МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота

___другий магістерський рівень___
(рівень вищої освіти)

на тему: Підвищення технологічних і міцністних характеристик бетонів з використанням хімічних добавок.

Виконав: студент ___II курсу___, групи ___8.1923 – пцб-з
спеціальності __192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(код і назва спеціальності)
освітньої програми __промислове і цивільне будівництво__
(код і назва освітньої програми)

_____Резніченко І. В._____
(прізвище та ініціали)

Керівник доцент, кандидат технічних наук, Данкевич Н.О.
(посада, вчене звання, науковий ступень, прізвище та ініціали)

Рецензент доцент, кандидат технічних наук, Мишук К.Н.___
(посада, вчене звання, науковий ступень, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра Промислового та цивільного будівництва
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
(другий (магістерський) рівень)
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(шифр і назва)
Освітня програма «Промислове і цивільне будівництво»
(шифр і назва)
Спеціалізація -
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
завідувач кафедри *промислового та цивільного будівництва*
проф. І.А. Арутюнян
"___" _____ 20___ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Резніченко Інна Валеріївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи (проекту) Підвищення технологічних і міцністних характеристик бетонів з використанням хімічних добавок
керівник роботи Данкевич Наталія Олександрівна, доц., к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від " 30 " 09 2024 року № 1486-с
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 01 грудня 2024р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи аналіз різних видів хімічних добавок, їх вплив на технологічні і міцністні характеристики бетонів.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, розділ 1 – аналіз досліджень і практики застосування добавок для бетону з метою поліпшення їх якості, розділ 2 – дослідження і вибір складових матеріалів і добавок для бетонів, розділ 3 – дослідження технологічних і міцністних характеристик бетонів з використанням різних видів хімічних добавок, розділ 4 – основні напрямки застосування хімічних добавок в бетони, їх ефективність і напрямки використання. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
До десяти слайдів в PDF-форматі

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Данкевич Н.О., доц. кафедри		
Розділ 2	Данкевич Н.О., доц. кафедри		
Розділ 3	Данкевич Н.О., доц. кафедри		
Розділ 4	Данкевич Н.О., доц. кафедри		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1	25.09.2024	
2	Розділ 2	25.10.2024	
3	Розділ 3	15.11.2024	
4	Розділ 4	30.11.2024	

Студент _____ Резніченко І.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ Данкевич Н.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Мішук К.М.
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Резніченко І.В. Підвищення технологічних і міцністних характеристик бетонів з використанням хімічних добавок.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник Н.О. Данкевич. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2024.

Проведено аналіз досліджень і практики застосування добавок для бетону з метою поліпшення їх якості, загальні відомості теорії та практики застосування добавок в бетон, мета використання добавок і їх призначення, вимоги до добавок та оцінка ефективності. Вибір, обґрунтування складових матеріалів і хімічних добавок для виробництва бетону, класифікація хімічних добавок і ефект їх дії.

Розглянуті дослідження технологічних і міцністних характеристик бетонів з використанням різних видів хімічних добавок, визначення оптимального складу і кількості кремнійорганічних добавок в бетон. Бетони з комплексними модифікаторами на основі карбоксилатів та їх властивості. Обґрунтовані основні напрямки застосування хімічних добавок в бетони, їх ефективність та напрямки використання.

Ключові слова: бетон, характеристика, класифікація, хімічна добавка, результат випробувань, сфера використання, ефект дії.

ANNOTATION

Reznichenko I.V. Enhancing Technological, Physical and Mechanical Characteristics of Concrete Using Chemical Additives.

Qualifying final work for obtaining a higher education master's degree in specialty 192 Construction and civil engineering, scientific supervisor N.O. Dankevych. Zaporizhzhya National University, Y.M Potebnya Engineering Educational and Scientific Institute, Department of Industrial and Civil Engineering, 2024.

The article analyzes the research and practice of using concrete additives to improve their quality, general information on the theory and practice of using additives in concrete, the purpose of using additives and their purpose, requirements for additives and evaluation of efficiency. Selection, justification of constituent materials and chemical additives for concrete production, classification of chemical additives and the effect of their action.

Studies of the technological and strength characteristics of concrete using different types of chemical additives, determination of the optimal composition and amount of silicone additives in concrete are considered. Concretes with complex modifiers based on carboxylates and their properties are discussed. The main directions of application of chemical additives in concrete, their effectiveness and directions of use are substantiated.

Keywords: Concrete, Characteristics, Classification, Chemical Additive, Test Results, Application Area, Action Effect.

ЗМІСТ

ВСТУП…….....7

1 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПРАКТИКИ ЗАСТОСУВАННЯ ДОБАВОК ДЛЯ БЕТОНУ З МЕТОЮ ПОЛІПШЕННЯ ЇХ ЯКОСТІ……...10

1.1 Загальні відомості теорії та практики застосування добавок в бетон.....10

1.2 Мета використання добавок в бетон……...……12

1.3 Основні види добавок і їх призначення……...……...…....13

1.4 Вимоги до добавок та оцінка ефективності……..……..17

2 ДОСЛІДЖЕННЯ І ВИБІР СКЛАДОВИХ МАТЕРІАЛІВ І ДОБАВОК ДЛЯ БЕТОНІВ ……...……....26

2.1 Класифікація хімічних добавок та ефект їх дії……..…....30

2.2 Вибір сировинних матеріалів для виробництва бетону……..……..42

2.3 Обґрунтування вибору хімічних добавок в бетон……..……...45

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І МІЦНІСТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ ВИДІВ ХІМІЧНИХ ДОБАВОК……....50

3.1 Дослідження характеристик бетонів з використанням хімічних добавок системи «Релаксол»……..50

3.1.1 Дослідження властивостей бетону із застосуванням добавок системи «Релаксол»…….51

3.1.2 Методика визначення пластифікуючої і водоредуціруючої здатності суперпластифікатора…….…....52

3.1.3 Калориметричні методи…….…....55

3.1.4 Фізико-механічні показники…….57

3.1.4.1 Характеристики міцності бетону з добавками системи «Релаксол»..57

3.1.4.2 Показники довговічності……..…….....58

3.2 Визначення оптимального складу і кількості кремнійорганічних добавок в бетон……..……...59

3.2.1 Натурні випробування бетонів з добавками кремнійорганічних олігомерів……..65

3.2.2 Результати дослідження структурних змін, що відбуваються в бетонах, з кремнійорганічними добавками…….……...67

3.3 Дослідження та використання суперпластифікаторів в бетони для монолітних та залізобетонних конструкцій…….....68

3.3.1 Застосування суперпластифікаторів в бетони для монолітних і збірних залізобетонних конструкцій…….....68

3.3.2 Суперпластифікатори у виробництві залізобетонних конструкцій…..72

3.4 Бетони з комплексними модифікаторами на основі карбоксилатів та їх властивості…….....75

3.4.1 Вплив пластифікаторів на реологічні властивості бетонних сумішей..78

4 ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ЗАСТОСУВАННЯ ХІМІЧНИХ ДОБАВОК В БЕТОНИ, ЇХ ЕФЕКТИВНІСТЬ І НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ……....82

4.1 Основні напрямки застосування хімічних добавок в бетони……82

4.2 Ефективність використання хімічних добавок в бетонах..……...88

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ……..……...…91

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ...……..95

ВСТУП

Добавки – узагальнена назва одного з компонентів бетону. Поняття «добавка» своїм корінням доходить до дії, додаванню, додатку, створенню чогось нового в порівнянні з тим, що є. Додати, згідно з тлумачними словниками, значить вкласти додатково, довести до якої-небудь межі.

Ера становлення добавок як компонента бетону в XX столітті пов'язана зі збільшенням обсягів його виробництва, необхідністю проведення бетонних робіт у різних кліматичних умовах, а також масовим випуском залізобетонних виробів. У розвинених країнах обсяги цього роду будівельної продукції з добавками мають стійкі тенденції наближення до 90-100%. Обставини, що їх зумовили, криються в загальній потребі забезпечувати високі задані властивості при мінімізації матеріальних, енергетичних і трудових витрат з урахуванням екологічних міркувань.

Актуальність теми дослідження – виробництво високофункціональних бетонів на сьогоднішній день вимагає пошук нових прогресивних технологій, щоб запобігти перервам у будівництві в зимовий період і тим самим зменшити час та вартість самого будівництва. Використання різноманітних в'яжучих речовин, заповнювачів, додатків а також технологічних прийомів дозволяє одержувати бетони з різноманітними властивостями. Це забезпечує можливість їх застосування при виготовленні конструкцій і споруд широкої номенклатури і функціонального призначення – від важких високоміцних бетонів для несучих конструкцій до ефективних теплоізоляційних ніздрюватих бетонів для огороджувальних конструкцій житлових будинків і промислових споруд.

Застосування хімічних добавок є ефективним засобом регулювання реологічних властивостей бетонних сумішей, необхідного модифікування структури цементного каменю в бетоні та самого бетону, а отже покращення його фізико – механічних характеристик і довговічності.

Мета магістерської роботи є визначення ефективного засобу підвищення фізико-технологічних властивостей і міцністних характеристик бетонних сумішей із застосуванням хімічних добавок.

Для досягнення поставленої мети в роботі поставлені і вирішені **наступні завдання:**

- розглянути сучасні технології бетонів з хімічними добавками – модифікаторами;
- розробити теоретичні основи нових фізико-технологічних рішень і грамотного застосування цільових комплексних добавок;
- виконати експериментальні дослідження бетонних сумішей із застосуванням хімічних добавок по визначенню закономірностей впливу параметрів фізико-технологічних властивостей, що визначають їх якісні характеристики;
- виконати аналіз результатів і обрати оптимальні фізико – технологічні параметри бетонних сумішей із застосуванням хімічних добавок.

Об'єктом дослідження є бетони і хімічні добавки та їх фізико – технологічні і фізико – технічні властивості.

Предмет дослідження – хімічні добавки та ефект їх дії на бетонні суміші і виготовлені бетони та залізобетонні конфігурації.

Методи дослідження – вивчення літературних джерел по темі дослідження різних хімічних добавок, їх властивостей, вплив на технологію та міцність бетону.

Наукова новизна:

- доведена можливість покращення механічних властивостей бетонних сумішей із застосуванням хімічних добавок;
- доведений позитивний вплив хімічних добавок на міцність бетону та залежність цієї міцності від часу твердіння бетону.

Практичне значення отриманих результатів:

- розроблена технологічна схема виготовлення бетонних виробів із використанням хімічних добавок;
- запропоновані режими виготовлення бетонних виробів з підвищеними фізико-механічними властивостями. Порівняно з бетоном без добавок,

виготовленим у нормальних умовах, міцність на стиск збільшується в 1.3 рази; морозостійкість до 25%, стиранність зменшується на 25%.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні положення роботи докладалися в 2024 році на III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України», (Запоріжжя, 2024р.) за результатами якої опублікована збірка тез доповідей.

Структура і об'єм магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, виводів та рекомендацій, списку використаних джерел. Повний об'єм магістерської роботи складає 97 сторінок тексту, у тому числі 7 рисунків, 16 таблиць. Список використаних джерел містить 25 найменувань.

1 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПРАКТИКИ ЗАСТОСУВАННЯ ДОМІШОК ДЛЯ БЕТОНУ З МЕТОЮ ПОЛІПШЕННЯ ЇХ ЯКОСТІ

1.1 Загальні відомості теорії та практики застосування домішок у бетон

Добавки в бетон, виходячи з наведених тлумачень, протягом дуже тривалого історичного періоду розглядалися в якості додаткових компонентів до основних чотирьох – в'яжучих, заповнювачів і воді замішування. Цілком можливо, що історично це виправдано. Але ще давні зодчі до в'яжучого неорганічного, вапняного або органічного, бітумного типів з метою підвищення водостійкості і міцності додавати глину, волокна рисової соломи, очерет, маслянисті рослини, молоко, білки яєць та ін.

Ера становлення добавок як компонента бетону в XX столітті пов'язана зі збільшенням обсягів його виробництва, необхідністю проведення бетонних робіт у різних кліматичних умовах, а також масовим випуском залізобетонних виробів. У довоєнний період використання добавок, в основному, переслідувало мету водозниження, ведення бетонних робіт взимку і підвищення морозостійкості бетонів. Друга половина минулого століття пов'язана з обвальним зростанням обсягів використання добавок в бетони,будівельні розчини, а також сухі будівельні, в т.ч. бетонні суміші.

У розвинених країнах обсяги цього роду будівельної продукції з добавками мають стійкі тенденції наближення до 90-100%. Обставини, що їх зумовили, криються в загальній потребі забезпечувати високі задані властивості при мінімізації матеріальних, енергетичних і трудових витрат з урахуванням екологічних міркувань.

Введені добавки в бетон дозволяють досягати необхідні технологічні ефекти, наприклад, знижувати витрату цементу або змінювати в бажаному напрямку властивості бетонної суміші та бетону та ін.. Спрямована зміна складу,

властивостей матеріалів і процесів, їх отримання в хімічній технології прийнято називати модифікацією. Природні речовини, використовувані в таких цілях, належать до модифікаторів. Цей термін у світовій літературі часто асоціюється з добавками в бетон, хоча, як зазначено вище, при майже 100% обсягу виробленого бетону з добавками поняття «модифікування» набирає принципово інший технологічний сенс.

Можливості технологічного регулювання у виробництві залізобетонних виробів і конструкцій за рахунок розробки та засвоєння нових добавок практично необмежені. Таким чином, добавки з додаткового перетворилися на повноправний, важливий компонент бетону.

На межі II і III тисячоліть арсенал домішок до бетону надзвичайно поширився. Завдяки використанню законів фундаментальних наук – фізичної та колоїдної хімії в бетонове денні відкриті нові закономірності. Доведені на практиці переваги спільного використання хімічних і дисперсних мінеральних добавок для досягнення високих технологічних ефектів і властивостей бетонних сумішей і бетонів, обґрунтовано названих бетонами нового покоління.

Будівельна хімія у величезних масштабах виробляє різноманітні індивідуальні, комплексні хімічні та мінеральні добавки, сформувалася в самостійну галузь, органічно пов’язану з індустрією цементу та бетону.

Зростання ефективності сучасних добавок зумовило підвищення ступеню її функціональності, яку слід розуміти в широкому технологічному сенсі не тільки у зв’язку з призначенням, але і як властивості, які залежать від властивостей інших компонентів, насамперед цементів і явищ , що супроводжують твердіння. Наприклад, ефект дії суперпластифікаторів функціонально взаємопов’язаний з хімікомінералогічним складом цементів. Деяке початкове уповільнення гідратації наче супроводжує ефекти водозниження и довгого збереження удобоукладальності бетонних сумішей. Деяке уповільнення початкової гідратації змінюється поступовим прискоренням зростання міцності. Одночасно нівелюється висока водо потреба введених в бетон дисперсних мінеральних добавок [7].

1.2 Мета використання домішок

Добавки застосовуються з метою зміни технологічних властивостей бетонної суміші перед їх схоплюванням та / або споживчих властивостей затверділого бетону. Для бетонної суміші це:

- поліпшення рухливості без збільшення кількості води замішування або зменшення кількості води при збереженні незмінної рухливості;
- уповільнення або прискорення схоплювання;
- збереження властивостей – рухливості, обсягу залученого повітря, однорідності і т. д.;
- відсутність розшарування, зменшення сегрегації;
- поліпшення перекачування бетононасосами;

По відношенню до затверділого бетону застосування добавок має за мету:

- уповільнення / прискорення або зменшення / збільшення виділення тепла на ранніх стадіях твердіння;
- прискорення зростання ранньої міцності;
- збільшення міцності в марочному віці;
- збільшення щільності або опірності агресивному впливу середовища;
- зменшення водопроникності бетону;
- обмеження внутрішньої корозії бетону;
- збільшення зчеплення бетону до сталевої арматури;
- поліпшення опору до ударів і стирання.

1.3. Основні види добавок і їх призначення

Проведені наукові та практичні розробки дозволили провідним науковцям створити широкий асортимент суперпластифікаторів, регуляторів структури і темпів твердіння, а також комплексних добавок, що дозволяють отримувати бетони високої якості з необхідними будівельно–технологічними характеристиками для будь–яких умов експлуатації.

Номенклатура, запропонованих до застосування добавок, вельми широка. Враховуючи різноманіття зміни властивостей бетонних сумішей і бетонів, що досягається шляхом модифікування органічними і неорганічними сполуками, запропоновано їх класифікацію, яка заснована на обліку основного технологічного та технічного ефекту дії [11]. На жаль, чинна в Україні нормативна документація не повністю відображає сучасне уявлення про хімічні і мінеральні добавки, а деякі з методів контролю добавок не дозволяють оцінювати ефективність сучасних добавок. У країнах Євросоюзу засвоюється комплекс гармонізованих норм, що містять вимоги та до бетону, його компонентів і методів випробувань. Основа цього комплексу норма EN 206-1 [12] передбачає нові підходи і процедури проектування складів, виробництва, оцінки технічних і технологічних параметрів (таблиця 1.1).

Найбільш широко в технології бетону застосовуються добавки пластифіціруючі, структуруючої дії, регулятори твердіння бетону, а також комплексні добавки поліфункціональної дії.

