смолах характеризуються більш ви-сокою в'язкістю у порівнянні з цементобетонними сумішами, тому для їхнього готування застосовуються лопатеві змішувачі примусової дії або спеціальні змішувачі. Внаслідок порівняно високої в'язкості фуранових смол і необхідності одержання однорідної суміші з рівномірним розподілом у ній мінерального наповнювача і полімерної зв'язуючої речовини потрібна більша тривалість перемішування суміші, що також відрізняє технологію

пластбетону від технології цементних бетонів. Загальний цикл перемішування в змішувачі примусової дії складає 10...15 хв.

4. Полімерні зв'язуючі речовини характеризуються великим ступенем липкості, тому необхідно приймати спеціальні міри для запобігання прилипання смоли і пластбетонної суміші до стінок і лопат змішувального барабана і періодично їх очищати. Традиційно очищення здійснюється періодичним змочуванням внутрішньої поверхні змішувального барабана і лопат кремнійорганічною рідиною з метою виключення прилипання пластбетонної суміші. Для очищення бетонозмішувача від залишків попереднього замісу рекомендується спочатку завантажувати в нього щебінь і обертати протягом 3...4 хв, а потім робити завантаження інших компонентів суміші.

5. Фурфурол-ацетоновий мономер ФА, що є компонентом полімерної зв'язуючої речовини ФАКФ, викликає при вдиханні роздратування слизуватих оболонок. Тому при роботі зі смолами й отверджувачами, при виконанні всіх технологічних операцій по готуванню пластбетонних сумішей необхідно строго дотримувати правила техніки безпеки і протипожежний захист. Також потрібно дотримувати правила транспортування і збереження фуранових смол і отверджувачів. Фуранові смоли перевозять з хімічних підприємств і зберігають на складах у закритих оцинкованих бочках або алюмінієвих бідонах. Фуранові смоли можуть зберігатися в закритій тарі при температурі 10...30°C тривалий час без зміни властивостей.

З аналізу технологічних особливостей готування пластбетонних сумішей слід, що цей процес є хімічним процесом, що вимагає точного дозування компонентів, строгої черговості завантаження компонентів у змішувальну установку і дотримання технологічного режиму готування суміші, безперервного контролю якості вихідних матеріалів і готової суміші, строгого виконання правил техніки безпеки і високої культури праці.

Процес готування пластбетонної суміші складається із сушіння і

дозування фракціонованих заповнювачів, готування полімерної зв'язуючої речовини, дозування мінерального наповнювача і полімерної зв'язуючої речовини і ретельного перемішування всіх компонентів у змішувальній установці. Звичайно сушіння щебеню і піску при їхній вологості більш 0,5% здійснюється гарячим повітрям у сушильних установках. Однак у більшості випадків специфіка ремонту і відновлення конструкцій і споруд така, що утрудняється можливість установки енергоємних сушильних апаратів. Тому з метою зв'язування вологи, що утримується в заповнювачах, у суміш заповнювачів вводиться цемент як водовбирна речовина, причому цемент зв'язує також воду, що виділяється при полімеризації зв'язуючої речовини. Таке коректування технологічного ланцюжка дозволяє не тільки знизити енергоємність виробництва ремонтних робіт, але і підвищити експлуатаційні характеристики пластбетону. Контроль вологості заповнювачів виробляється щодня з метою коректування вмісту цементу в суміші.

Дозування заповнювачів, цементу і мікронаповнювача виробляється ваго-вими дозаторами, а модифікованої фуранової зв'язуючої речовини й отверджувача – мірними ємностями.

Технологія пластбетонних сумішей на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ характерна особливостями в частині, що стосується готування полімерної зв'язуючої речовини і введення її в пластбетонну суміш. Технологічна схема готування пластбетонної суміші на фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ представлена на рис. 3.5, звідки слід, що спочатку в барабан змішувача завантажуються необхідна для замісу кількість щебеню, потім виробляється його перемішування протягом 2 хв. Потім з дозаторів завантажуються пісок, цемент і мікронаповнювач і перемішуються 3...4 хв. При цьому волога, що утримується в заповнювачах, поглинається цементом. Після цього виробляється завантаження попередньо приготовленої фуранової зв'язуючої речовини без отверджувача. Безпосереднє змішування фуранової зв'язуючої речовини з бензолсульфокислотою не допускається. Перемішування мінеральних компо-