Таблиця 1.1 - Класифікація добавок по EN 934-2

Індекс	Призначення	Технологічний ефект
1	2	3
3.2.2	Зменшення кількості води - пластифікатор*	Зниження води в даній бетонній суміші без зміни консистенції або значне збільшення легко вкладання без зміни кількості води

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
3.2.3	Значне зменшення кількості води – суперпластифікатор**	Значне зниження води в даній бетонній суміші без зміни консистенції або значне збільшення легковкладання (ОК / розплив) без зміни кількості води
3.2.4	Збільшення зв'язності води в бетонній суміші	Запобігання втрат води за рахунок мимовільного водорозділення
3.2.5	Повітрявміщування	Залучення в процесі перемішування бетонної суміші певної кількості дрібних, рівномірно розподілених пухирців, які залишаються в структурі затверділого бетону
3.2.6	Прискорення схоплювання бетонної суміші	Скорочення тривалості періоду переходу суміші з пластичного в твердий стан
3.2.7	Прискорення твердіння	Збільшення швидкості наростання міцності бетону з впливом або без впливу на терміни схоплювання
3.2.8	Уповільнення схоплювання	Подовження тривалості періоду переходу бетонної суміші з пластичного в твердий стан
3.2.9	Ущільнення структури бетону	Зменшення капілярної адсорбції бетону
3.2.10	Уповільнення схоплювання / зниження водовміщування	Комбінація дій пластифікатора – зниження водовміщування (основний ефект) з уповільненням схоплювання (додатковий ефект)
3.2.11	Уповільнення схоплювання / значне зниження водовміщування	Комбінація дій пластифікатора – зниження водо вміщування (основний ефект) з уповільненням схоплювання суміші (додатковий ефект)

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
3.2.12	Прискорення схоплювання / зниження водовміщування	Комбінація дій добавки – зниження водо вміщування (основний ефект) з прискоренням схоплювання суміші (додатковий ефект)
3.1.6	Комплексна добавка	Вплив на кілька властивостей бетонної суміші та / або бетону, більше ніж одного з ефектів, зазначених у п.п.3.2.3…3.2.9

Найчисленнішу групу становлять добавки, що впливають на реологічні властивості бетонної суміші і, таким чином, на властивості бетону. Представниками цієї групи є пластифікуючи добавки (регулюючи кількість води), які в Європейському стандарті визначаються як продукти, що дозволяють зменшувати вміст води в бетонній суміші, не впливаючи на її консистенцію, або збільшуючи рухливість бетонної суміші при збереженні постійного водо-цементного співвідношення.

Добавки пластифікуючи – це органічні речовини, поверхнево,частково нейтралізуючі електричні заряди на поверхні зерен цементу.

Приймаються наступні критерії розподілу:

- домішки пластифікуючи, що дозволяють зменшити кількість води в межах 5-12%;
- добавки розріджуючи, (так звані суперпластифікатори), що дозволяють зменшити кількість води більш, ніж на 12%;
- добавки гіперпластифікатори – добавки нового покоління – здатні знижувати кількість води на 25-30%.

Зменшення кількості води при заданій рухливості дозволяє збільшити міцність на стиск на 5-30% або зменшити витрату цементу при збереженні незмінної міцності. Зниження водопотреби дозволяє підвищити морозостійкість, та водонепроникність за рахунок ущільнення структури бетону.

Подальші роботи в галузі спрямованого регулювання властивостей бетонної суміші та бетону лежать в галузі створення та застосування широкого класу модифікаторів поліфункціональної дії (ПФМ).

У загальному вигляді різні будівельно–технічні завдання за допомогою ПФМ можуть бути вирішені на підставі наступних залежностей:

$$\Delta P = f(\Gamma_{адс}, V_{ввповітря(газу)}, ГЛБ, X); \quad (1.3.1)$$

$$\Delta R = f(\Delta\sigma_{тв-ж}, \Delta\sigma_{ж-г}, V_{ввповітря(газу)}, \Delta W); \quad (1.3.2)$$

$$\Delta Д = f(\Delta\cos\theta, V_{ввповітря(газу)}, \Delta W, X) \quad (1.3.3)$$

де ΔP – зміна рухливості бетонної (розчинної) суміші; ΔR – приріст міцності бетону на ранніх стадіях твердіння і кінцевою; $\Delta Д$ – підвищення довговічності (морозостійкість і корозійна стійкість бетону); $\Gamma_{адс}$ – адсорбційна здатність цементу і заповнювача; $V_{повітря\ (газу)}$ – кількість залученого повітря (газу) у бетонній (розчинної) суміші, %; $ГЛБ$ – величина гідрофільно-ліпофільного балансу молекули ПАР; $\Delta\sigma$ - зміна поверхневого натягу на межі розділу фаз «тверде тіло - рідина» і «рідина – газ», Н / м; $\Delta\cos\theta$ – зміна крайового кута змочування на поверхні затверділої твердої фази, град.; ΔW – зміна водо потреби бетонної суміші,%; X – параметр, що характеризує будову і вигляд модифікатора.

Склад ПФМ може бути різним з посиленням окремих ефектів, що впливають на бетонну суміш і бетон в залежності від пропонованих вимог.

Можна виділити наступні основні напрямки модифікування бетону:

- спільне використання модифікаторів пластифікуючої і мікропіно – або газоутворюваної дії. При цьому за рахунок пластифікаторів досягається зниження водо потреби бетонної суміші. Особливо ефективно в цьому плані використання поєднання гідрофобно–структурубчої дії з додатковою гідрофобізацією внутрішньої поверхні пор і капілярів.

Застосування модифікуючих комплексів, що включають поверхнево-активні пластифікуючи речовини з електролітами, не викликають корозії арматури. Застосування таких ПФМ дозволяє забезпечити високі темпи твердіння бетонів в поєднанні з морозокорозійною стійкістю.

- використання комплексних електролітів, що містять солі азотної і азотистої кислоти, інгібуючі арматуру від шкідливого впливу хлорид і сульфат–іонів. До числа таких електролітів належать нітрит–нітрат кальцію, нітрит–нітрат–хлорид кальцію. Комплекси цієї групи знаходять застосування і при зимовому бетонуванні.

До складу комплексних модифікаторів можуть входити активні і малоактивні компоненти типу високодисперсного мікрокремнезема, метакаолін, золи – винесення та ін., що дозволяє істотно поліпшити технологічні властивості бетонних сумішей та фізико–механічні властивості бетонів. Це ще більшою мірою підвищує ефективність застосування модифікаторів з метою утилізації багатотоннажних неорганічних відходів промисловості.

1.4 Вимоги до добавок та оцінка ефективності

Технологічна та економічна ефективність добавок забезпечуються суровим дотриманням комплексу вимог до їх складу, властивостей, дозуванням , безпеці та інше. Міжнародними та національними нормами і стандартами визначені методи і процедури випробувань добавки на відповідність поставленим вимогам.

Правила застосування визначають вибір добавок і встановлюють їх кількісні співвідношення при призначенні складів бетонів і розчинів залежно від цілей застосування та умов твердіння. На відміну від міжнародних прийнятих підходів, нормативні документи рекомендують до використання однокомпонентні продукти або їх поєднання відповідної номенклатури з метою досягнення основного технологічного ефекту. Кожен індивідуальний вид добавок, класифікований на групи за призначенням, включає абсолютно конкретні назви і посилання на нормативні документи – ДБН, ДСТУ і ТУ, в яких наводяться необхідні вимоги та методи випробувань властивостей і якостей. Склади комплексних добавок засновані на комбінаціях (поєднаннях) індивідуальних. При

цьому нормовані вимоги до комплексних домішок не зумовлюються, так само як необхідність будь–яких ТУ. Раніше в Радянському Союзі перелік добавок, допущених Держбудом, визначався аналогічного типу каталогами.

У міждержавному ДСТУ Б В.2.7-171:2008 [13] лише окреслюються загальні технічні вимоги, доповнені короткими вказівками про санітарно–гігієнічні характеристики добавок і про неприпустимість перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) при можливому виділенні в зовнішнє середовище. Показники якості визначаються по нормативному або технічному документу, відповідно до якого проводиться дана добавка.

На відміну від прийнятих в СНД процедур , основні вимоги до добавок і методи їх випробувань визначаються нормами EN 934-2 і EN 480. [14, 15]

При цьому відбір проб, контроль та оцінка відповідності виконуються відповідно до норми EN 934-6. [16]

Окремі розділи у вигляді таблиць надають вимоги до добавок, класифікованих за призначенням. Розглянемо прийнятий в EN 934-2 [14] підхід на прикладі водоредукуючих домішок – пластифікаторів (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 - Основні вимоги до домішок і методи випробувань

Поз.	Властивість	Метод випробування	Вимоги
1	2	3	4
1	Однорідність	Візуально	Однорідність при використанні. Сегрегація не може перевищувати меж, установлених виробником
2	Колір	Візуально	Однорідність і відповідність опису виробника
3	Суха речовина	EN 480-6	Інфрачервоний колір не виявляє змін в порівнянні із зразком виробника

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4
4	Щільність	ISO 758	D ± 0,03 при D > 1,10; D ± 0,02 при D < 1,10. D – значення, встановлене виробником
5	Умовний вміст сухої речовини	EN 480-8	0,95T≤ x < 1,05 при T ≥ 20% 0,90T ≤ x < 1,10 при T < 20% T–значення, установлене виробником x – результат випробування,%
6	Значення pH	ISO 4316	Значення, встановлене виробником або в діапазоні, погодженим з виробником
7	Вплив на схоплювання при максимально рекомендованому дозуванні	EN 480-2 з використанням максимального дозування в контрольному розчині по EN 480-1 з чотирма різними цементами	Умови випробувань
8	Хлор загальний	ISO 1158	< 0,10% вагових або не вище значення, встановленого виробником
9	Хлор, розчинений у воді (СГ)	EN 480-10	< 0,10% вагових або не вище значення, встановленого виробником
10	Зміст лугів	EN 480-12	Не більше , ніж максимум, встановлений виробником
11	Корозійний вплив	-	Відсутність впливу, що призводить до корозії арматурної сталі та бетону

У примітках наведених у таблиці уточнюються різні деталі обов’язковості використання і процедур перерахованих або альтернативних методів випробувань. Важлива вказівка, що все, представлене в таблиці, дійсно у разі рівно рухливих сумішей. Ряд вказівок наче доповнює таблицю 1.2, матеріали для інших різновидів домішок містяться в наступних таблицях, що конкретизують відповідність вимогам за умов збереження показників рухливості або водо цементних спів відносин. Цей підхід єдиний не тільки для водоредукуючих добавок – пластифікаторів і суперпластифікаторів, але й для домішок – регуляторів швидкості схоплювання і твердіння, повітря залучення реагентів та ін.. Окремо розглядається мінімальна кількість випробувань в системі виробничого контролю добавок.

До контрольованих і нормованих показників норма EN 934-2 [14] становить:

- міцність на стиск;
- рівень зниження водо змісту;
- терміни тужавлення;
- капілярна адсорбція;
- повітря залучення в бетонні суміші;
- зниження легко вкладання бетонної суміші;
- розподіл пор в затверділому бетоні.

В принципі, норми EN 934-2 [14] передбачають обмежувальні межі ефекту впливу добавки на будь - яку характеристику випробовуваної суміші або зразка в порівнянні з контрольними складовими у відсотках. Наведемо приклад вимоги щодо добавок, що значно знижує кількість води замішування суперпластифікаторів при збереженні величини В/Ц приведено в (табл.1.3).

Таблиця 1.3 - Вимоги до суперпластифікаторів (при рівному В/Ц)

№	Властивість	Бетон еталонний	Метод випробувань	Вимоги
1	Зменшення водо вмісту	-	Осадка конуса EN 12350-2 або роз плив EN12350-5	У бетонній суміші, в якій води > 12% в порівнянні з бетонною сумішшю контрольного зразка
2	Міцність на стиск	EN 480-1 бетон еталонний	EN 12390-3	У 1 добу випробовуваний бетон > 140% від контрольного бетону В 28 діб: випробовуваний бетон > 115% від контрольного бетону
3	Повітря-залучення	-	EN12350-7	Випробовувана бетонна суміш < 2% об’єму повітря вище вмісту в контрольній суміші, якщо виробник не встановлює інші показники

У нормах EN 480 [15] представлені всі види визначень властивостей і складів бетонів, розчинів для виконання процедур контрольних (порівняльних) випробувань при оцінці відповідності випробовуваних добавок пропонованих вимогам.

У країнах, які взяли за основу норми EN 934-2 [14], всі хімічні добавки супроводжуються документами, що підтверджують відповідність поставленим вимогам. Це технічне підтвердження (дозвіл), в якому констатується придатність використання конкретної добавки в будівництві.

У нормах EN 934-2 [14], всі різновиди хімічних добавок супроводжуються документами, в яких оцінюється і підтверджується відповідність вимогам системи оцінки якості:

- сертифікат відповідності;

- знак сертифікації;

- технічне підтвердження (дозвіл);

- гігієнічний паспорт (атестат);

- карта безпеки хімічних продуктів.

Випробування проводяться ліцензованими, уповноваженими на державному рівні організаціями (інститутами). У Польщі, наприклад, подібні випробування здійснюють інститути будівельної техніки, а також мостів і доріг. Документи, що належать до санітарно-технічних характеристик, відповідно до вимог ISO 11014-1 [17], розробляються державним інститутом гігієни.

Технічне підтвердження (дозвіл) містить результати комплексних досліджень і випробувань добавок по EN 934-2 [14] (табл.1.2), а також дані по оцінці впливу конкретної (дозволеної) добавки на властивості цементного тіста, бетонної суміші та бетону. У таблиці 1.4 наводяться результати випробувань і вимоги до одного з різновидів суперпластифікаторів нафталін формальдегідного типу. Як і інші суперпластифікатори, добавка віднесена до типу FM, призначена для збільшення рухливості бетонної суміші при постійному значенні В/Ц або його зменшення при сталості показника легко вкладання.

Таблиця 1.4 - Вимоги до бетонів з добавками суперпластифікатора типу FM

№	Властивість	Од. виміру	Вимоги при сталості	
			В/Ц	консистенції
1	2	3	4	5
1	Терміни схоплювання цементу з добавкою	-	як для цементу без добавок	
2	Зміна обсягу цементного тесту з добавкою	-	як для цементу без добавки	
3	Зменшення водо змісту бетонної суміші	%	-	>16% в порівнянні з контрольною сумішшю
4	Збільшення рухливості	см	≥16	як для контрольної суміші

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4	5
5	Час збереження рухливості	хв.	30 хв. при введенні добавки; рухливість суміші з домішкою не повинна бути менше контрольної	-
6	Кількість залученого повітря	%	<2 + кількість у контрольній суміші	-
7	Міцність на стиск, діб: 1 7 28	%	 >80 >90 контрольного значення	>140 >130 >115 контрольного значення
8	Міцність на розтяг при згині	%	90 контрольного значення	100 контрольного значення
9	Водопоглинання бетону	%	<5	
10	Морозостійкість бетону	цикл	>F 150	
11	Опір бетону дії розчину солі через 100 циклів	%	<20 падіння міцності	
12	Водонепроникність	-	Мінімум W8	
13	Усадка бетону	%	<0.6	
14	Вплив на корозію арматури	-	Спеціальні випробування	

Природно досить швидке освоєння норм в Україні. В даний час діє стандарт ДСТУ Б В.27–69–98 [18].

У ДСТУ Б В.27–69–98 [18] введені терміни з відповідними визначеннями:

- Контрольний стандартний склад (КС), дібраний без добавок за методикою ДСТУ Б В.2.7-215:2009 [19];

- Контрольний рядовий склад (КР) домішки конкретного підприємства;

- Контрольоване дозування – для КС є мінімальною, при якій досягається основний технологічний ефект без зниження інших показників якості; для КР – це

кількість добавки, що забезпечує отримання необхідного основного технологічного ефекту на конкретному підприємстві.

ДСТУ обумовлює, що показники основного технологічного ефекту досягаються від введення добавок в бетонних сумішах і / або бетонах визначаються шляхом порівняння показників якості або властивостей контрольних і основних складів. Оцінка ефективності дії добавок, здійснюється за так званим «критерієм ефективності», значення якого лежить в межах, визначених в ДСТУ Б В.2.7-171:2008 [13]. За цією ознакою класифікуються добавки, наприклад, пластифікатори, порі затори та інші. У стандартах наводяться також відомості про можливі додаткові ефекти, наприклад, уповільнення або прискорення термінів схоплювання, утворення висолив, застосування швидкості тепловиділення, проникності та інше. Детально, практично для кожного з різновидів добавок описуються методи і процедури виготовлення зразків і випробування ефективності.

Не можна визначити, що прийнятий в стандартах підхід, орієнтований на уявлення про «пряму» дію добавки з метою досягнення заданого, основного ефекту.

Сучасні добавки, особливо комплексні, поєднують здатності досягати відразу кількох значних ефектів: зниження вмісту цементу і води замішування, підвищення стабільності, міцності, водонепроникності, морозокорозійної стійкості та ін. Зросли, у зв’язку з цим, складності виділення і визначення величин основних і так званих побічних ефектів.

Хімічна добавка-суперпластифікатор нового покоління в силу високої ефективності впливу на властивості і процеси твердіння цементів створює можливості багатоваріантного вирішення ряду технологічних завдань (табл. 1.5)

Таблиця 1.5 - Варіанти вирішення технологічних завдань

№	Технологічна задача	Постійні показники
1	2	3
1	Збільшення рухливості суміші	Витрата цементу, водо цементне відношення, міцність

Продовження таблиці 1.5

1	2	3
2	Зниження водоцементних відношень	Легкоукладальність, витрата цементу
3	Скорочення витрати цементу	Водо цементні відношення, легкоукладальність, міцність

Не дивлячись на недостатньо повні сьогодні механізми дії суперпластифікаторів, вони в силу високої функціональності, відіграють роль своєрідного «центру» формування багатокомпонентних комплексних добавок.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ І ВИБІР СКЛАДОВИХ МАТЕРІАЛІВ І ДОБАВОК ДЛЯ БЕТОНІВ

Залежно від призначення (основного ефекту дії) хімічні добавки для бетонів поділяються на наступні види:

1. Регулюючі властивості бетонних сумішей:

а) пластифікуючи:

I група – суперпластифікатори,

II група – сильнопластифікуючі,

III група – среднепластифікуючі,

IV група – слабкопластифікуючі;

б) стабілізуючі;

в) водо утримуючі;

г) поліпшують переказуваність насосами;

д) регулюючі – сповільнюють схоплювання, та прискорюють тужавлення;

е) поризуючі (для легких бетонів);

ж) повітрезалучаючі;

з) піноутворюючі;

і) газоутворюючі;

2. Регулюючі твердіння бетону:

а) уповільнюють твердіння;

б) прискорюють твердіння;

3. Підвищують міцність і (або) корозійну стійкість, морозостійкість бетону і залізобетону, знижують проникливість бетону:

а) водоредукуючих I, II, III і IVгруп;

б) кольматуючі;

в) поризуючі (для важких бетонів):

- повітрязалучаючі;
- газоутворюючі;

г) підвищують захисні властивості бетону по відношенню до сталевої арматури (інгібітори корозії сталі).

4. Надають бетону спеціальні властивості:

а) проти морозні (забезпечують тверднення при мінусових температурах);

б) гідрофобізуючі I, II і III груп.

В окремі групи виділено тонко дисперсні мінеральні та комплексні добавки.

Хімічні добавки для важкого, легкого, дрібнозернистого бетонів слід вибирати на підставі рекомендацій нормативно-технічної документації і техніко-економічних розрахунків.

Вибір добавки повинен проводитися в залежності від технології приготування бетонної суміші і від способу виготовлення виробів і конструкцій з урахуванням впливу добавок на властивості бетонної суміші і бетону.

Застосування добавок у важкому і дрібнозернистому бетонах дозволяє вирішувати наступні технологічні задачі:

• зменшувати витрату дорогого цементу;

• зменшувати витрати дефіцитного великого заповнювача аж до заміни важкого бетону дрібнозернистим;

• покращувати технологічні та реологічні властивості бетонної суміші;

• регулювати втрату рухливості суміші від часу, швидкість процесів схоплювання і твердіння;

• скорочувати тривалість теплової обробки бетону в теплових агрегатах;

• прискорювати терміни розпалю блювання при природному тверденні бетону в умовах полігону;

• підвищувати міцність, водо- і газонепроникність бетону;

• підвищувати морозостійкість, корозійну стійкість бетону і залізобетону;

• посилювати захисну дію бетону по відношенню до арматури.

Для бетонів, до яких пред’являються спеціальні вимоги щодо довговічності (морозостійкості, водонепроникності, корозійної стійкості й іншими показниками), вибір добавок слід виробляти по провідному агресивного впливу.

Зниження матеріаломісткості бетонів може бути досягнуто за рахунок застосування водоредуцируючих добавок (суперпластифікаторів і комплексних добавок на їх основі). Їх використання дозволяє в рівноміцних бетонах зменшити витрату цементу на 15…20%.

Незалежно від досягнутого ефекту по економії цементу при приготуванні бетонів, до яких пред'являються підвищені вимоги по довговічності, до складу бетонної суміші доцільно вводити повітрязалучаючі, слабкопластифіцируючі добавки або їх поєднання з прискорювачами твердіння.

Для отримання бетонної суміші з необхідними технологічними властивостями до її складу рекомендується вводити такі добавки:

• для приготування литих і високо рухливих бетонних сумішей – суперпластифікатори і сильнопластифікуючі добавки;

• для зниження жорсткості та збільшення рухливості – пластифікуючи, повітрязалучаючі і комплексні на їх основі;

• для підвищення однорідності і зв'язності бетонної суміші – стабілізуючі, слабкопластифікуючі, повітрязалучаючі, гідрофобізуючі – повітрязалучаючі;

• для прискорення твердіння або підвищення електропровідності суміші – домішки прискорювачів твердіння та інгібіторів корозії сталі.

Для отримання бетонів високої щільності і високоміцних бетонів класу В40 і більше слід обов'язково вводити і суперпластифікатори комплексні добавки на їх основі.

Для забезпечення стійкості бетонних і залізобетонних конструкцій залежно від умов експлуатації і видів корозійної дії агресивного середовища необхідно застосовувати такі добавки:

• для підвищення морозостійкості бетону – повітрязалучаючі, газоутворюючі, слабкопластифікуючі, гідрофобизируючі-повітрязалучаючі, гідрофобізуючі-газоутворюючі;

• для підвищення стійкості бетону при впливі солей, в тому числі в умовах капілярного підсосу і випаровування – ті ж, що для підвищення морозостійкості, а також суперпластифікатори, гідрофобізуючі і кольматувальні;

• для підвищення непроникності бетону – кольматувальні, водоредукуючі, повітрязалучаючі, гидрофобизируючі-повітрязалучаючі;

• для підвищення захисної дії по відношенню до сталевої арматури – інгібітори корозії сталі: ПН і ННК – для конструкцій, принад значених для експлуатації в слабо агресивних середовищах, а комплексні: ПН+ТБН, ПН+БХН, ПН+БХК – для конструкцій, принад значених для експлуатації в середньо – та сильно агресивних середовищах.

Для скорочення режиму теплової обробки, а також для прискорення твердіння бетонів, витриманих на полігонах у природних умовах, до складу бетону слід вводити добавки прискорювачів твердіння і комплексні на їх основі.

При виготовленні виробів з легкого бетону на пористих заповнювачах можуть застосовуватися всі хімічні добавки, рекомендовані для важких бетонів, з аналогічними проектними характеристиками, умовами приготування і застосування з урахуванням деяких особливостей.

При використанні водопотребних дрібних заповнювачів (золи і золо шлакових сумішей ТЕС, пористого піску та ін.) слід застосовувати пластифікуючи добавки, а підвищення щільності бетону при цьому можна компенсувати збільшенням об’єму втягнутого повітря за рахунок застосування повітрязалучаючих добавок.

Дозування пластифікуючи добавок для конструкційних легких бетонів знаходяться в тих же межах, що і для важких бетонів.

При виготовленні виробів з конструкційно–теплоізоляційного бетону доцільно використовувати повітрязалучаючі добавки. Одночасно з ними можуть застосовуватися:

• пластифікатори – для зниження на 10…20% водо вміщення бетонної суміші і відпускної вологості бетону;

• гідрофобізатори – для зменшення водопоглинання бетоном в огороджувальних конструкціях, що експлуатуються в агресивних середовищах;

• прискорювачі твердіння – для створення необхідної распалубочної міцності бетону при скорочених режимів теплової обробки.

Кількість введених хімічних моно добавок і комплексних добавок необхідно визначати за рекомендаціями. Оптимальна кількість добавок встановлюється експериментально при підборі складу бетону.

При використанні добавок слід враховувати вимоги, які обмежують застосування добавок у бетонних і залізобетонних виробах і конструкціях в залежності від умов їх експлуатації.

2.1 Класифікація хімічних домішок і ефект дії

У сучасній технології бетонів хімічні добавки – модифікатори є таким же обов'язковим компонентом бетонної суміші, як в'яжучі, заповнювачі і вода.

Застосування домішок є найбільш ефективним способом, що підвищує якість бетонів, що не вимагає великих капітальних витрат. Грамотне застосування цільових комплексних добавок дозволяє вирішити будь–які проблеми, пов'язані з отриманням бетонів із заданими властивостями. Висока міцність, низька проникність, підвищена довговічність і морозостійкість можуть бути досягнуті із застосуванням високо рухливих бетонних сумішей, що містять сучасні добавки.

Усі домішки можна розділити на шість груп.

Суперпластифікатори – дозволяють підвищити рухливість бетонної суміші, або збільшити міцність, щільність і водонепроникність бетону, або знизити витрату цементу при забезпеченні необхідної міцності бетону.

Прискорювачі набору міцності збільшують швидкість набору міцності в ранні терміни твердіння (1-3 доби), підвищують марочну міцність бетону.

Домішки, що регулюють збереженість рухливості бетонної суміші, затребувані в спекотну пору року або при необхідності тривалого перевезення бетонної суміші.

Добавки з проти морозним ефектом забезпечують проведення бетонних робіт у зимовий час при температурах до – 15°С і навіть до -25°С.

Модифікатори бетону – бетону з цими добавками мають клас по міцності до В80 при застосуванні цементів марки 500, відрізняються зниженою проникністю, морозостійкістю, корозійною стійкістю і довговічністю, при цьому бетонна суміш може мати високу рухливість.

Домішки для самоущільнення бетонів допомагають вирішити проблему бетонування тонкостінних, густо армованих конструкцій.

Комплексні добавки об’єднують у собі декілька видів впливу на бетонну суміш.

Крім того, комплексні добавки рятують виробників бетону від пошуків декількох різних компонентів для отримання потрібних властивостей. Адже ці компоненти повинні ще й мирно «уживатися» в одній суміші, не вступати між собою в якісь небажані реакції.

Більшість добавок, вироблених за кордоном, комплексної дії. Однак, результати численних досліджень, проведених спеціальними лабораторіями, показали, якою б гарною б не була добавка, як добре вона не рекламувалася, як добре вона себе не зарекомендувала на Заході, це не означає, що й у нас, на наших інертних матеріалах і цементі, вона покаже гарні результати. Треба мати на увазі, що там, за кордоном, дуже висока якість цементу та інших компонентів бетону. Там, зокрема, величезна увага приділяється зерновому складу щебеню і навіть піску. Наприклад, у Німеччині фракційний пісок на бетонному виробництві розділений на окремі купи, і кожен споживач отримує бетон з таким зерновим складом, який він замовляв. Значить, і добавки в такому бетоні працюватимуть на всі 100%.

Досвід виробників показав, що імпортні добавки в ряді випадків погано працюють як з вітчизняними цементами, так і в поєднанні з вітчизняними домішками. Наприклад, деякі шведські суперпластифікатори несумісні з тими вітчизняними, які забезпечують морозостійкість бетону. Тобто, вибравши одну домішку іноземної фірми, виробники, як правило, змушені використовувати й інші добавки того ж виробника. А це не вигідно з економічної точки зору, тому є аналоги вітчизняного виробництва, набагато дешевші.

У нашій країні номенклатура модифікаторів, запропонованих до застосування, дуже велика (кількість модифікаторів, які входять до переліку будівельного каталогу СК-4 «Хімічні добавки для бетонів і будівельних розчинів», перевищує 80 найменувань).

Для регулювання властивостей бетону, бетонної суміші та економії цементу застосовують різні добавки. Їх поділяють на два види: хімічні добавки, що вводяться в бетон у невеликій кількості (0,1-2% від маси цементу) і змінюють в потрібному напрямку властивості бетонної суміші та бетону, і тонкомолоті добавки (5-20% і більше), що використовуються для економії цементу, отримання щільного бетону при малих витратах цементу і підвищення стійкості бетону. Застосування хімічних домішок є одним з найбільш універсальних, доступних і гнучких способів управління технологією бетону і регулювання його властивостей. Якщо раніше найбільш широко в будівництві використовувалися у вигляді домішок окремі хімічні продукти і модифіковані відходи промисловості, то в даний час переважають добавки, спеціально виготовлені для бетону (суперпластифікатори, органо-мінеральні та інші). Плани розвитку будівельної індустрії передбачають значне розширення виробництва бетонних сумішей з використанням ефективних добавок, застосування нових видів добавок.

Хімічні добавки класифікують за основним ефектом дії:

1) регулюючі властивості бетонних сумішей:

- пластифікуючі добавки, що збільшують рухливість бетонної суміші;
- стабілізуючі добавки, що попереджають розшарування бетонної суміші;
- водоутримуючі, що зменшують водовідділення;

2) домішки регулюють схоплювання бетонних сумішей і твердіння бетону:

- домішки, що прискорюють або сповільнюють схоплювання, що прискорюють твердіння, що забезпечують твердіння при негативних температурах (противоморозні);

3) регулюючі щільність і пористість бетонної суміші та бетону:

- повітрязалучаючі, газоутворюючі, піноутворюючі, ущільнюючі (повітрявидаляючі і кольматуючі пори бетону);

4) домішки – регулятори деформацій бетону, що розширюють добавки;

5) підвищують захисні властивості бетону, сталі, інгібітори корозії сталі;

6) добавки – стабілізатори, що підвищують стійкість бетонних сумішей проти розшарування, що знижують водо видалення;

7) домішки надають бетону спеціальні властивості:

- гидрофобизуючі добавки, що зменшують змочування бетону;

- антикорозійні добавки, що підвищують стійкість в агресивних середовищах, фарбувальні, що підвищують бактерицидні та інсектицидні властивості, електроізоляційні, електропровідні, протирадіаційні.

Деякі добавки мають полі функціональну дію, наприклад, пластифікуючи і повітрязалучаючі, газоутворюючі і пластифікуючи та ін.. У цьому випадку домішку класифікують за найбільш вираженим ефектом дії.

Велике значення має ефективність впливу добавки на бетонну суміш або бетон, яку зазвичай оцінюють за величиною максимального технічного ефекту, що досягається при введенні даної добавки. Добавки одного класу можуть помітно відрізнятися за ефективністю. У цьому випадку застосовують додаткову класифікацію добавок по групах, які володіють певною ефективністю. Наприклад, добавки пластифікатори ділять на чотири групи або категорії за ефективністю (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 - Класифікація пластифікаторів

Категорія	Група	Ефективність дії	
		Зміна рух. опади	Зменшення водо потреби рівно рухливих сумішей,%
I	Суперпластифікатор	від 2..3 до 20	Не менше 20
II	Сильний пластифікатор	від 2..3 до 4..20	10
III	Середній пластифікатор	від 2..3 до 8..14	5
IV	Слабкий пластифікатор	від 2..3 до 6..8	Менше 5

Пластифікатори бетонних сумішей почали широко застосовувати в 40-50-х роках, і сьогодні вони посідають провідне місце серед хімічних добавок, застосовуваних у технології бетону. В якості пластифікуючих домішок широко використовують поверхнево-активні речовини (ПАР), нерідко одержувані з вторинних продуктів та відходів хімічної промисловості. ПАР ділять на дві групи:

I група – пластифіцируючі добавки гідрофільного типу, що сприяють диспергированню колоїдної системи цементного тіста і тим самим поліпшують його плинність;

II група – гидрофобизируючі добавки, що залучають у бетонну суміш дрібні бульбашки повітря. Молекули поверхнево-активних гідрофобних добавок, адсорбуючись на поверхні розділу повітря – вода, знижують натяг води, і стабілізують найдрібніші бульбашки в цементному тісті. Домішки II групи, основним призначенням яких є регулювання структури та підвищення стійкості бетону, володіють при цьому помітним пластифікуючим ефектом.

З домішок I групи широко відома сульфітна-дріжджіва бражка (СДБ). Ця добавка являє собою кальцієві солі лігносульфонових кислот. Отримують її у вигляді рідини з сульфітних лугів, що утворюються при переробці целюлози. Випускають також пластифікатор адипінів лужний (ПАЩ-1), упарену після дріжджову барду (УПБ), пластифікатор ВРП-1 та ін.

До добавок II групи відносять: смолу нейтралізовану повітрязалучаючу (СНП); натрієву сіль абієтинової кислоти, одержану у вигляді порошку або рідини шляхом омилення каніфолі їдким натром; омиленої деревне – пек (препарат ЦНПІПС-1) – пасту, одержану нейтралізацією їдким натром рідких кислот деревного пеку; смолу деревну омилену (СДО), синтетичну поверхнево-активну добавку (СПД), одержану з відходів нафтопереробки, сульфазол (С), (ОП) та ін.

У звичайних бетонах в якості пластифікатор широко використовують СДБ. СДБ підвищує рухливість бетонної суміші, її однорідність, текучість при перекачуванні насосом, сприяє збуренню легкоукладальності суміші в часі, дозволяє за рахунок зменшення витрат води скоротити на 8-12% витрати цементу,

або при незмінній витраті цементу знизити водо цементне співвідношення і кілька підвищити міцність бетону, його водонепроникність і морозостійкість. СДБ декілька уповільнює твердіння бетону в ранньому віці, тому при виробництві збірного залізобетону її застосовують у поєднанні з добавками – прискорювачами твердіння цементу. Добавка зменшує тепловиділення цементу в перші дні твердіння, що полегшує зведення масивних залізобетонних споруд; СДБ в основному впливає на цементне тісто, тому найбільш ефективно її застосування в бетонах з досить високою витратою цементу.

Повітрязалучаючі добавки використовують головним чином для підвищення морозостійкості бетонів і розчинів. Ці добавки знижують міцність бетону (1% залученого повітря знижує міцність бетону на стиск на 3%), тому не слід в бетонну суміш з метою її пластифікації вводити велику кількість повітрявтягуючіх добавок. Зміст залученого повітря становить зазвичай 4-5%. У цьому випадку міцність бетону практично не знижується, бо негативний вплив залученого повітря нейтралізується підвищенням міцності цементного каменю внаслідок зменшення водоцеменного відношення за рахунок пластифікую чого ефекту добавки. Повітровтягуюча добавка гідрофобізує пори і капіляри бетону, а повітряні бульбашки служать резервним об’ємом для замерзання води без виникнення великих внутрішніх напружень. У результаті значно підвищуються водонепроникність і морозостійкість бетонів. Повітрязалучаючі домішки більш ефективні в бетонах з малою витратою цементу.

В якості газозберігаючої добавки широко використовують алюмінієву пудру (ПАК) і ГКЖ-94. Навпаки, для ущільнення структури бетону додають нітрат кальцію (НК), хлорид і сульфат заліза (ХЖ і СЖ), сульфат алюмінію (СА), діетіленгліколіевую ДЕГ-1 або тріетіленгліколіевую ТЕГ-1 смоли.

Для уповільнення зчеплення застосовують кормову цукрову патоку (КП), нітрілотріметіленфосфонову кислоту (НТО) і маткові розчини її виробництва, а також добавки СДБ, ГКЖ-10 і ГКЖ-94 у підвищених дозах.

Для гідрофобізації бетону, підвищення його стійкості в агресивному середовищі і довговічності застосовують гідрофобно- пластифікуючи

кремнійорганічні рідини: метілсіліконат натрію ГКЖ-11, етілсіліконат натрію ГКЖ-10, етілгідросілоксанову рідину ГКЖ-94.

Для ущільнення структури бетону використовують $FeCl_3$, як інгібітор корозії – нітрит натрію, біхромат калію, для поліпшення протирадіаційних властивостей – солі важких металів, для підвищення електропровідності – кокс, для надання бактерицидних властивостей – ОСС, для стабілізації бетонної суміші – метил целюлозу та ін.

Перераховані добавки не вичерпують усього різноманіття наявних сьогодні в арсеналі технолога модифікаторів бетону. Вміле користування ними забезпечує значне підвищення якості бетону та економію ресурсів при його виготовленні.

Хімічні добавки поставляються у вигляді водних розчинів, порошків і емульсій. Більшість добавок розчинні у воді, і їх вводять в бетонозмішувач у вигляді попередньо приготованого розчину. Деякі домішки вводять у вигляді емульсії (ГКЖ-94) або у вигляді суспензії у воді (ПАК). Оптимальне дозування добавки залежить від виду цементу, складу бетонної суміші, технології виготовлення конструкції. Зазвичай застосовують (% від маси цементу): пластифікуючи добавок – 0,1-0,3; суперпластифікаторів – 0,5-1; повітрязалучаючих добавок – 0,01-0,05; прискорювачів твердіння – 1-2. На практиці оптимальне дозування добавки визначають дослідним шляхом.