ментів зі зв'язуючою речовиною виробляється до одержання однорідної за кольором маси протягом 4...5 хв. Тільки після цього в суміш вводиться отверджувач, попередньо розплавлений при температурі 50...60°C, і перемішування продовжується ще 3...4 хв. Таким чином, цикл перемішування складає 12...16 хв. Тривалість циклу можна скоротити до 7...10 хв, якщо встановити додатковий змішувач для перемішування мінеральних тонкодисперсних компонентів – цементу і наповнювача – з фурановою зв'язуючою речовиною й отверджувачем, тобто для одержання полімерної мастики (рис. 3.6). У цьому випадку послідовність операцій по готуванню пластбетонної суміші наступна: дозування і завантаження в змішувач щебеню, обертання барабана з щебенем протягом 2...3 хв, дозування і завантаження в змішувач піску і цементу, кількість якого корегується з урахуванням вологості заповнювачів, і перемішування мінеральних компонентів 2...3 хв.

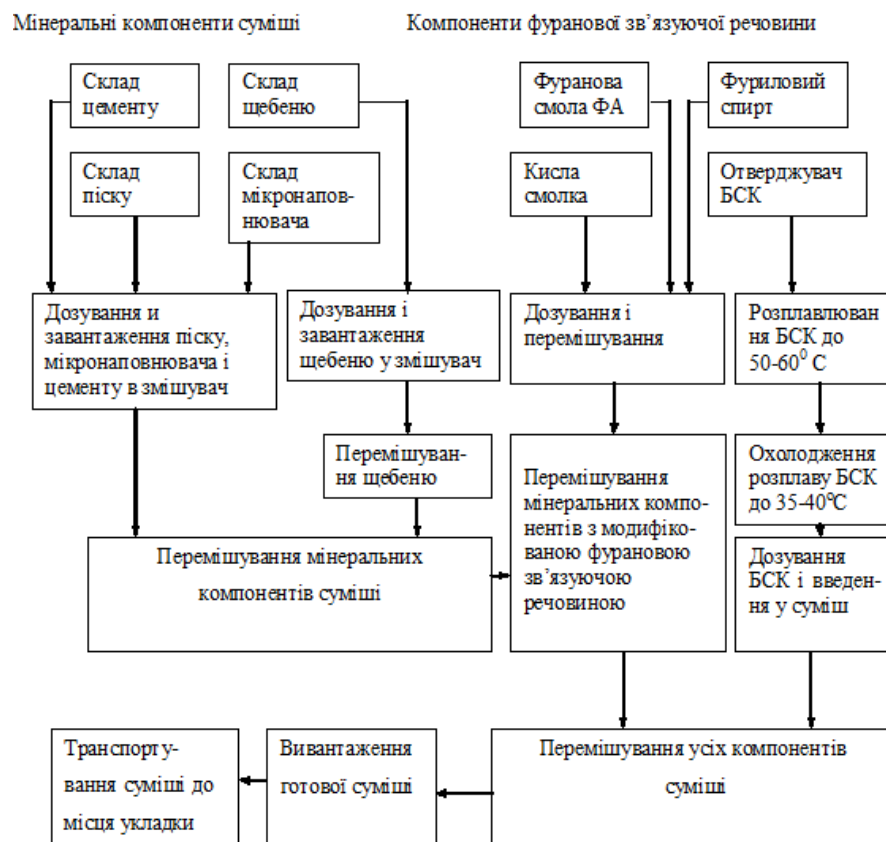


Рисунок 3.5 - Технологічна схема приготування пластбетонної суміші на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ

ВИСНОВКИ

1. Визначено основні закономірності формування структури полімерної зв'язуючої речовини при введенні в її склад високодисперсних наповнювачів різної мінералогії. Введення частини портландцементу приводить до збільшення міцності і щільності наповненої полімерної матриці на 16...18%, що підтверджує доцільність використання цементу для поліпшення властивостей пластбетону.