Для отримання ефекту поліфункціональної дії застосовують комплексні добавки, що включають кілька компонентів, наприклад, добавки,що одночасно пластифікують бетонну суміш і прискорюють твердіння бетону та ін. Розроблено велику кількість різноманітних комплексних добавок, що дозволяють здійснювати дієві управління властивостями і технологією бетону. Комплексні добавки умовно можна розділити на п’ять груп: суміші поверхневих речовин (I), суміші поверхневих речовин і електролітів (II), суміші електролітів (III), комплексні добавки на основі суперпластифікаторів (IV), складні багатокомпонентні комплексні добавки (V).

У комплексних добавках I групи найбільш часто застосовують сполучення пластифікуючих компонентів диспергуючої дії і гідрофобізуючих

Повітрязалучаючих (СДБ + СНО, ПАЩ + СПД) або гідрофобізуючих газоутворюваних компонентів (СДБ + ГКЖ-94). Перші компоненти добре пластифікують жирні бетонні суміші з високою витратою цементу, другі, навпаки, худі бетонні суміші.

Внаслідок відмінності в сорбційній здатності до мінералів цементного клінкеру добавки показують різну ступень ефективності при використанні різних по мінералогічному складу цементів. СДБ виявляються більш ефективними при застосуванні алюмінатних цементів, а гідрофобні домішки-при застосуванні цементів з підвищеним вмістом силікатів кальцію.

У комплексних гідрофобно-пластифікуючих добавках окремі компоненти доповнюють один одного, роблячи домішки більш універсальними.

Добре розріджуючи бетонну суміш, комплексні добавки I групи одночасно змінюють в потрібному напрямку структуру бетону і його властивості. В результаті в 2-5 разів збільшується морозостійкість бетону, на 1-2 марки – його водонепроникність, підвищується його корозійна стійкість. Задана рухливість бетонної суміші зберігається протягом 2-3 годин, що особливо важливо при транспортуванні суміші на великі відстані і при бетонуванні в умовах сухого спекотного клімату. У ряді випадків на 5-10% скорочується витрата цементу для отримання бетону із заданими технічними показниками.

Поєднання ПАР з різним механізмом впливу на бетонну суміш може сприяти підвищенню загального розріджую чого ефекту. Наприклад, введення в розчин СДБ кубових залишків синтетичних жирних кислот (КЗСЖК) або кубових залишків вищих жирних спиртів (КЗВЖС) сприяє зниженню повітря залучення і тим самим дозволяє збільшити дозування СДБ і відповідно рухливість бетонної суміші.

Цікавим новим напрямком є поєднання пластифіцируючого і стабілізуючого компонентів, наприклад, СДБ і поліоксітілена (ПВЕ) або СДБ і метилцелюлози (МЦ). Ці добавки дозволяють отримувати бетонні суміші з підвищеною зв’язністю, що сприяє транспортуванню бетонної суміші лотками і

трубопроводами, виготовлення виробів методом екструзії, забезпечують нерозшарованність легких бетонних сумішей.

Разом з тим комплексні добавки I групи сповільнюють гідротацію цементу, що необхідно враховувати при виготовленні конструкцій. Бетон з такими добавками слід витримувати не менш 2 год. до теплової обробки, швидкість підйому температури не повинна перевищувати 15-20°С/год., а загальна тривалість тепловологісної обробки повинна становити не менше 13 год. для бетонів на портландцементах і не менше 14 год. для бетонів на шлако і пуцоланових цементах.

Комплексні добавки II групи, що включають ПАР і електроліти, розширюють можливість модифікації бетону і бетонної суміші. Введенням електролітів регулюється темп твердіння і поліпшуються структурно-механічні властивості бетону, наприклад, підвищується його щільність, а ПАР дозволяють регулювати рухливість бетонної суміші, її повітря зміст, надають бетону деякі спеціальні властивості (гідрофобність та ін.).

У технології бетону використовують добавки СДБ-СН, СДБ + ННХК , СДБ + ГКЖ-94 + СН, ГКЖ-10 + НК та ін. Поєднання СДБ з СН або ННХК забезпечує достатній темп твердіння бетону і позитивно впливає на його щільність і непроникність, дозволяючи одночасно економити 8-15% цементу за рахунок зниження водо потреби бетонної суміші. При збереженні його заданої рухливості поєднання з електролітами кремнійорганічних сполук забезпечує високу морозостійкість і корозійну стійкість бетону.

Разом з тим, проектуючи комплексні добавки II групи, необхідно враховувати, що деякі компоненти можуть володіти несумісністю. Наприклад, деякі ПАР утворюють з кальцієвими і алюмінієвими солями важкорозчинні сполуки; електроліти в ряді випадків знижують ефективність повітрязалучаючих добавок та ін. Іноді, щоб зменшити негативний вплив несумісності окремих компонентів комплексної добавки, застосовують їх роздільне введення в бетонну суміш, що ускладнює технологію і призводить до додаткових витрат.

У комплексних добавках III групи поєднання електролітів з різним механізмом впливу на бетонну суміш і бетон дозволяє усунути недоліки деяких однокомпонентних добавок і домогтися полі функціонального ефекту. Наприклад, поєднання прискорювачів твердіння і інгібіторів (ННХК, ХК + НН, ННК) зменшує небезпеку корозії арматури в залізобетонних конструкціях, а поєднання поташу й алюмінату натрію регулює терміни схоплювання бетонної суміші. Найбільш широко комплексні добавки III групи використовують при зимовому бетонуванні.

Особливий розвиток комплексні добавки отримали із створенням і впровадженням у промисловості суперпластифікаторів (IV группа). Багато суперпластифікаторів по суті, являють собою комплексні добавки на основі високоефективних поверхнево-активних речовин. Наприклад, суперпластифікатор С-3 поряд з основним діючим компонентом – продуктом конденсації нафталін сульфокислоти і формальдегіду містить невеликі добавки лігносульфонатів і сульфату натрію. До суперпластифікаторів додають хлорид, нітрат і глюконат кальцію, тіосульфат і бікарбонат натрію, лігносульфонати, поліоксиетилен, карбоксиметилцелюлозу, синтетичні мікропіноутворювачі, солі винної кислоти, похідні цукрі та інші речовини.

Введення в суперпластифікатори додаткових компонентів: дозволяє регулювати терміни схоплювання і темп твердіння бетону; збільшити терміни збереження рухливості бетонної суміші; зменшити водовідведення і розшарування бетонної суміші; регулювати повітря зміст бетонної суміші, пористу структуру бетону і її проникність і тим самим забезпечувати задану морозостійкість; підвищити щільність, водонепроникність і міцність бетону; поліпшити якість поверхні бетону; зменшити витрату синтетичного продукту і знизити вартість добавки без погіршення її властивостей. В залежності від призначення комплексної добавки добираються додаткові компоненти до суперпластифікатора.

У нашій країні розроблені і впроваджуються в технологію бетону високоефективні комплексні добавки на основі суперпластифікаторів. Комплексні

добавки, що включають суперпластифікатор і прискорювач твердіння (С-3 + СН, 10-03 + СН, С-3 + ННХК, 10-03 + ННХК та ін.), скорочують на 20-40% час тепловологісної обробки, особливо при форсованих режимах обробки, а в деяких випадках дозволяють відмовитися від неї. Для економії суперпластифікатора і кращого збереження рухливості бетонної суміші в часі застосовують стабілізатори, наприклад СДБ. У виробництві збірного залізобетону ефективні комплексні добавки 10-03 + СДБ + ННХК, 10-03 + СДБ + СН та ін.

Для підвищення морозостійкості ефективні комплексні добавки, що включають суперпластифікатор і повітровтягувальний компонент (С-3 + СНО, 10-03 + СНО, 10-03 + СДБ + СНО та ін.). Для інтенсифікації твердіння в них може вводитися прискорювач твердіння, для захисту арматури від корозії – інгібітор (С-3 + СНВ + ННХК, 10-03 + СНВ + ННХК). Застосування подібних добавок забезпечує високу морозостійкість бетонів, отриманих на основі високо рухливих і литих бетонних сумішей.

До складу комплексних добавок, призначених для підвищення корозійної стійкості залізобетонних конструкцій в агресивному середовищі, включають суперпластифікатор, диспетчерські повітрязалучаючі добавки та ефективні інгібітори: нітрит натрію. Тетраборат натрію, біхромат кальцію (С-3 + СНВ + ПН, 10-03 + СНВ +НН, С-3 + ГКЖ-10 + БК, Ю-03 + ГЮК-10 + НН).

Для значного збільшення часу збереження рухливості І тонною суміші (до 3-6 год.) до суперпластифікаторів додають сповільнювачі схоплювання (НТФ, КП).

Комплексні добавки, на основі суперпластифікаторів, є найбільш ефективними і перспективними модифікаторами властивостей бетонної суміші та бетону. У найближчі роки застосування їх в технології бетону буде розвиватися швидкими темпами.

До комплексних добавок V групи можна віднести складні багатокомпонентні комплекси, призначені для спеціальних цілей. Наприклад, до них належить добавка, що включає ПАК + СДБ + СН і призначена для отримання безусадкових бетонів та ін. До цієї групи комплексних добавок можна віднести і

бітумні емульсії і суспензії. Ці добавки мають гідрофобнопластифікуючий ефект і застосовуються для підвищення непроникності бетону. До складу бітумної емульсії входять бітум (як правило, марки БН), СДБ, що служить емульгатор, - 5%, вода – 45%. Суспензія містить 45% бітуму, 2% СДБ (50%-вого водного розчину), 53% каолінової суспензії. Бітумні дисперсії вводять в бетонну суміш в кількості 5-7% від маси цементу. При використанні бітумних емульсій необхідно враховувати, що виділені при гідролізі цементу солі кальцію можуть змінювати хімічну природу деяких емульгаторів, що призводить, у свою чергу, до перетворення прямої емульсії (бітум у воді) у зворотний (вода в бітумі). У результаті замість позитивного може спостерігатися негативний вплив подібних емульсій на бетонну суміш і бетон. СДБ є емульгатором, що не викликає звернення фаз, і може успішно використовуватися в цій якості.

Поліпшенню властивостей бітумних емульсій сприяє застосування твердих порошкоподібних емульгаторів-стабілізаторів. Додавання високодисперсних гідрофільних компонентів, наприклад, каоліну,бентонітової глини з крайовим кутом змочування менш 90°, сприяє отриманню прямої суспензії, в якій при змішуванні з цементним тістом не відбувається звернення фаз.

Комплексні добавки, що включають емульгатор (СДБ) або вирівнювач (речовина, що сприяє рівномірному розподілу одного компонента в іншому, наприклад, ОП-7), гідрофобізатор (СНО і ін.) . І тонко дисперсні гідрофільні порошки (бентонітова глина) використовують для стабілізації властивостей литих бетонних сумішей. Спільне застосування подібних добавок у поєднанні з суперпластифікаторами забезпечує отримання литих сумішей, що не розшаровуються.

Комплексні добавки випускають у вигляді готового продукту або готують безпосередньо на бетонозмішувальних вузлах з окремих компонентів, що вимагає додаткового устаткування і витрат. Найбільш технологічно застосування водних розчинів і паст-добавок, а для районів Крайньої Півночі і Далекого Сходу – порошкоподібних добавок.

2.2 Вибір сировинних матеріалів для виробництва бетону

Якість бетону більшою мірою залежить від використовуваних матеріалів. Правильний вибір матеріалів для бетону, що враховує як вимоги до бетону, так і властивості самих матеріалів, - важливий етап у проектуванні складу бетону.

Властивості й якість вихідних матеріалів для приготування бетонної суміші – в'яжучого, великого заповнювача і дрібного заповнювача, добавок – мають вирішальне значення у формуванні властивостей бетонної суміші і затверділого бетону, впливають на технологію і техніко-економічні показники виробництва виробів. Тому основні властивості і характеристики вище перелічених матеріалів, їх раціональна галузь застосування суворо регламентуються відповідними нормативними документами.

Залежно від виду, призначення та особливостей експлуатації бетону та бетонних виробів застосовуються різні в'яжучі речовини. Ці речовини при змішуванні з водою під впливом внутрішніх фізико-хімічних процесів здатні схоплюватися (переходити з рідкого або пастоподібного стану в каменевидне) і тверднути (поступово збільшувати свою міцність). Основна властивість, що характеризує якість будь-якого цементу, - його міцність (марка). Дійсну міцність цементу називають його активністю. Крім вимог міцності до цементів пред'являються й інші вимоги, причому найбільш важливими з них є нормальна густота і терміни схоплювання. Нормальною густотою називають вміст води (%), яку необхідно додати до цементу, щоб отримати певну консистенцію цементного тісту.

Терміни схоплювання цементу, що визначаються на спеціальному приладі за глибиною проникнення голки в цементне тісто,характеризує початок і кінець схоплювання (перетворення матеріалу в тверде тіло).

Вибір цементу необхідно проводити не тільки перевіряючи відповідність його властивостей вимогам ДСТУ, а й з огляду на технологічний процес виготовлення виробів, їх призначення й умови експлуатації. При проектуванні

складу бетону більш доцільно використовувати показник активності цементу для забезпечення точності результатів та економії в’яжучої речовини.

Заповнювачі складають у бетоні до 80% об’єму і впливають на властивості бетону, його довговічність і стійкість. Введення в бетон заповнювачів дозволяє різко скоротити витрату цементу, що є найбільш дорогим і дефіцитним матеріалом. Крім того, заповнювачі покращують технічні властивості бетону. Жорсткий скелет з високоміцного заповнювача значно збільшує міцність і модуль деформації бетону, зменшує деформації конструкцій під навантаженням, а також повзучість бетону – незворотні деформації, що виникають при тривалій дії навантаження. Правильний вибір заповнювачів для бетону, їх розумне використання – одне з найважливіших завдань технології бетону. У бетоні застосовують великий і дрібний заповнювач. Крупний заповнювач (більш 5 мм) підрозділяють на гравій та щебінь. Дрібний заповнювач в бетоні – це природний або штучний пісок. До заповнювачів для бетонів пред’являються вимоги, що враховують особливості впливу заповнювача на властивості бетону. Заповнювач є сукупністю окремих зерен, тобто є зернистим матеріалом, для якого є ряд загальних закономірностей. Найбільш суттєвий вплив на властивості бетону надає зерновий склад, міцність і чистота заповнювача.

Для регулювання властивостей бетону, бетонної суміші та економії цементу застосовують різні добавки. Їх поділяють на два види: хімічні добавки, що вводяться в бетон в невеликій кількості (0,1-2% від маси цементу) і змінюють в потрібному напрямку властивості бетонної суміші та бетону, і тонкомолоті добавки (5-20% і більше) використовуються для економії цементу, отримання щільного бетону при малих затратах цементу і підвищення міцності бетону. Застосування хімічних добавок є одним з найбільш універсальних, досяжних гнучких способів управління технологією бетону і регулювання його властивостей. Передбачається значне розширення виробництва бетонних сумішей з використанням ефективних домішок, застосування нових видів добавок.

Для приготування бетонної суміші використовують водопровідну питну, а також будь-яку воду, що має водневий показник pH не менше 4, тобто некислу, що не фарбує лакмусовий папір в червоний колір.

Вода не повинна містити сульфатів більше 2700мл/л (в перерахунку на SO_4) і всіх солей не більш 5000 мл/л. У сумнівних випадках придатність води для приготування бетонної суміші необхідно перевіряти шляхом порівняльних випробувань зразків, виготовлених на даній воді і на звичайній водопровідній.

Для виготовлення попередньо-напружених плит перекриття були прийняті наступні вихідні матеріали і напівфабрикати:

- цемент:

а) вид – портландцемент;

б) марка – 400, 500;

в) щільність – $\rho_ц = 3{,}10 г/см^3; \gamma_ц^н = 1{,}3 г/см^3$;

г) постачальник цементу: "Кривий Ріг Цемент";

- щебінь:

а) вид – гранітний;

б) марка – 1200;

в) щільність – $\rho_щ = 2{,}63 г/см^3; \gamma_щ^н = 1{,}45 г/см^3$;

г) постачальник щебеню: «Мокрянський кам’яний кар’єр №3»;

д) вологість 1%, фракція 5-10, 10-20 мм;

е) зміст мулистих і глинистих домішок 2÷4%;

- пісок:

а) вид – кварцовий;

б) модуль крупності $M_{кр} = 1{,}5$;

в) щільність – $\rho_п = 2{,}63 г/см^3; \gamma_п^н = 1{,}65 г/см^3$;

г) постачальник піску: «Запорізький річковий порт»;

д) зміст мулистих і глинистих домішок 1 ÷ 2%;

- арматурна сталь:

а) класів А240; А400 … А1000 – ДСТУ 3760:2019 [20];

б) класів Вр-1 – ТУ У 24.3-26209430-093:2016 [21].

2.3 Обґрунтування вибору хімічних добавок в бетони

Основні тенденції технології бетону за останні 20-30 років пов’язані із застосуванням хімічних добавок, ефект дії яких забезпечують насамперед значне водозниження, регулювання в широких межах реологічних властивостей бетонної суміші, її зв’язності, а також мікроструктури цементного каменю, темпів наростання міцності бетонів в літніх і зимових умовах та ін.

Добавки зараховують відповідно до норми EN 934-2 [14], до класу пластифікаторів і суперпластифікаторів, відомі з минулого століття (табл.2.2).

Таблиця 2.2 - Хронологія розвитку пластифікуючих добавок

Рік	Хімічна основа добавки	Водозниження,%
1932	Сульфовані нафталіно-формальдегіди	15-25
1939	Лігносульфонати	5-15
1960	Сульфовані меламіно-формальдегіди	10-25
1993	Полікарбоксилати (акрилати)	20-30
1997	Ефір полікарбосілановий	25-40

Полімерна основа водорозчинних пластифікуючих добавок зумовлює можливості дезагрегірования частинок в’яжучого, умови їх змочування, адсорбції, формування поверхневих плівок, гальмування початкової гідратації та ін. У свою чергу ефективність пластифіцируючої дії, як тепер добре відомо, залежить від будови полімерної молекули, природи, обсягів та Полімерна основа водорозчинних пластифікуючих добавок положення гідрофільних полярних груп, молекулярної маси, олігомерного складу і ряду інших позицій (рис.2.1).

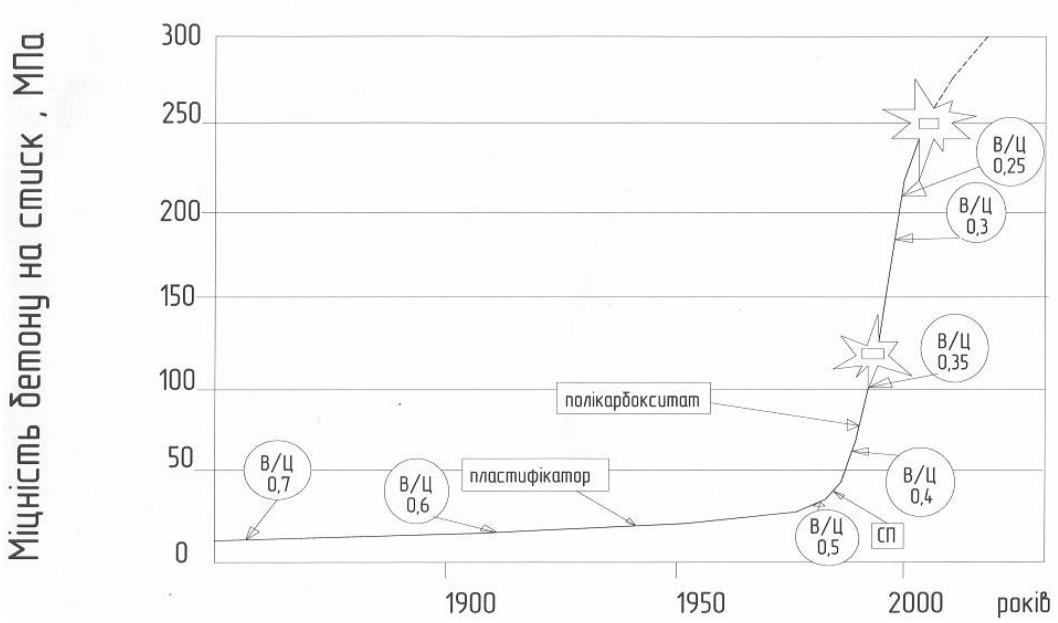


Рисунок 2.1 – Розвиток технології бетону

Найбільш доступні з економічної точки зору технічні лігносульфонати (ЛСТ). У будові цих полімерів виявлено до 20 структурних одиниць з молекулярною масою в інтервалі 20000…30000 г/ моль. Тільки частина одиниць має Сульфонатні групи. Молекули ЛСТ обволікають частинки цементу плівкою з негативним зарядом. Електростатичні сили сприяють незначному відштовхуванню частинок і підвищенню тим самим показників легкоукладальності.

У сульфованих нафталін– і меламінформальдегідах олігомери з молекулярною масою приблизно 30000 г/ моль представлені в основному 5-6 повторюваних структурними одиницями. Кожен структурний фрагмент забезпечує більший ефект диспергування (дефлокуляції), часток цементу у порівнянні з лігносульфонатів. Це призводить до значного водозниження при однаковому дозуванні добавки і, як наслідок, більш істотний вплив на зручновкладуваність. Ефект уповільнення гідратації в значній мірі залежить від дозування добавки.

До нового покоління суперпластифікаторів на базі полікарбоксілатів і поліакрилатів відносять з’єднання, що забезпечують високу рухливість бетонних сумішей при низьких значеннях В /Ц до 0,28 – 0,3 для отримання

самоущільнюваних та подібних типів бетонів. За рахунок наявності полікарбоксіланових ефірів у складі добавок модифікуються сополімери широкого діапазону мономерів з різними властивостями. Їх основна структура – гребінка, стовбур, головний ланцюг – молекули з вільними карбоксильними групами і часто з солями натрію. Групи поліефіру, пов'язані з полікарбоксилатами хімічними зв'язками формують бічні ланцюги (рис.2.2). У цьому криється потенційна можливість значного зниження водо вміщення і тривалого збереження високої рухливості. Очевидно, у зв'язку саме з цією обставиною зазначені хімічні сполуки відносять до ультра – або гіперпластифікаторів.

Ефективність дії добавок – пластифікаторів взаємопов'язана з зарядами поверхні зерен цементу і здібностями їх до агрегуванню.

При замішуванні основних мінералів цементного клінкеру розчинними добавками змінюються заряди і значення ξ – потенціалу на межах розділу «тверде - рідина». Адсорбція лігносульфонатів, нафталін – і меламінформальдегідів носить менш виборчий (селективний) характер, ніж полікарбоксилатів, частіше адсорбируючі на алюмінат ній фазі клінкеру і $CaSO_4$-$2H_2O$ Крім того відзначаються можливості формування на поверхні зерен цементу органо фаз плівок при взаємодії суперпластифікатора з C_3A.

На рис.2.2 зображена модель взаємодії поліефірної структури з поверхнею зерна цементу.

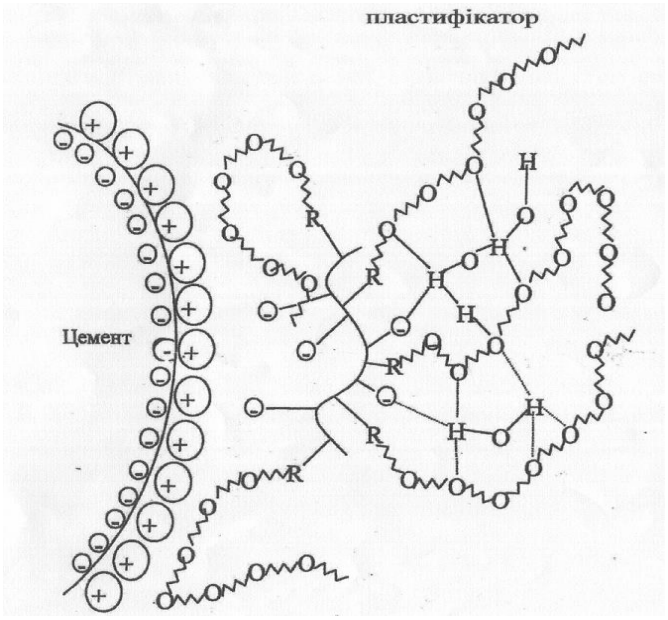


Рисунок 2.2 – Модель взаємозв’язку структури полікарбоксилату з поверхнею цементу

Комбінування складів і режимів синтезу нових різновидів суперпластифікаторів дозволяє в результаті регулювати ефекти і впливи на водовмістність і реологію бетонних сумішей. Важливо при цьому відношення вільних карбоксилатних груп (СОСГ) до прищепленої головного ланцюга молекули. Полікарбоксилати з менш вільними карбоксильними групами і більш коротким ланцюжком потребують більш тривалого періоду для адсорбції на зернах цементу.

Це дещо не ординарно, технологічне отримання у великій мірі запозичене з фундаментальних положень хімії поверхневих явищ. Незважаючи на певну віртуальність викладених уявлень, вони отримали загальну поширеність і служать як би відправною точкою в більшості досліджень останніх років. Загально прийнята, думка, що поліефіри формують на поверхні цементу гелі, які завдяки стеричному ефекту обумовлюють ефект типу мастила, збільшуючи зв’язність і легкоукладальність бетонної суміші.

У літературі для наочності часто вдаються до спрощених схематичних уявлень про можливі технологічні наслідки електростатичного та/або стеричного механізмів впливу суперпластифікаторів на здатність цементного тіста до

забезпечення плинності. Один з прикладів ілюстративного плану наведено на рис.2.3. У лівій частині схеми зображено можливе розташування частинок цементу у визначених обсягах простору, при цьому консистенція суміші – тістоподібна. У правій частині обсяг тіста заповнений повністю, а суміш має однорідну і текучу консистенцію.

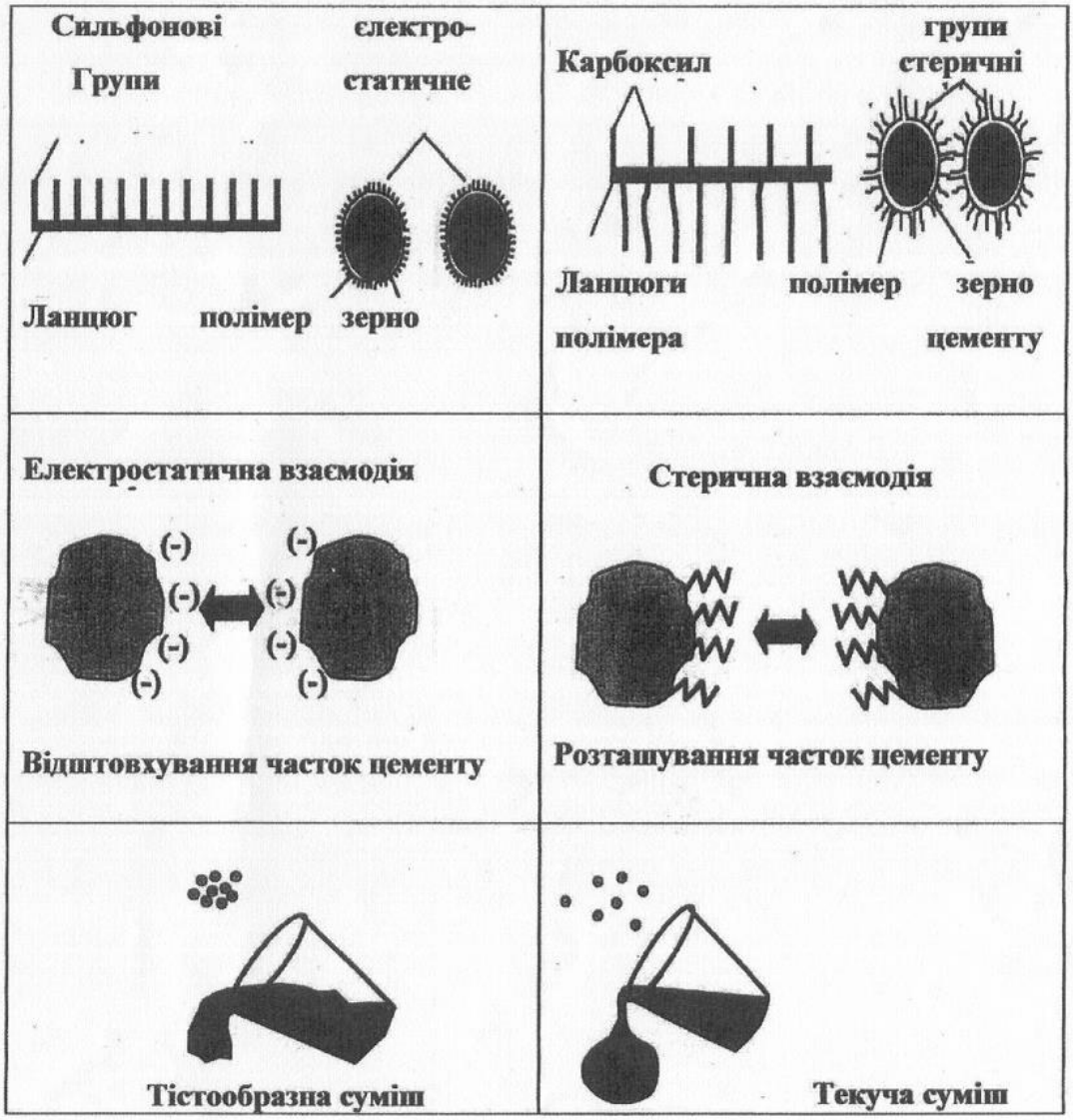


Рисунок 2.3 – Схеми дії суперпластифікаторів

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І МІЦНІСТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ ВИДІВ ХІМІЧНИХ ДОБАВОК

3.1 Дослідження характеристик бетонів з використанням хімічних добавок системи «Релаксол»

Добавки системи «Релаксол» - система комплексних хімічних добавок. Добавки виробляються відповідно ТУ УБВ.2.7-19266746.001-96 [22]. Добавки системи «Релаксол» традиційно підрозділяються на 4 основні групи і 19 типів залежно від призначення і технологічних ефектів. При цьому враховувався підхід, прийнятий в діючій класифікації ДСТУ Б.В.2.7.65 – 97 [23], поділу добавок на регулятори властивостей бетонної суміші, кінетики твердіння, структури і властивостей звичайних та спеціальних бетонів. Діюча класифікація, на жаль, недостатньо пояснює функціональність сучасних добавок. Приміром, суперпластифікатори і їх модифіковані різновиди, що різко знижують водо зміст бетонної суміші здатні регулювати процеси твердіння й наростання міцності в літніх і зимових умовах, сприяти залученню або придушенню повітря, збільшувати довговічність і стійкість бетону. Ще більш поліфункціональні домішки, введення яких змінює реологію суміші,хімічну взаємодію і характер формування мікроструктури.

Номенклатура добавок дозволяє вирішувати задані технологічні питання. При виборі добавок були визначені основні компоненти добавок, що використовуються для виробництва (таблиця 3.1).

В якості добавки суперпластифікатора на основі полікарбоксилату обрана добавка «Релаксол-Супер ПК», а в якості мінеральної тонко дисперсної на основі мікрокремнезема – «Релаксол – Універсал ВМ» «Релаксол – Супер ПК» – в’язка

рідина світло-коричневого кольору, щільність – 1,06 г/см, концентрація – 40%. Рекомендоване дозування – 0,1 – 0,8% від маси цементу за об’ємом.

«Релаксол – Універсал ВМ» - тонко дисперсний порошок. Вологість до 5%. Рекомендоване дозування – 5-10% від маси цементу.

Таблиця 3.1 - Компоненти, застосовувані для виробництва добавок системи «Релаксол»

№	Призначення	Речовина, продукт
1	Прискорення твердіння, антифриз	- Спеціально підготовлена технічна суміш – тіосульфат і роданид натрію Нітрати, нітрити, сульфати кальцію і натрію;
2	Уповільнення схоплювання, водозниження	- Лігносульфонати;
3	Пластифікування, водозниження	Сульфонафталін Формальдегід; - Полікарбоксилати, акрилати;
4	Регулювання структури	Повітрявміщувальні; Органічні і неорганічні піно-і газоутворювач;
5	Регулювання процесів твердіння, тепловиділенні структуроутворення	- Дисперсні мінеральні добавки (алюмосилікат, мікрокремнезем).

3.1.1 Дослідження властивостей бетону із застосуванням добавок системи «Релаксол»

Відомо, що технологічні ефекти модифікаторів засновані на фізико-хімічному механізмі їх дії. Регулювання реологічних властивостей бетонної суміші, ефекти пластифікування і водо редукування викликані, в основному, явищами змочування, адсорбції молекул пластифікатора на частинках цементу і

гідратних новоутвореннях. Прискорення твердіння пов’язано з інтенсифікацією хімічних реакцій, освітою зародків і кристалізацією складних гідратів.

Оскільки для виготовлення бетону із заданими параметрами були обрані дві добавки, то для вибору оптимального дозування і їх спільного застосування всі властивості бетонної суміші та бетону визначалися окремо для бетонів з добавкою «Релаксол-Супер ПК» «Релаксол-Універсал ВМ». Після визначення характеристик домішки вводилися разом. Добавка «Супер ПК» вводилася з водою замішування, а «Універсал ВМ» спільно з в’яжучим.

3.1.2 Методика визначення пластифікуючої і водоредукуючої здатності суперпластифікатора

Таблиця 3.2 - Базовий склад бетону

Компоненти бетонної суміші	Витрата компонентів на 1м³,кг
Цемент	365
Пісок	720
Щебінь фр. 5-10 10-20	400 800
Вода	180л.

Для визначення ефективності пластифікуючої здатності добавки виготовляються 2 склади: 1 – базовий (таблиця 3.2), без добавки і 2 – з попередньо визначеним оптимальною кількістю добавки з однаковим водо / цементним відношенням. Визначається рухливість бетонної суміші 2-х складів за допомогою стандартного конуса Абрамса. При цьому базовий склад виготовляється з рухливістю П1 (осіданням конуса рівний 2-3 см). За ступенем збільшення рухливості бетону з добавкою судять про класи пластифікатора (ДСТУ [23]).

Згідно ДСТУ [23] пластифікуючи добавки до бетонів та розчинів поділяються на 4 групи:

- пластифікуючі I групи (суперпластифікатори) – збільшують рухливість бетонної суміші від П1 до П5 (від 4 см і менше до 25 см) без зниження міцності бетону протягом усього терміну твердіння;

- пластифікуючі II групи (сильно пластифікуючі) збільшують рухливість бетонної суміші від П1 до П4 (від 4 см і менше до 16 см) без зниження міцності бетону протягом усього терміну твердіння;

- пластифікуючі III групи (середньо пластифікуючі) збільшують рухливість бетонної суміші від П1 до П3 (від 4 см і менше до 9 см) без зниження міцності бетону протягом усього терміну твердіння;

- пластифікуючі IV групи (слабо пластифікуючи) збільшують рухливість бетонної суміші від П1 до ГО (від 4 см і менше до 9 см) без зниження міцності бетону протягом усього терміну твердіння.

Оскільки «Релаксол-Супер ПК» відноситься до класу добавок нового покоління описана методика не характеризує його пластифікуючої здібності повною мірою. З рухливості П1 базового складу бетону з добавкою показав П5, але при цьому спостерігалося подальше протягом бетонної суміші.

Були проведені випробування у відповідності з Європейським стандартом за визначенням розпливу конуса. Методика полягає в тому, що виготовляється бетонна суміш із заданим водо / цементним відношенням, якою, без усіх видів ущільнення, заповнюється обсяг перевернутого конуса, після чого конус піднімається і фіксується час за який бетонна суміш розпливеться до діаметра спочатку 500мм, а потім час у перебігу якої бетонна суміш продовжує плисти і фіксується максимальний діаметр розпливу. Так як до складу мінеральної добавки входить компонент – пластифікатор, то пластифіцируюча здатність перевірялася і для добавки «Релакс-Універсал ВМ» за методикою описаної в ДСТУ [23]. З рухливості П1 базового складу бетон з добавкою показав П3, але при цьому втратив рухливість до П2 в протягом 30 хв.

При спільному введенні двох добавок пластифіцируюча здатність визначалася і за стандартним і по розпливанням. Результати випробувань представлені в таблиці 3.3.

Наступний етап оцінки пластифікуючої здібності – оцінка водоредукуючого ефекту. Для цього виготовлялися 2 склади: 1 – базовий із заданою рухливістю (О.К.= 3 см) і склад з оптимальною витратою добавки. При цьому постійною величиною залишалася рухливість бетонної суміші. Фіксувалась кількість води в обох складах. За величиною зниження кількості води замішування оцінювалася водоредукуюча здатність.