2. Запропонований пластбетон на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ являє собою складний гетерогенний матеріал, поведження якого під навантаженням можна розглядати як поведження двокомпонентної системи. Внаслідок розходження фізико-механічних властивостей складових пластбетону в процесі отвердження наповненої полімерної матриці виникають внутрішні напруження, розподіл яких не підкоряється законам суцільних середовищ. Істотний вплив на неоднорідність полю напруг роблять також форма, рельєф і чистота поверхні зерен заповнювача, його гранулометричний склад і об'ємний вміст у пластбетоні. У зв'язку з цим міцність зчеплення заповнювача з наповненою полімерною матрицею впливає на міцність пластбетону.

3. Представлені технологічні схеми приготування пластбетонної суміші на модифікованій фурановій зв'язуючій речовині ФАКФ для відновлення несучої здатності бетонних і залізобетонних елементів, особливістю яких є виключення енергоємної операції сушіння заповнювачів при використанні цементу як поглинача вологи.

Список використаних джерел

1. Елшин И.М. Пластбетон. – Киев: Будівельник, 1987. – 128 с.
2. Армополимербетон в транспортном строительстве/Под ред. В.И. Соломатова. – М.: Транспорт, 1979. – 232 с.
3. Елшин И.М. Полимербетоны в гидротехническом строительстве. – М.: Стройиздат, 1980. – 192 с.
4. Патуроев В.В. Технология полимербетонов. – М.: Стройиздат, 1977. – 236 с.
5. Саталкин А.В., Солнцева В.А., Попова О.С. Цементно-полимерные бетоны. – Л.: Стройиздат, 1971. – 169 с.
6. Химически стойкие мастики, замазки и бетоны на основе терморезистивных смол/Под общ. ред. Н.А. Мощанского. – М.: Стройиздат, 1968. – 235 с.
7. Кардашов Д.А., Петрова А.П. Полимерные клеи. Создание и применение. – М.: Химия, 1983. – 256 с.
8. Фрейдин А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений. – М.: Химия, 1981. – 272 с.
9. Андрианов К.А., Дацко Т.Ф., Джавахишвили Э.А. Полимерные композиции с андезитовым наполнителем//Пластические массы. – 1969. - № – С. 50-52.
10. Бируля А.Ф., Маслаков А.Д., Соломатов В.И. Изготовление химически стойких конструкций из сталеполимербетона//Пластические массы. – 1972. - № 12. – С. 26-28.
11. Tompa H. Polymer Solutions. – London: Butterworths Scientific, 1977. – 347 p.
12. Патуроев В.В., Сухарева Л.Н. Изготовление строительных конструкций на основе пластмасс. – Стройиздат, 1978. – 28 с.
13. Патуроев В.В. Проблемы рационального использования полимербетонов в строительстве//Всероссийский симпозиум «Перспективы

применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве». – М.: Стройиздат. – 1976. - С. 107-113.

14. Остер-Волков Н.Н. Новые синтетические материалы на основе фурановых соединений. – Ташкент: Узбекистан, 1983. – 34 с.

15. Оробченко Е.В., Пряничникова Н.Ю. Фурановые смолы. – М.: Гостехиздат, 1963. – 173 с.

16. Манин В.Н., Громов А.Н. Физико-химическая стойкость полимерных материалов в условиях эксплуатации. – Л.: Химия, 1980. – 248 с.

17. Остер-Волков Н.Н., Мухамедов Х.У., Журавлева В.В. Эпоксифурано-вые смолы и некоторые их свойства//Пластические массы. – 1983. - № 3. – С.52-53.

18. Давыдов С.С., Соломатов В.И., Фанталов А.М. Полимербетоны и их применение в строительстве//Пластические массы. – 1984. - № 11. – С. 27-30.

19. Елшин И.М., Мощанский Н.А. Синтетические смолы в строительстве. – Киев: Будівельник, 1969. – 160 с.

20. Елшин И.М. Опыт и перспективы применения фурановых вяжущих и полимербетонов на их основе в водохозяйственном строительстве//Перспективы применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве. – М.: Стройиздат. – 1976. – С. 124-125.

21. Мощанский Н.А. Некоторые особенности состава, структуры и свойств пластбетонов на основе конденсационных синтетических смол//Структура, прочность и деформации бетонов. – М.: Стройиздат. – 1977. – С. 132-138.

22. Соломатов В.И. Термохимическое упрочнение изделий из фурфурола-цетонового полимербетона//Техника защиты от коррозии. – 1980. - № 6. – С. 17-18.

23. Итинский В.И., Остер-Волков И.Н. Пластбетоны и полимерные замазки. – М.: Химия, 1975. – 24 с.