Випробування проводилися для кожної з добавок окремо.

Після визначення водоредукуючі здібності були виготовлені стандартні зразки-куби для визначення межі міцності при стисненні, так як задана рухливість (О.К.=2-3 см) задовольняє вимоги бетонування.

Після аналізу результатів, а саме зіставлення найбільшого пластифікую чого і водоредукуючого ефекту, міцності при стисканні у віці 1 доби була обрана витрата добавки «Супер ПК» – 0,5%, а «Універсал ВМ»- 5%. Був проведений другий етап – спільне введення двох домішок з оптимальним дозуванням. Бетон в присутності цих добавок відповідає вимогам заданих в процесі проектування бетонної суміші, а саме – малорухливий і легко ″границі міцності на стискання представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Результати визначення пластифікуючої здатності добавок

№ складу	О.К., см	Розпливання			Зниження В / Ц,%
		Час досягнення 500мм, с.	Загальний час плинності, с.	Діаметр розпливу, мм.	
1	2-3	-	-	-	0
2	12	10	30	530	15
3	18	6	45	650	20
4	23	3	50	720	28
5	8	-	-	-	5
6		-	-	-	8
7	15	-	-	-	12
8	18	-	-	-	16

3.1.3 Калориметричні методи

Склад і концентрація модифікаторів вибираються з умов прояву полі функціональної дії індивідуальних компонентів з урахуванням посилення досягаються технологічних ефектів при спільному введені в комплексні. Ефективність будь – якої добавки системи оцінюється за відповідними вимогами нормативних документів щодо технологічних і фізико – хімічних властивостей.

Система добавок «Релаксол» формується з поєднань хімічних продуктів, які, в загальному вигляді, можна уявити, як – «прискорювач твердіння», «пластифікатор» і «стабілізатор».

Результати отримані раніше в колориметричному центрі Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури підтверджують вибір оптимальної витрати добавки.

Як і інші модифікатори в технології бетону, ці добавки максимальний ефект проявляють на самих ранніх стадіях твердіння. Оскільки технологічні ефекти є результатом механізму дії добавок, то її оцінка фізико – хімічними методами представляє великий інтерес з наукової та практичної точок зору. До числа таких методів відноситься калориметрія, що дозволяє за показниками тепловиділення з високим ступенем надійності та об’єктивності визначати термокінетичну характеристику – інтенсивність і тривалість ранніх стадій гідратації цементів у присутності добавок.

На рис.3.1 представлені результати колориметричного аналізу впливу компонентів системи «Релаксол» на тепловиділення при гідратації портландцементу (C3S-57%, C2S-23%, C3A-8%, C4AF-12%). Концентрація індивідуальних добавок обрана з розрахунку досягнення максимального технологічного ефекту. Випробування виконані на диференціальному мікрокалоріметрі. Навішування в’яжучого 1м., водотверде ставлення -0,5м., температура випробувань – 25°C.

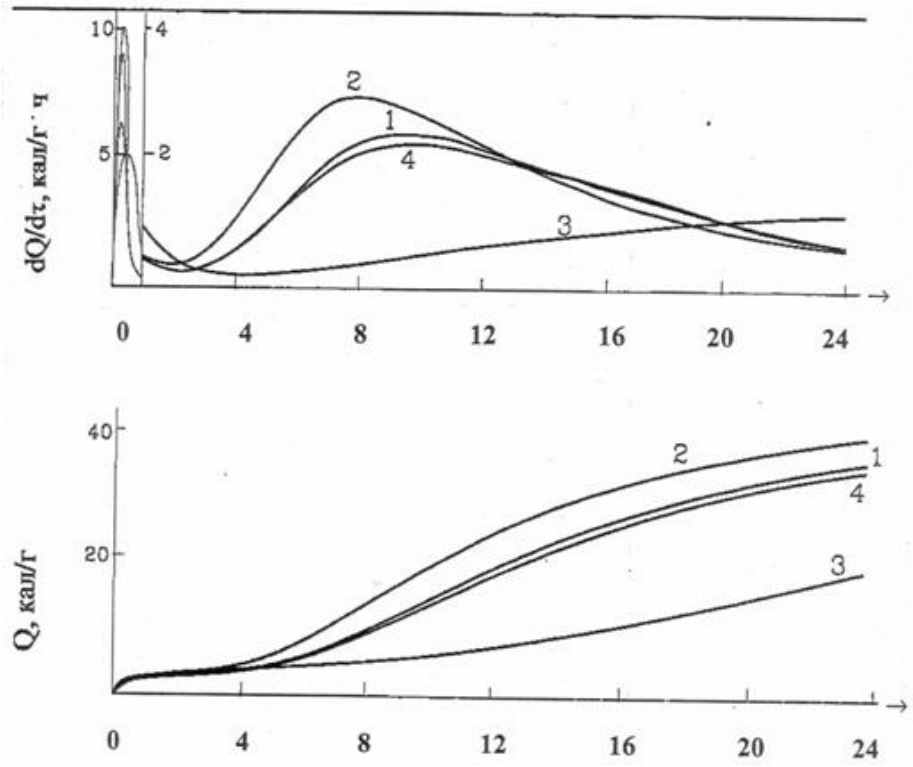


Рисунок 3.1 – Швидкість (dQ/dx) та повнота (Q) тепловиділення при гідратації: 1 – цементу; 2 – у присутності мікрокремнезема; 3 – полікарбоксілатов; 4 – стабілізатора, що входить складу «Супер ПК».

Як випливає з наведених даних, добавки не змінюють принципово хід залежностей тепловиділення, впливаючи в різній мірі на термокінетичні показники. Хімічний компонент (концентрація 5%) обумовлює підвищення абсолютної величини основного екзоефекту, що досягається в більш короткі терміни – 8 год., замість 9 год. для контрольного зразка.

Зростає також показник теплоти гідратації цементу за 24 години з 35,5 до 39,4 кал/г, тобто на 10%. Це явне свідчення інтенсифікації процесів твердіння в'яжучого в присутності прискорюючого компонента. Пластифікатор, введений в кількості 0,5%, гальмує, а можливо і блокує початкові реакції за рахунок адсорбційних явищ, значно знижуючи інтенсивність та повноту тепловиділення. При цьому тривалість індукційного періоду збільшується з 4,7 до 10,3 год., а теплота гідратації, за 24 год., зменшується майже в два рази – з 35,5 до 18,9 кал/г. Стабілізатор (концентрація 0,1%) у великій мірі компенсує цей вплив. За

термокінетичними характеристиками гідратація цементу, в його присутності, наближається до контрольних значень.

Обговорювані результати підтверджують справедливість висунутої нами концепції про кінетичну селективність впливу хімічних домішок на процеси твердіння та взаємозв'язок термокінетичних характеристик гідратації з технологічними ефектами їх дії. Склади модифікаторів «Релаксол» підбираються з урахуванням цієї концепції з умов посилення позитивного та зниження (усунення) негативного впливу кожного з компонентів.

3.1.4 Фізико – механічні показники

3.1.4.1 Характеристики міцності бетону з добавками системи «Релаксол»

Для вивчення кінетики набору міцності були виготовлені кілька серій зразків для визначення межі міцності при стисненні відповідно до ДСТУ Б В.2.7-214:2009 [24]. Зразки складів з 1 по 8. Зразки зберігалися в камері природного твердіння. Випробування проводилися в різні терміни, а саме: 1, 3, 7, 28 діб. Результати випробувань представлені в таблиці 3.4

Таблиця 3.4 - Результати визначення міцності при стисненні

№ складу	Межа міцності при стисненні. МПа, діб.			
	Приріст міцності по відношенню до базового складу, %			
	1	3	7	28
1	2	3	4	5
1	440	1100	1540	2200
2	90 104	130 18	200 30	250 14

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5
3	100 27	140 27	220 43	270 23
4	80 81	160 45	280 81	340 54
5	110 150	120 10	175 14	250 14
6	120 172	150 36	240 56	310 41
7	138 213	170 54	245 59	340 54
8	150 240	190 72	300 95	380 72

3.1.4.2 Показники довговічності

Для визначення довговічності в рамках цієї роботи визначалися показники морозостійкості і водонепроникності. Виготовлялися серії зразків базового складу – склад №1 і склад з застосуванням 2-х видів добавок відповідно до ДСТУ [24]. Для визначення морозостійкості використовувалася прискорена методика, при якій зразки водо насичення вміщуються в сольовий розчин і піддаються поперемінному заморожуванню при -50°С і відтавання в сольовому розчині відповідно до ДСТУ [23].

Водонепроникність визначалася на зразках циліндрах з використанням стандартного приладу АГАММА відповідно до ДСТУ [23].

Результати випробувань представлені в таблиці 3.5

Таблиця 3.5 - Морозостійкість і водонепроникність бетону з добавками

№ складу	Щільність, кг/м³	Морозостійкість, F, цикли	Водонепроникність, W
1	2240	50	2-4
8	2350	150	8-10

3.2 Визначення оптимального складу і кількості кремнійорганічних добавок в бетон

Відомо, що одним з найбільш дієвих способів підвищення довговічності бетонів є введення в бетонну суміш різних добавок, найбільш ефективними з яких є комплексні. Розроблений спосіб виготовлення комплексної добавки шляхом такого поєднання компонентів (прискорювачі твердіння, пластифікатори, піно – образуючі, інгібітори корозії та ін.). В результаті якого були отримані добавки у вигляді водорозчинного порошку. Застосування таких домішок має суттєві технічні переваги, особливо при будівництві у віддалених районах, так як спрощує їх транспортування, зберігання і застосування.

На основі раніше виконаних нами робіт до складу комплексної добавки як пластифікатор вводили сульфітно – дріжджову бражку (СДБ), в якості структуроутворюючого компонента – ФЕС – 66, ГКЖ – 94, ДКП – 11, ПГЕН і НЧК, що володіють гідрофобною – газотвірними або повітрявтягувальними властивостями; як прискорювач твердіння використовували сірчанокислий натрій. При цьому враховувалося, що кремнійорганічні сполуки мають деяким гідрофобізуючим, а іноді і пластіфіціруючим дією.

Етілгідросілоксановая рідина ГКЖ – 94, поліфенілетоксісілоксан ФЕС – 66 і порошкоподібний полігідрідсілсесквіоксан ПГЕН є гідрофільними водорозчинними речовинами СТБ, НЧК, ДКП – 11 і електроліту і можливе лише у

вигляді емульсії або суспензії. Тому, в першу чергу, були підібрані емульгатори та умови емульгування цих речовин.

Емульсії необхідної якості з розміром часток не більше 2,5 мкм були отримані для складу ГКЖ – 94 – СДБ на емульгаторі солеваре, а для ГК1 – 94 – НЧК, ФЕС – 66- СДБ і ПГЕН – СДБ на емульгаторі ОТ – 94. У лабораторних умовах для отримання емульсій або суспензій використовували високооборотну мішалку (10000 об/хв.) Отримувані емульсії або суспензії не коагулювати протягом 2-х год., тобто часу можливого зберігання їх до використання.

Склади, що включали НЧК – СДБ, ДКП – П – НЧК і ГККП – П – СДБ, утворювали істинні розчини. Порошкоподібні 3 – і 4 – компонентні (без обліку емульгатора) комплексні добавки отримували введенням при інтенсивному перемішуванні безводного сірчанокислого натрію в емульсії або розчини пластифікую чого безводного сірчанокислого натрію в емульсії або розчини пластифікую чого і повітрявміщуючого або газообразуючего компонентів. Після отримання однорідної маси складу за кристалізувався і потім готовий продукт подрібнювали в порошок питомою поверхнею до 2000 см²/г.

При подальшому розчиненні у воді порошкоподібних добавок отримували істинні розчини, емульсії або суспензії. Відпрацювання складу комплексних добавок проводилася шляхом визначення оптимальних співвідношень між окремими компонентами із застосуванням сімплексно-граткового методу планування випробування. В якості поверхні відгуку (показника оптимальності складу) на першому етапі використовувалися міцність на стиск зразків з цементно-піщаного розчину з добавками у віці 7 діб розміром 4х4х16см при їх твердінні в нормальних умовах. Зразки були виготовлені на сульфатів стійкому портландцементі і кварцовому піску з модулем крупності $М_{кр}$ рівним 1.94, узятих у співвідношенні 1:2 (по масі).

Процентний вміст компонентів добавок варіювали по відношенню до кількості цементу. У результаті попереднього перетворення координат натуральні змінні були приведені к безрозмірним.

На основі літературних даних і попередніх досліджень, основний рівень дозування для сірчанокислого натрію був прийнятим рівним 2%. За основні рівні решти компонентів були прийняті рівні, що мало впливають на властивості цементного розчину на початковій стадії підбору складу (наприклад, для СДБ він дорівнював 0,02 – 0,05). Щоб уникнути потрапляння в негативну область факторного простору інтервал варіювання був прийнятий рівним основному рівню або трохи нижче його. Були прийняті такі співвідношення основних рівнів щоб вони могли утворити правильний сиплекс в багатовимірному факторному просторі.

Після проведення першої серії дослідів виявлялася «найкраща» точка, яка з рештою точками утворює правильний симплекс, центр ваги якого зміщений у порівнянні з вихідним рівнем в напрямку підвищення якості процесу. Після реалізації досвіду в додатковій точці знову проводиться зіставлення результатів, знову виявляється найгірша точка, яка також замінюється її «дзеркальним відображенням» і т.д., в результаті чого були визначені оптимальні склади комплексних добавок (табл. 3.6, склади 2-8). Одночасно були виготовлені і випробувані контрольні зразки як з довільною кількістю добавок, так і без них (табл. 3.6, склади 00, 01, 12-21). У впливі на міцність спостерігається адитивність дії, окремих компонентів добавок.

Порівнявши результати, що наведені табл. 3.6, можна відзначити, що за допомогою сімплексно-гратковому методу нам вдалося отримати композиції, що додають бетону великі міцності, в порівнянні з бетоном без добавок або з довільним поєднанням їх компонентів.

Таблиця 3.6 - Міцність зразків з цементного розчину з комплексними добавками

№ складу	Зміст, %		Межа міцності при стисканні у віці 7 діб, МПа
	СДБ	Структуроутворюючого компонента	
1	2	3	4
00	-	-	20
01	-	-	24,4

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4
2	0,075	ГКЖ 94 (0,025)	25,7
3	0,06	ПГЄН (0,016)	23
4	0,03	ГКП – 11 (0,03)	23,8
5	- -	ГКЖ – 94 (0,025) НЧК (0,0435)	20,2 -
6	-	ФЕС – 66 (0,02)	28,9
7	-	ФЕС – 66 (0,1)	28,1
8	-	ГКП – 11 (0,025)	24,1
11	0,15	НЧК (0,07)	29,7
12	0,1	-	20,8
13	0,2	-	17,2
14	-	НЧК (0,1)	17
15	-	НЧК (0,1)	19,6
16	-	ГКЖ – 94 (0,1)	18,2
17	-	ГКЖ – 94 (0,1)	19,2
18	-	ГКЖ – 94 (0,2)	11,6
19	-	ГКП – 11 (0,1)	17
20	-	ГКП – 11 (0,1)	19,4
21	0,1	ГКЖ – 94 (0,1)	20,8
26	0,16	ФЕС – 66 (2)	24,4
31	0,15	ПГЕН (0,075)	30
32	0,15	ФЕС – 66 (0,025)	33,1
33	0,15	ГКЖ – 94 (0,05)	27,6
34	0,15	ГКП – 11 (0,5)	36,2

ПРИМІТКА.

1.У всіх складах, за винятком 00, 10, 15, 17 і 19 зміст Na_2SO_4 одно 2%.

2. У складах 31-34 зміст НЧК одно 0,07%.

Використовуючи адитивні дії окремих компонентів, шляхом поєднання деяких з отриманих добавок, були отримані 4-компонентні (не рахуючи емульгатора) композиції, що володіють більш інтенсивною дією на властивості цементного розчину (табл. 3.6, склади 31-34).

Подальші випробування були проведені на зразках бетону у вигляді кубів з ребром – 10 см. Склад бетону – 1: 2: 3: 6: сульфатостійкий портландцемент .

З наведених у табл. 3.7 результатів видно, що в даній серії випробувань міцність зразків з добавками дещо більше міцності еталонного складу без добавок або рівних їй в межах міцності випробувань. Суміші з добавками при В/Ц, однаковому з еталонною сумішшю володіють істотно більш високою рухливістю. Економічний ефект за рахунок зниження витрати цементу може бути реалізований при складанні бетонів з рівноподвіжних сумішей.

Оскільки однією з важливих ефектів дії комплексних добавок є підвищення морозостійкості, була проведена попередня оцінка морозостійкості складів з добавками. Як зразки були виготовлені призми 7х7х28 см з бетону зазначеного вище складу.

Таблиця 3.7 - Міцність зразків бетону з комплексними добавками

№ складу добавки	Вік зразка, діб.					
	7		14		28	
	МПа	%	МПа	%	МПа	%
1	2	3	4	5	6	7
00	29	100	35,5	100	39,6	100
01	30,3	104	36,2	100	40	101
11	31,5	108,5	38,5	108	43,5	110
2	30,2	104	36,2	102	38,7	97,6
6	33,9	117	40,6	114	43,5	110
7	33,7	116	40,2	113	43,7	110,2
3	32,5	112	39,8	112	45	114
4	29,1	100,5	35,4	99,6	39,9	100,6
31	37	127	32	121	48	121

Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4	5	6	7
34	34,2	118	41	115	46,5	117
32	34	117	39,3	111	44	111
33	34	117	37	114	44	111

ПРИМІТКА. У графі % вказана міцність бетону по відношенню складом без добавки в тому ж віці.

У віці 90 діб їх повантажили на 4 діб у воду і потім піддавали випробуванню на поперемінне заморожування і відтавання. З метою прискорення випробувань був прийнятий жорсткий режим: зразки поміщали на 4 години в камеру з температурою -50°С і потім на 4 години для відтавання у воду при температурі +20°С. До випробування і після кожного його циклу визначали ДМУ (динамічний модуль пружності). Випробування показали, що вже після 50 циклів можна було судити про відносну морозостійкості зразків: морозостійкість зразків з добавками в 3-5 разів вище в порівнянні з контрольними. Дослідження тривають.

Комплексні добавки у вигляді порошків можна вводити як з водою замішуванні, так і в сухому вигляді. В останньому випадку до замішування необхідно ретельно перемішати добавки з цементом або сухою бетонною сумішшю.