24. Итинский В.И. Физико-химические процессы, происходящие при

получении фурановых пластмасс и пластбетонов//Материалы совещания по обмену опытом работы в области фурановых пластмасс. – Северодонецк. – 1971. – С. 34-36.

25. Каменский И.В., Унгуреан Н.В., Коварская Б.И. Полимеры на основе продуктов конденсации фурфурола с ацетоном//Пластические массы. – 1980. - № 12. – С. 9-13.

26. Хрулев И.М. Синтетические клеи и мастики. –М.: Высшая школа, 1970. – 368 с.

27. Николаев А.Ф. Синтетические полимеры и пластические массы на их основе. – М.: Химия, 1986. – 784 с.

28. Шубенкин П.Ф., Марцинчик А.Б. К вопросу изучения конструкцион-ных свойств пластбетона на мономере ФА//Бетон и железобетон. – 1984. - № 3. – С. 9-10.

29. Ройтман А.Г. Надежность конструкций эксплуатируемых зданий. – М.: Стройиздат, 1985. – 235 с.

30. Конецкий В. Ремонт жилых зданий. Несущие и ограждающие кон-струкции/Сокр. пер. с пол. Е.Б. Долгова. Под ред. А.Г. Ройтмана. – М.: Стройиздат, 1981. – 128 с.

31. Перкис Ф. Железобетонные сооружения: ремонт, гидроизоляция и за-щита/Пер. с англ. Под ред. М.Ф. Цитрона. – М.: Стройиздат, 1980. – 256 с.

32. Лысенко В.А. Защитно-конструкционные полимеррастворы в строи-тельстве. – К.: Будівельник, 1985. – 136 с.

33. Яшин А.В. Основные физико-механические свойства пластрстворов и пластбетонов//Бетон и железобетон. – 1985. - № 9. – С. 14-15.

34. Синтетические смолы в строительстве/И.М. Елшин, Н.А. Мощанский, В.А. Олехнович, Г.М. Бергман. - К.: Будівельник, 1969. – 280 с.

35. Александрян Э.П. Прочность и деформативность стыков сборных железобетонных конструкций, замоноличенных полимеррастворами. –

Тбилиси: Мецниереба, 1976. – 117 с.

36. Микульский Б.Г., Козлов В.В. Склеивание бетона. – М.: Стройиздат, 1975. – 236 с.

37. Кардашов Д.А., Петрова А.П. Полимерные клеи. Создание и применение. – М.: Химия, 1983. – 256 с.

38. Микульский В.Г., Игонин Л.А. Сцепление и склеивание бетона. – М.: Стройиздат, 1985. – 236 с.

39. Вяземская В.И., Калинин Е.В. Применение эпоксидных полимербетонов для ремонта гидротехнических сооружений/Перспективы применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве. – М.: Стройиздат, 1986. – С. 188-189.

40. Some Applications of Epoxy Resins in Concrete and other Structures in India/P.S. Saxena, S.L. Mokhashi, S.T. Paliwal, M.M. Choundhary//Polymers in Concrete: Third Congress on Polymers in Concrete. – Japan. – 1981. – P. 1121-1124.

41. Barda F., Hanson J.M., Corley W.D. Shear Strength of Low-Rise Walls with Boundary Elements//Reinforced Concrete Structures in Seismic Zones. – Detroit. – 1987. – P. 149-202.

42. Kizlikovli E. Polymer concrete composites//Polym. Eng. And Sci. – 1981. – Vol. 21. – No 8. – P. 507-509.

43. Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. – М.: Химия, 1981. – 391 с.

44. Treece R.A., Jirsa J.O. Bond Strength of Epoxy-Coated Reinforcing Bars// ACI Materials Journal. – 1989. – Vol. 86. - No 2. – P. 167-174.

45. Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий. – М.: Химия, 1977. – 352 с.

46. Николаев А.Ф. Синтетические полимеры и пластические массы на их основе. - М.: Химия, 1966. – 784 с.

47. Липатов Ю.С. Физико-химия наполненных полимеров. - М.: Химия, 1977. – 304 с.

48. Мэнсон Дж., Сперлинг Л. Полимерные смеси и композиты. – Пер. с англ. - М.: Химия, 1979. – 440 с.
49. Бартенев Г.М., Зеленев Ю.В. Физика и механика полимеров. – М.: Высшая школа. 1983. – 390 с.
50. Воробьев В.А., Андрианов Р.А. Технология полимеров. – М.: Высшая школа, 1971. – 360 с.
51. Аскарлов М.А., Джалилов А.Т. Синтез ионогенных полимеров. – Таш-кент: ФАН, 1978. – 81 с.
52. Кардашов Д.А. Конструкционные клеи. – М.: Химия, 1980. – 287 с.
53. Бартенев Г.М. Прочность и механика разрушения полимеров. – М.: Химия, 1984. – 278 с.
54. Книпенберг А.К. Разработка метода подбора состава полимербето-на//Перспективы применения бетонополимеров в строительстве. – М.: Стройиздат. – 1976. – С. 141-143.
55. Лихолетов О.Д., Мощанский Н.А., Путляев И.Е. Пофазное формирование структуры полимербетонов//Применение полимерных смол в бетонных и железобетонных конструкциях. – М.: Стройиздат. – 1981. – С. 113-115.
56. Ольховик О.Е. Оптимальный температурный режим отверждения полимеров сетчатой структуры в условиях адгезионного контакта//Высокомолекулярные соединения. – 1988. - № 11. – С. 2531-2537.
57. Скупин Л. Полимерные растворы и пластбетоны. – М.: Стройиздат, 1967. – 176 с.
58. Вознесенский В.А., Кривенко П.В. Методические рекомендации по применению экспериментально-статистических моделей для анализа и оптимизации состава, технологий и свойства композиционных материалов на основе щелочных вяжущих материалов. – Киев: Минвуз, 1996. – 106 с.
59. Круг Г.К. Статистические методы в инженерных исследованиях. – М.: Высшая школа, 1983. – 216 с.

60. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1975. – 137 с.
61. Соломатов В.И. Полимерцементные бетоны и пластбетоны. – С.: Стройиздат, 1967. – 184 с.
62. Соломатов В.И. Структурообразование и технология полимербетонов//Строительные материалы. – 1970. - № 9. – С. 33-34.
63. Соломатов В.И., Лыгин В.И., Калько Д.С. Упрочнение фурфуролацетонного полимербетона фторидами//Пластические массы. – 1981. - № 8. – С. 52-53.
64. Липатов Ю.С. Межфазные явления в полимерах. – К.: Наукова думка, 1980. – 259 с.
65. Лосев И.П., Тростянина Е.Б. Химия синтетических полимеров. – М.: Химия, 1974. – 410 с.
66. Липатов Ю.С., Фабуляк Ф.Г. О релаксационных процессах в поверх-ностных слоях полимеров на межфазной границе раздела с твердым телом/Механизмы релаксационных явлений в твердых телах. – М.: Химия, 1972. – С. 274-287.
67. Липатов Ю.С., Сергеева Л.М. Адсорбция полимеров. – К.: Наукова думка, 1972. – 256 с.
68. Малинский Ю.М. О влиянии твердой поверхности на процессы релаксации и структурообразования в пристенных слоях полимеров//Успехи химии. – 1970. - № 8. – С. 27-31.
69. Бородина В.Н., Толстая С.Н., Таубман А.Б. Влияние формы частиц наполнителя на кинетику структурообразования в растворах полимеров//Коллоидный журнал. – 1981. – Т. XXX. - № 6. – С. 811-813.
70. Воскресенский В.А., Соколова Ю.А. Свойства пластбетона на основе эпоксидных смол и мономера ФАМ//Бетон и железобетон. – 1984. - № 12. – С.20-28.
71. Глаголева Л.М., Расулов К.Х. Свойства фурфурольно-карбамидных полимербетонов, приготовленных по новой

технологии/Перспективы применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве. – М.: Стройиздат, 1976. – С. 137-148.

72. Баженов Ю.М. Бетонополимеры. – М.: Стройиздат, 1983. – 472 с.

73. Гуль В.Е. К вопросу о разрушении полимерных материалов//Механика полимеров. – 1985. - № 2. – С. 195-199.

74. Дорофеев К.С., Лисицин Ю.В. О прочности и деформативности пластбетона на основе мономера ФА//Бетон и железобетон. – 1987. – 3 9. – С. 14-15.