Таким чином, отримані нові типи 3- і 4- компонентних полі функціональних комплексних добавок, зручних у застосуванні і при транспортуванні, не понижуючих міцності бетону при незмінному В/Ц, що підвищують його довговічність і міцність при рухливих сумішах; доведена ефективність застосування таких домішок і запропонована методика визначення їх оптимального складу; розроблені принципові засади технології отримання комплексних порошкоподібних добавок.

3.2.1 Натурні випробування бетонів з добавками кремнійорганічних олігомерів

Широко розгорнулося по всій країні будівництво, особливо в районах, що відрізняються суворими кліматичними умовами, пред'являє до бетону більш високі вимоги з погляду його довговічності і зокрема морозостійкості. Одним з ефективних методів підвищення морозостійкості бетонів є додання їм гідрофобних властивостей у всьому обсязі. Це стає можливим в тому випадку, коли до складу цих бетонів входять кремнійорганічні олігомери типу поліорганоалкоксісілоксанов властивості яких дозволяють вводити їх в виготовлені бетони в кількостях, достатніх для отримання високого гідрофобного ефекту.

У середовищі гідратованого цементу кремнійорганічні олігомери вступають у хімічну реакцію з гідратом окису кальцію, в результаті якої утворюються поліорганокальційсілоксан і відповідний спирт. Перший гідрофобізує стінки пор і капілярів, другий діє як мікропіноутворювачі. Численні дослідження показали, що обидва ці фактори призводять до різкого підвищення довговічності, і зокрема, морозостійкості бетонів, виготовлених з добавками типу поліфенілалкоксісілоксан (табл. 3.6., 3.7).

Одним з аспектів досліджень були випробування бетонів, модифікованих кремнійорганічними олігомерами в натурних умовах. При випробуванні зразка, попередньо насичені морською водою, розміщувалися на стелажах, встановлених в басейні. Заморожування виробляли на відкритому повітрі, для прискорення процесу застосовують потужні вентилятори. Для відтавання зразків в басейн за допомогою насосів подавалася морська вода. Потім воду спускали і цикл повторювався. Регулювання процесів заморожування і відтавання бетонів здійснювалося за допомогою контрольних зразків з забетонованими термопарами.

Дослідженню піддалися бетони нормального твердіння, виготовленні з одно рухливих бетонних сумішей (осідання конуса 2-3 см) з витратою цементу 330

кг/м³ (цемент марки 500). Для визначення міцністних характеристик і коефіцієнтів морозостійкості ($К_{мрз}$) в процесі випробування були виготовлені зразки-куби розміром 10х10х10 см. Структурні зміни, які відбуваються в бетоні, визначали на зразках-призмах розміром 7х7х22 см. З цією метою заміряли частоту поперечних коливань вигину (на приладі ІЧМК) і швидкість проходження ультразвуку (на приладі УКБ – І). Зовнішній вигляд зразків оцінювали за 10 - бальною системою.

Випробувальні зразки були виготовлені з добавкою кремній-органічної олігомери ФЕС – 66 (0,5-2,0% від маси цементу перерахунку на 100%-ву речовину). Добавка вводилася в бетону суміш у вигляді 50%-вої водної емульсії з водою замішування. За еталон брали бетон без добавок. Зразки встановлювалися на випробування в 3-місячному віці.

Результати випробувань наведені в таблиці 3.8. Вони свідчать про те, що кремнійорганічний олігомер ФЗ 66, введений в бетон в зазначених кількостях, різко підвищує морозостійкість у порівнянні з еталоном.

Таблиця 3.8 - Морозостійкість бетонів з добавками ФЕС - 66

Кількість добавки, %	Межа міцності при стисненні, МПа			Коефіцієнти морозостійкості	
	Перед установкою на випробування	Через		331	414
		331 цикл	414 циклів	$К_{мрз}$	$К_{мрз}$
Без добавки	35,5	Бетон руйнується через 122 циклу			-
0,5	30	36,8	35,7	1	1
1	26,9	31,3	35,4	1	1
2	21,2	28,1	28,4	1	1

ПРИМІТКА. Коефіцієнт морозостійкості являє собою відношення $R_{сж}$ бетонів, що пройшли n циклів випробування, до $R_{сж}$ бетонів, визначеним перед установкою на випробування.

Так зразки – куби, виготовлені без добавок, повністю зруйнувалися через 122 циклу. Бетони, виготовлені з усіма дозировками добавок, протягом 414 циклів випробування не тільки не знизили межі міцності при стисненні ($К_{мрз}$ = 1) але навіть підвищили його на 17-33%. Зовнішній вигляд цих бетонів у всіх випадках оцінювали 9-ма балами, в той час як бетон без добавок після 90 циклів випробування мав оцінку 6-7 балів (осипалися ребра, з’явилися тріщини).

У порівнянні з бетоном без добавок гідрофобні бетони мають підвищену міцність. Це можна пояснити тим, що виникаючий паралельно з процесом твердіння гідрофобний ефект проводить вологу в бетон, знижуючи тим самим інтенсивність гідратації зерен цементного клінкеру. Волога уповільнено проникає в глиб таких бетонів, в результаті чого їх міцність поступово зростає, що в свою чергу призводить до підвищення морозостійкості в порівнянні з бетонами без добавок.

3.2.2 Результати дослідження структурних змін, що відбуваються в бетонах

Дані, отримані при визначенні динамічного модуля пружності (ДМУ) і швидкості ультразвуку, також свідчать про те, що всі три дозування добавки ФЕС – 66 набагато підвищують морозостійкість бетонів. Еталон зруйнувався приблизно через 150 циклів. Через 917 циклів бетон з 0,5% домішки знизив ДМУ до 93%, з 1% - до 96% в порівнянні з початковою величиною. При введенні 2% ФЕС – 66 ДМУ знаходився на рівні 100%. Зміна швидкості ультразвуку повністю підтверджують попередні дані: вона знизилася відповідно до 93% і 97 %. У разі введення 2% домішки швидкість ультразвуку вище 100%.

При зіставленні даних, отриманих для бетонів, виготовлених з різними дозуваннями ФЕС – 66, видно, що морозостійкість зростає зі збільшенням добавки. Таку закономірність можна пояснити тим, що збільшення кількості олігомери в складі бетону збільшує його гідрофобність, що в свою чергу, перешкоджає доступу агресивної вологи в глиб бетону.

Комплекс досліджень показав, що за допомогою кремнийорганического олігомери типу поліфінілетоксісілоксана можна значно підвищити морозостійкість бетонів. Позитивний ефект досягається, за рахунок того, що

об’ємна гідрофобізація бетону знижує поверхневий натяг на межі його з агресивним розчином.

3.3 Дослідження та використання суперпластифікаторів в бетони для монолітних та залізобетонних конструкцій

3.3.1 Застосування суперпластифікаторів в бетони для монолітних і збірних залізобетонних конструкцій

Великі обсяги виробництва бетону та залізобетону при високих вимогах до нього і необхідності зниження енергетичних, матеріальних і трудових витрат, підвищення якості виробів і конструкцій зумовлюються ефективним застосуванням хімічних добавок.

Особливий інтерес, останнім часом, представляють дослідження та пропозиції щодо застосування високоефективних розріджувачів бетонної суміші – суперпластифікаторів. У зарубіжній практиці суперпластифікатори застосовуються досить широко і фірми, що випускають ці домішки, настійливо пропонують їх під різними марками і назвами нашим будівельникам.

Застарілі нормативні документи, існуючий порядок дозволів на виробництво і застосування добавок, і відсутність представницьких контролюючих органів, сприяє появі на ринку недостатньо вивчених і апробованих домішок. Деякі хімічні добавки є відходами і побічними продуктами промислових підприємств, не завжди належним чином підготовлені, в деяких випадках змішані з вітчизняними та імпортними компонентами без необхідних досліджень та обґрунтувань. Багато фірм пропонують добавки під торговими марками і шифрами без опису складових компонентів, що ускладнює з’ясування їх походження, хімічного складу і можливих наслідків використання.

Асортимент добавок постійно зростає. Цьому значною мірою сприяють дослідження, виконані за останні роки в центральній лабораторій корозії НДІЗБ (Науково-дослідний інститут залізобетону), в результаті яких було створено і всебічно досліджено ряд високоефективних пластифікаторів бетонної суміші, у тому числі суперпластифікатор С–3 (нова назва Поліпласт СП – 1). Суперпластифікатор С-3 являє собою карбоциклічний конденсований олігомер, якому, додана водорозчинність і пластифікуючи властивості за рахунок сульфінірованія. Основною сировиною для виробництва суперпластифікаторів типу С-3 і похідних від них, є нафталін, що містить продукти виробництва й очищення нафталіну – нафталінової фракції, що виділяється при разгонці кам'яновугільної смоли і нафталінового масла.

За даними досліджень ЦЛК НДІЗБ і в наших дослідженнях, у тому числі в виробничих умовах, встановлено, що при введенні до складу бетонної суміші добавок С-3 спостерігається значне її розрідження, збільшується осада конуса від 3-5 см до 18-20 см. Висока рухливість зберігається і при деякому зниженні водоцементної відносини [1, 8].

Певний інтерес представляють порівняльні дослідження впливу добавок С-3 та інших зарубіжних добавок, близьких за пластифікуючим ефектом до бетонної суміші. Вивчалися зарубіжні добавки – суперпластифікатори, виготовлені на основі сульфованих поліконденсаційних продуктів меламіну – Кемамент FM, L-20 (Словаччина); модифіковані продукти конденсації активних полімерів – Центрамент Г-40. Мурапласт ФК – 48, 58, 63 (Німеччина); суперпластифікатори фірми Манен – Манен Флюїд IF- 328, М-100, 200; добавки на основі полікарбоксилату фірми Sika – Sika UiscoCrete 5n5-600.

Проведені досліди показали, що всі досліджувані суперпластифікатори володіють приблизно рівною розріджувальною здатністю. При введені до складу малорухомих бетонних сумішей (З о.к.=2…3см) суперпластифікаторів в кількості 0,5…1% від маси цементу можна отримати високоподвижні (з о.к.=16…18 см) суміші і додатково знизити водо цементне відношення. При цьому міцність бетону збільшується на 3-5%, що дозволяє знизити витрату цементу на 8-10%.

Дослідження впливу добавок на тривалість збереження пластифицирующого ефекту протягом певного часу показали, що бетонна суміш з добавкою С-3 протягом години практично не змінює свою рухливість, ніж бетонна суміш без добавки. Зниження протягом часу рухливості бетонних сумішей такої же консистенції з добавками вищевказаних зарубіжних фірм, спочатку незначне, а через 1,5-2 години швидше, ніж з домішкою С-3. Приріст міцності бетонів з добавками суперпластифікаторів більш інтенсивний в початкові строки твердіння, незначно зменшується в порівнянні з бетонами без добавок при подальшому твердінні і через 28 діб досягає проектної міцності.

Важливою характеристикою бетонних сумішей, що визначає якість бетону, є водоутримуюча здатність, оцінювана по питомій водовідділення, яка розраховується, як відношення повній кількості води, що відокремилася до об'єму бетонної суміші. При дослідженнях бетонних сумішей без добавок і з добавками суперпластифікаторів, що мають однакову легкоукладальність, яку регулювали водоцементним ставленням, кінетика водорозділення у пластифікованих бетонних сумішах спостерігається менша, зважаючи на їх меншу водопотребу. Це зумовлює меншу схильність пластифікованих сумішей до розшарування, що є важливим чинником нерозшарованості бетонних сумішей при незмінній витраті піску та цементу та збереження однорідності суміші, наприклад при транспортуванні і укладанні бетону із застосуванням бетононасосів, коли для бетонних сумішей без добавок доводиться збільшувати коефіцієнт розсунення зерен крупного заповнювача і відповідно збільшувати кількість розчинної частини.

Одним із шляхів вдосконалення виробництва бетонних і залізобетонних робіт є застосування добавок системи «Релаксол» виробництва «Будіндустрія» (м. Запоріжжя). Ізучення механізму дії і ефективності застосування пластифікуючих добавок «Релаксол-темп», «Релаксол-норма», «Релаксол-лідер», які проводилися в лабораторних і виробничих умовах на будівництві різних об'єктів м. Запоріжжя, стосовно до різних сполук бетону і умовах їх застосування. Отримані результати підтверджують можливість підвищення рухливості (до 8-10см., замість 3-5см., без добавок) бетонної суміші, деякого зниження витрат цементу і води, і досягнення

проектної міцності бетону при введені в бетонну суміш пластифікуючих добавок суміші «Релаксол». До суперпластифікаторів ці добавки не відносяться, але зниження водоцементного відношення в бетонній суміші при її доброму ущільненню сприяє підвищення щільності і міцності бетону, що досить важливо при бетоннуванні конструкції, до яких пред'являються високі вимоги по щільності, водонепроникності і морозостійкості. Підвищення рухливості бетонної суміші дозволяє також скоротити час вібрування суміші, підвищити довговічність ущільнюючого обладнання та форм, отримати економію електроенергії та поліпшити умови праці [5, 6].

Попередні випробування в лабораторіях «Будіндустрія» і інженерно-будівельного підприємства «Форд», нового суперпластифікатора «Релаксол супер ПК», дають обнадійливі результати, які за своїми характеристиками і пластифікуючими ефектами значно перевершують раніше використовувані пластифікуючи добавки системи «Релаксол».

Ці характеристики наближаються до суперпластифікаторів типу С-3 і вищепереліченим імпортним добавкам.

Порівняння ефективності застосування добавок С-3 «Релаксол супер ПК» із зарубіжними добавками такого ж призначення показало, що закордонні добавки не мають істотних переваг, як у відношенні пластифікуючої здібності, так і щодо характеристик міцності. Тому при застосуванні суперпластифікаторів необхідно враховувати, що вони є дорогими матеріалами, а часто і дефіцитними, особливо зарубіжні. Отже, суперпластифікатори повинні застосовуватися не тільки для економії цементу, вартість якого може покриватися вартістю добавки суперпластифікатора, а й слід застосовувати в першу чергу там, де вони можуть забезпечити найбільший ефект у грошовому вираженні, в комплексному зниженні матеріально-технічних, енергетичних, трудових витрат, в поліпшенні технологічних, міцністних та інших властивостях конструкцій, що виробляються.

3.3.2 Суперпластифікатори у виробництві залізобетонних конструкцій

В останні роки в Україні та за кордоном інтенсивно розвиваються дослідження і розширюється практичне використання нових інших ефективних речовин – суперпластифікаторів. Роботи по їх створенню і впровадженню у нашій країні ведуться в НДІЗБ, ВНІІ Залізобетону.

НДІЗБ спільно з науково-дослідним інститутом напівпродуктів і барвників «НІОПІК» розробив суперпластифікатор, названий «Розріджувач С-3», що отримується на базі продуктів поліконденсації нафтлінсульфокіслот і формальдегіду. Він розріджує суміші рухливістю від 2-4 до 20-22см без зниження міцності бетону, а також може бути використаний для зменшення витрати води в складі бетону і відповідно підвищення його міцності.

Випробування в лабораторних умовах показали високу його ефективність: при дозуванні 0; 5-1% добавки від маси цементу рухливість за осадкою конуса збільшується з 2-4 до 20-22 см; при однаковій рухливості у віці 7 діб досягається підвищення міцності на 45-80%, в 28 діб – на 30-50%. Введення С-3 дозволяє отримати бетони аналогічної або декілька підвищеної щільності при незмінному складі бетонів або значно підвищити щільність равноподвіжних 2-4 см мав марку по водонепроникності В-4. Аналогічний за складом бетон після введення СП мав рухливість суміші 18-20 см, марку по водонепроникності В-6, а бетон з СП, в якому за рахунок пластифікації було скорочено кількість води і рухливість суміші дорівнювала рухливості контрольного складу, показав марку по водонепроникності більш У-14. Це дозволило отримати бетони підвищеної корозійної стійкості, в тому числі в умовах капілярного підсосу і випаровування розчинів солей.

При незмінному складі бетону і збільшенні рухливості суміші від 4-5 до +16-18см морозостійкість залишається практично без змін або навіть дещо підвищується, що може бути пояснено незначним повітровтягненням в бетонах з СП.

Істотний вплив на ефективність застосування суперпластифікаторів надає мінералогічний і речовинний склад цементу. Як показали дослідження, механізм дії С-3 тісно пов'язаний с адсорбцією добавки на міжфазної поверхні гідратуючого цементу і стабілізацією останнього. Найбільшою адсорбційною здатністю володіють алюмінатні складові цементного клінкеру. Підвищення змісту С3А, активної мінеральної добавки осадового походження і гіпсу призводить до збільшення адсорбції С-3. Адсорбція носить безповоротний характер, не залежить від температури, значно збільшується з появою продуктів гідратація портландцементу. Зіставлення результатів вимірювання рухливості бетонної суміші залежно від дозування добавки і величин адсорбції С-3 на різних в'яжучих показало, що при високій адсорбційної здатності цементу для отримання високої рухливості суміші потрібні підвищені дозування С-3.

На підставі результатів широкої виробничої перевірки на підприємствах країни при виготовленні збірних і монолітних залізобетонних конструкцій за різними технологіями НИИЖБ розробив «Рекомендації щодо застосування суперпластифікатора С-3 в бетоні». Випущені технічні умови ТУ [23] на продукт і розроблено технологічний регламент на його промислове виготовлення. Суперпластифікаторам С-3 присвоєно знак 1-ї категорії якості. Слід зазначити, що суперпластифікатор на основі сульфованих меламіноформальдегідних олігомерів, в залежності від глибини поліконденсації, надає різну дію на бетонні суміші. Введення 10-03 (0,35-0,7% маси цементу) однаково ефективно в бетонах з підвищенням (450-550 кг/м³) і відносно низьким (250-300 кг/м³) витратою цементу.

Для отримання одно рухливих литих сумішей можливе редукування води замішування на 17-25% з підвищенням міцності при стисненні і вигині на 25-40%, призмової міцності на 20-40%, початкового модуля пружності на 10%, при незмінному складі бетону і збільшенні рухливості суміші з 4-6 до 20-22см, отримані дані, показують, що морозостійкість не знижується. Разом з тим встановлено деяке збільшення деформацій розтягу та повзучості в порівнянні з контрольними складами.