75. Balow J.W., Paul U.R. Polymer blends and deloys//Polym. and Sci. – 1982. – Vol. 21. – No 15. – P. 985-996.

76. Dolakova-Shevlova V. Influence of adhesion between filler and matrix of mechanical properties of filled polyethylene//Macromol. Sci. – 1982. – Vol. 21. – No 2. – P. 231-242.

77. Холмянский М.М. Появление и развитие трещин раскалывания/Сцепление арматуры с бетоном. – М.: ВНИИЖелезобетона, 1971. – С. 86-98.

78. Хрулев В.М., Шутов Г.М., Будбко С.К. Основы технологии полимерных строительных материалов. – Минск: Высшая школа, 1985. – 299 с.

79. Фрайфельд С.Е. Собственные напряжения в бетоне. – М.: Госстройиздат. – 1951. – 84 с.

80. Гийон И. Предварительно-напряженный бетон. – Пер. с фр. – М.: Мир, 1969. – 327 с.

81. Химически стойкие мастики, замазки и бетоны на основе терморезистивных смол/Под общ. ред. Н.А. Мощанского. – М.: Стройиздат, 1978. – 256 с.

82. Чуйко А.В., Итинский В.И., Прошин А.П. Влияние поверхностно-активных веществ на пластично-вязкие свойства пластбетонной смеси на фур-фууролацетоновом мономере//Бетон и железобетон. – 1979. - № 5. – С. 12-13.

83. Александрян Э.П. Восстановление и усиление бетонных и

железо-бетонных конструкций зданий и сооружений методом инъектирования поли-меррастворов//Экспресс-информация. – ЦНТИ, 1993. - № 14. – 22 с.

84. Борисов Б.И., Мощанский Н.А. Диффузия агрессивных жидкостей через полимерные материалы//Пластические массы. – 1988. - № 3. – С. 61063.

85. Патуроев В.В., Мощанский Н.А. Руководство по методам испытания полимербетона на химическую стойкость. – М.: НИИЖБ, 1982. – 34 с.

86. Сталеполимербетонные строительные конструкции/Под ред. С.С. Давыдова и А.М. Иванова. – М.: Стройиздат, 1982. – 260 с.

87. Воюцкий С.С. Аутогезия и адгезия высокополимеров. – М.: Стройиздат, 1986. – 244 с.

88. Хило Е.Р., Попович Б.С. Усиление строительных конструкций. – Львов: Вища школа, 1985. – 156 с.

89. Мощанский Н.А. Плотность и стойкость бетона. – М.: Стройиздат, 1971. – 324 с.

90. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. – М.: Знание, 1958. – 256 с.

91. Дерягин Б.В., Кротова П.А., Смылга В.Н. Адгезия твердых тел. – М.: Наука, 1975. – 280 с.

92. Дибров Г.Д., Мосиенко В.Г., Фоменко В.И. Взаимосвязь морозостойкости бетона с комплексными добавками и его структуры//Совершенствование базы строительства. – 1976. - № 11. – С. 12-13.

93. Берман Г.М., Мощанский Н.А. Коррозия стальной арматуры в полимербетонах//Бетон и железобетон. – 1989. - № 5. – С. 6-7.

94. Манин В.Н., Громов А.Н. Физико-химическая стойкость полимерных материалов в условиях эксплуатации. – Л.: Химия, 1980. – 248 с.

95. Липатов Ю.С. Будущее полимерных композиций. – К.: Наукова думка, 1984. – 135 с.

96. Мощанский Н.А., Корнфельд И.А. Электрическое сопротивление пластрасыворов и бетонов/Коррозия, методы защиты и повышения долговечности бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1975. – С. 170-184.

97. Беляев В.Е., Каштанов Ю.А., Книпенберг А.К. О некоторых вопросах сцепления стали с полимербетоном на ФАМ и ПН-1/Строительные конструкции. – Липецк, 1989. – С. 40-49.

98. Подвальный А.М. Исследование полимербетонов ФАМ при сжатии//Бетон и железобетон. —1980. - № 3. – С. 38-40.

99. Иванов Е.С., Иванов С.С. Ингибиторы коррозии металлов. – М.: Знание, 1980. – 236 с.

100. Ставицкий В.Д. Дорожные термопластичные бетоны. – Минск: Полымя, 1991. – 123 с.