Введення до складу бетонної суміші тонкомолотого шлаку в комплексі з добавкою 10-03 призводить до додаткового збільшення міцності бетону, підданого тепловій обробці, з 1,5-4 до 10МПа при нормальному твердінні з одночасним збільшенням пластичності бетонної суміші, з 2-3 до 25 см. При цьому оптимальний вміст 10-03 збільшується відносно, бездомішкового цементу. Результати робіт свідчать про можливість отримання, високоміцних бетонів з добавкою шлаку і суперпластифікаторів. Практика свідчить про ефективність застосування вітчизняних добавок і можливості значної інтенсифікації виробництва збірного залізобетону.

При застосуванні суперпластифікаторів економічна ефективність досягається за рахунок зниження трудомісткості при укладанні сумішей; зниження зносу парку форм; скорочення циклу внаслідок прискореного зростання міцності бетону і скорочення тривалості твердіння. Крім того, знижується витрата електроенергії та пару; з’являється можливість отримання бетону більш високих марок, особливо при виготовленні високоміцних бетонів на цементах звичайних марок; збільшується випуск виробів і скорочується витрата цементу (до 15-20%).

При використанні суперпластифікаторів знижується або повністю усувається вібрація, спрощується технологія укладання і ущільнення суміші у форму або опалубку, значно поліпшуються умови праці, відпадає необхідність в ручному виконанні ряду важких операцій.

Увагу всіх будівельних міністерств і організацій слід звернути на необхідність оснащення всіх діючих і споруджуваних заводів складами для прийому добавок в рідкому і сухому вигляді, пристроями для приготування, подачі і дозування розчинів потрібної концентрації. Необхідно розробити варіант модернізованих типових рішень технологічних ліній з урахуванням можливостей, виявлених при застосуванні суперпластифікаторів.

3.4 Бетони з комплексними модифікаторами на основі карбоксилатів та їх властивості

Виробництво високо функціональних бетонів на сьогоднішній день вимагає пошуку нових прогресивних технологій. Використання різноманітних в'яжучих речовин, заповнювачів, додатків, а також технологічних прийомів дозволяє одержувати бетони з різноманітними властивостями. Це забезпечує можливість їх застосування при зведені конструкцій і споруд широкої номенклатури і функціонального призначення від важких високоміцних бетонів для несучих конструкцій до ефективних теплоізоляційних ніздрюватих бетонів для огороджувальних конструкцій житлових будинків і промислових споруд.

Основні вітчизняні і закордонні технічні рішення в області приготування бетонних сумішей принципово однакові – половина їх об'єму витрачається для виготовлення монолітних бетонних і залізобетонних конструкцій. Монолітне будівництво має ряд особливостей і вимагає використання бетонної суміші підвищеної легкоукладальності (Р3-Р5) з часом використання 3-4 год. Одночасно монолітне будівництво вимагає високих показників ранньої та марочної міцностей, щільності та стійкості затверділого бетону, що забезпечується якістю цементу та введенням хімічних добавок. Виходячи з цього, важливого значення набуває проблема збереження консистенції бетонної суміші в часі, а також підвищення ефективності способів її вкладання. Застосування хімічних добавок є ефективним засобом регулювання реологічних властивостей бетонних сумішей, необхідного модифікування структури цементного каменю в бетоні та самого бетону, а отже, покращення його фізико-механічних характеристик і довговічності [2, 3, 9].

Найбільш поширений клас добавок – модифікатори це – регулятори реологічних властивостей цементного розчину та бетонної суміші (пластифікатори та суперпластифікатои). Серед ефективних пластифікуючих додатків найбільшої уваги заслуговують суперпластифікатори (СП), які значною мірою збільшують рухливість і текучість бетонної суміші, суттєво підвищують

будівельно-технічні властивості бетону, забезпечують можливість значної економії цементу.

Аналіз даних у сфері одержання модифікованих портландцементів, а також відомих закономірностей синтезу в'яжучих речовин з наперед заданими властивостями на основі взаємозв'язку склад-структура-властивості дозволяє висунути гіпотезу про доцільність модифікування портландцементу комплексними хімічними домішками полі функціональної дії, до складу яких входять суперпластифікатори нового покоління-полікарбоксилати [7].

В роботі використано портландцемента ПЦ II/А-Ш-400, ПЦ 1-500 ВАТ ″Івано-Франківськцемент″ та ПЦ II/А-Ш-400-Н, ПЦ II/А-К-400 ВАТ Миколаївцемент. Для підвищення ефективності та забезпечення заданих властивостей цементних систем, як модифікатори, використано суперпластифікатори на основі полікарбоксилатних естерів (ПК), є також високо розчинні електроліти – натрію тіосульфат та родоніт, що складають основу багатотоннажних відходів коксохімічної промисловості.

Суперпластифікатор на основі полікарбоксилатів – це суміші синтетичних, розчинних у воді поверхнево-активних розгалужених прищеплених кополімерів та полімерів. Макромалекули полікарбоксилатив мають дифільну будову – гідрофільні полярні групи та гідрофобний вуглеводневий радикал, які розміщуються в цементно-водній системі з мінімальними енергетичними затратами. Середня молярна маса суперпластифікаторів полікарбоксилатного типу становить від декількох тисяч до 10^5 г/моль та більше і охоплює маси як мономерів, так і полімерних молекул. У роботі для досліджень використано полікарбоксилатні естери з середньою молекулярною масою близько 70 г/моль.

Порівняльними дослідженнями суперпластифікаторів різних типів встановлено, що найбільшим водоредукуючим ефектом (25-40%) характеризуються полікарбоксилати. Виходячи з структурних позицій, суперпластифікатори нової генерації відрізняються від традиційних добавок (на основі лігносульфонатів та сульфонафталін сульфомеламінформальдегідних смол) типом і значно меншою кількістю іонних груп (слабкі поліелектроліти), а

також зв’язаною просторовою структурою наявних бічних ланцюгів. Введення полікарбоксилатних естерів суттєво – впливає на раннє структуроутворення портландцементів. Так, 0,5-1,0 мас.% полікарбоксилатів відтягує початок та кінець тужавіння на 40-60 хв. та 70-90 хв. відповідно. Характерно, що при порційному введенні початок тужавіння відтягується до трьох годин, при цьому дещо зменшується час між початком та кінцем тужавіння.

Адсорбуючись на поверхні цементних часток, молекули полікарбоксилатів створюють мономолекулярний шар товщиною близько 16 см, що в 3 рази більше, ніж для нафтолінформальдегідів. Гідрофобні довгі розгалужені ланцюги полікарбоксилатів створюють двомірну колоїдну водопроникну плівку, дефлокулюючи розчин та забезпечуючи реалізацію структурно-механічного ефекту стабілізації портландцементної системи. Отже, збільшення рухливості цементних систем при використанні полікарбоксилатів досягається за рахунок зменшення величини надлишкової між фазної енергії і де флокуляції цементних зерен.

Зміна величини ξ-потенціалу від +27мВ в цементних суспензіях без модифікаторів, до -13мВ в системі з комплексним модифікатором, свідчить (рис.3.2), що потенціалвизначальниші іони полікарбоксилатів з високою адсорбційною здатністю, спричиняють перебудову подвійного електричного шару та перезарядження поверхні гідроалюмінатної фази цементних зерен, внаслідок чого додатково реалізується електростатичний фактор дефлокуляції.

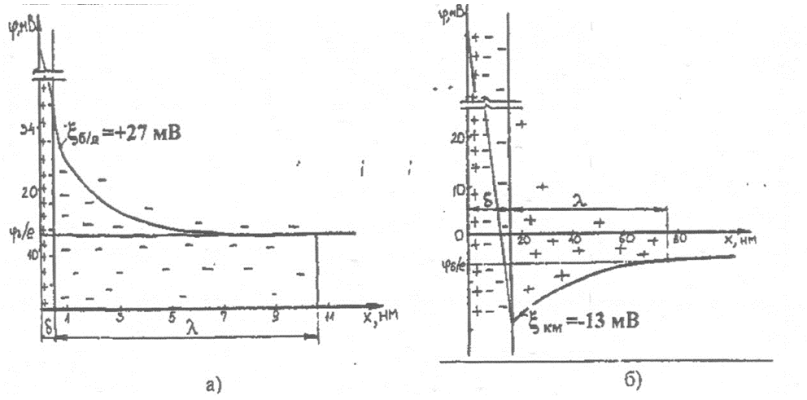


Рисунок 3.2 – Будова подвійного електричного шару для портландцементної системи без додатків (а) та з додатком КМ (б) на основі полікарбоксилатів.

Таблиця 3.9 - Результати випробувань бетонів з модифікаторами

Вид та кількість додатку	В/Ц	ОК, см, через, хв				Границя міцності при стиску, МПа, у віці діб		
		0	15	60	20	3	7	28
б/д	0,54	3	7	8	2	10,3	23,7	32,8
С-3 0,6 мас.%	0,44	3	2	12	3	13,0	32,6	37,4
ПК 1,0 мас.%	0,42	23	23	19	16	22,7	33,8	40,4
КМ 1,5 мас.%	0,40	3	20	1	7	24,8	35,7	42,6

Результати випробувань свідчать, що використання комплексних модифікаторів забезпечує зростання ранньої міцності бетону майже в 2 рази та можливість одержання бетону класу В-30 замість В-25. Слід відзначити, що міцність бетону на портландцементі з комплексним модифікатором на основі полікарбоксилату у 1,3 рази вища, ніж для бетону з суперпластифікатором С-3. Введення в бетонну суміш комплексного модифікатора КМ на основі полікарбоксилатів і прискорювачів твердіння – натрію тіосульфату та роданіду забезпечує зменшення водо цементного відношення та скорочення витрати цементу без зниження міцності бетону.

3.4.1 Вплив пластифікаторів на реологічні властивості бетонних сумішей

Комплексний підхід до використання в’яжучих речовин, заповнювачів, добавок, а також технологічних прийомів забезпечує одержання бетонів з різноманітними властивостями для подальшого їх застосування при зведенні конструкцій і споруд широкої номенклатури і функціонального призначення – від важких високоміцних бетонів для несучих конструкцій до ефективних

теплоізоляційних ніздрюватих бетонів для огороджувальних конструкцій житлових будинків і промислових споруд. При цьому важливого значення набуває проблема збереження консистенції бетонної суміші в часі, а також підвищення ефективності способів її вкладання. Застосування хімічних добавок на основі полікарбоксилатів с ефективним засобом регулювання реологічних властивостей бетонних сумішей, необхідного модифікування структури цементного каменю в бетоні та самого бетону, тим самим покращення його фізико-механічних характеристик і довговічності [2, 3, 7, 9].

Отримання високо функціональних бетонів досягається при виконанні ряду вимог, що випливають із фізичних основ структуроутворення бетону: використанням високоміцних цементів та заповнювачів, максимально низьким водо цементним співвідношенням, високою максимально допустимою витратою цементу, застосуванням суперпластифікаторів нової генерації і комплексних добавок, що сприяють ущільненню структури бетону, особливо ретельним перемішуванням та ущільненням бетонної суміші, створенням найбільш сприятливих умов твердіння бетону. Введення супер-пластифікаторів нової генерації особливо ефективно знижує витрату цементу, так як сприяє не тільки підвищенню рухливості та покращенню щільності бетонної суміші, але й при цьому зберігається постійною водо потреба при високій витраті цементу, тобто в цьому випадку не потрібна додаткова витрата цементу для компенсації підвищеної в’язкості бетонної суміші.

Використання сучасних модифікаторів забезпечує ефективність вкладання бетону, розпалубку монолітних споруд у як найкоротші терміни при достатній якості останніх, виготовлення тонкостінних густо армованих конструкцій підвищеної міцності, можливість проведення будівельних робіт як у зимових так і в сухих жарких умовах. При цьому бетон розглядається як композиційний матеріал із заданими параметрами, які потрібні для ведення монолітного бетонування та забезпечення довговічності бетонних та залізобетонних конструкцій. Така композиційна система містить крім традиційних складових, таких як цемент, заповнювачі, вода ще й модифікатори – поверхнево-активні

речовини (ПАР), електроліти та мінеральні добавки, різних класів. Ефективність хімічних добавок нерозривно пов’язана з різними чинниками, такими як вид добавки, тип цементу і його мінералогічний склад, вміст домішки та точність дозування, наявність інших добавок, кількість води в суміші і водо цементне відношення, зерновий склад і вид заповнювача, температура навколишнього середовища, час перемішування, момент і спосіб введення добавки [4, 10]. При цьому одним з основних напрямків випробувань добавок є встановлення компатибільності (сумісності) системи «добавка-цемент», що визначає необхідний алгоритм вибору добавки, який дозволить оптимізувати рішення з погляду технологічної і економічної ефективності. Аналіз різноманітності добавок, доступних на ринку, дозволяє припустити, що такий алгоритм, крім одиничної вартості,повинен враховувати: вміст добавки (мінімальна, максимальна і рекомендована кількість), простоту дозування, величину одержаного ефекту (величина пластифікування, скорочення або відтягування термінів тужавіння, підвищення щільності бетону), додаткові позитивні та побічні негативні ефекти. Такий загальний принцип вибору добавок дозволяє об’єктивно порівняти їх між собою та оптимізувати вибір найбільш ефективних. Фізико-хімічне модифікування властивостей бетонної суміші та затверділого бетону з допомогою хімічних добавок різної природи та призначення стає основним пріоритетом вирішення проблеми забезпечення довговічності бетонних та залізобетонних конструкцій на сучасному етапі.

Основою технічних рішень сучасних новаторських напрямків створення високо функціональних бетонів нової регенерації є використання багатокомпонентних в’яжучих речовин, що поєднують мінеральні добавки різних типів та комплексні модифікатори полі функціональної дії, а також високотехнологічних процесів і машин для будівельної індустрії. Під терміном «високофункціональні» бетони об’єднані, багатокомпонентні бетони з високими експлуатаційними властивостями, міцністю, довговічністю, низьким коефіцієнтом дифузії і стиранністю, надійними захисними властивостями по відношенню до стальної арматури, високою хімічною стійкістю. Високофункціональні бетони, що

виготовлені із високо рухливих і литих бетонних сумішей з органічним водо утриманням, мають міцність при стиску у віці 2-діб 30-50 МПа, у віці 28-діб 60-150 МПа, морозостійкість F600 і більше, водопоглинання менше 1-2%, стиранність не більше 0,3-0,4 г/см². У реальних умовах прогнозована довговічність експлуатації такого бетону перевищує 200 років. Можливе отримання і супердовговічних бетонів із термінами роботи до 500 років. Технічна реалізація проекту з випуску таких ефективних бетонів дозволить системно вирішувати питання економії цементу. Це також забезпечує зменшення трудомісткість робіт при вкладанні бетону та дозволяє легко транспортувати його бетононасосами. Розроблені комплекси модифікатори та суперпластифікатори нової генерації які дозволяють покращувати фізико-механічні властивості бетонів, а отримані на їх основі високо функціональні бетони характеризуватимуться високими експлуатаційними показниками.

4. ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ЗАСТОСУВАННЯ ХІМІЧНИХ ДОБАВОК В БЕТОНИ, ЇХ ЕФЕКТИВНІСТЬ І НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ

4.1 Основні напрямки застосування хімічних добавок в бетони.

Введення до складу бетону невеликих кількостей різних хімічних речовин – добавок для зміни і регулювання властивостей бетонних сумішей і затверділих бетонів – сприяє підвищенню ефективності та якості у виробництві залізобетонних виробів і при зведенні монолітних споруд.

Перед технологами по бетону стоїть завдання отримати більш міцні та довговічні бетони, призначені для різних умов експлуатації. При відпрацюванні технології необхідно максимально зменшити витрати енергії, праці та матеріалів при виготовленні бетонів із заданими властивостями.

Правильне використання вже розроблених і отримання нових добавок можливе тільки на основі уявлень про механізм їх дії і при чіткому формулюванні цілей, які передбачається досягти в результаті їх введення. До останнього часу вишукування і розробка добавок проходили в більшості випадків хаотично та випадково. Головну увагу приділяли можливості використання відходів різних виробництв, так як основними вимогами були дефіцитність сировини і дешевизна добавки. Найбільшого поширення набули домішки, які застосовуються з метою економії цементу. У цьому випадку основним показником, який визначає доцільність і ефективність застосування домішок, є вартість в розрахунку на 1м³ бетону і її розмір досягається зниженням витрат цементу, вони будуть економічно вигідні тільки при дозуванні нижче – 0,2%, а отримана економія цементу при цьому буде не менше 15-20%.

Відповідно до класифікації добавок за основним ефектом дії [13] можна наближено визначити область доцільного застосування найбільш поширених з них. При оцінці ефективності конкретних добавок слід обов’язково враховувати і

обмеження в їх застосуванні, наприклад можливість корозії арматури, зниження міцності та т.п.

Широкому поширенню застосування добавок сприяли розробка та впровадження в будівництві спеціально синтезованих речовин – високоефективних пластифікаторів, умовно названих «суперпластифікатори». Введення цих добавок дозволяє відмовитися від жорстких бетонних сумішей і перейти на рухливі і навіть високоподвижні суміші без зміни міцності бетону. Однак і при використанні суперпластифікаторів діють загальні закономірності залежності властивостей бетону від складу і технології бетону, тобто зменшення кількості води в складі суміші підвищує міцність матеріалу. Умови ущільнення і твердіння є не менш важливим фактором, що визначає властивості бетону, ніж його склад, тому масове застосування суперпластифікаторів повинно здійснюватися тільки при всебічному аналізі найбільш ефективного їх використання з урахуванням вартості добавки.

Можливість використання добавок пластифікаторів і суперпластифікаторів для одночасного підвищення рухливості суміші та міцності бетону за рахунок використання пластифікуючого ефекту до зменшення витрат води показана на рис.4.1. Побудова таких графіків для конкретних матеріалів і технології дозволяє знаходити оптимальні рішення для практичних цілей.

Застосування суперпластифікаторів вимагає перебудову технології бетону, зміни конструкції форм, транспортувальних пристроїв і механізмів для розподілу і укладання сумішей. Залежно від виду конструкції необхідно вирішувати одне з основних питань, що виникають при роботі з рухомими сумішами - питання про водовідділення суміші після укладання. Седиментація і виділення води неминучі при формовиделені високих конструкцій і менш небезпечні при бетонуванні площинних конструкцій. Необхідно теоретично обґрунтувати і практично вирішити завдання отриманої стабільної, нерозшаровуємої бетонної суміші.

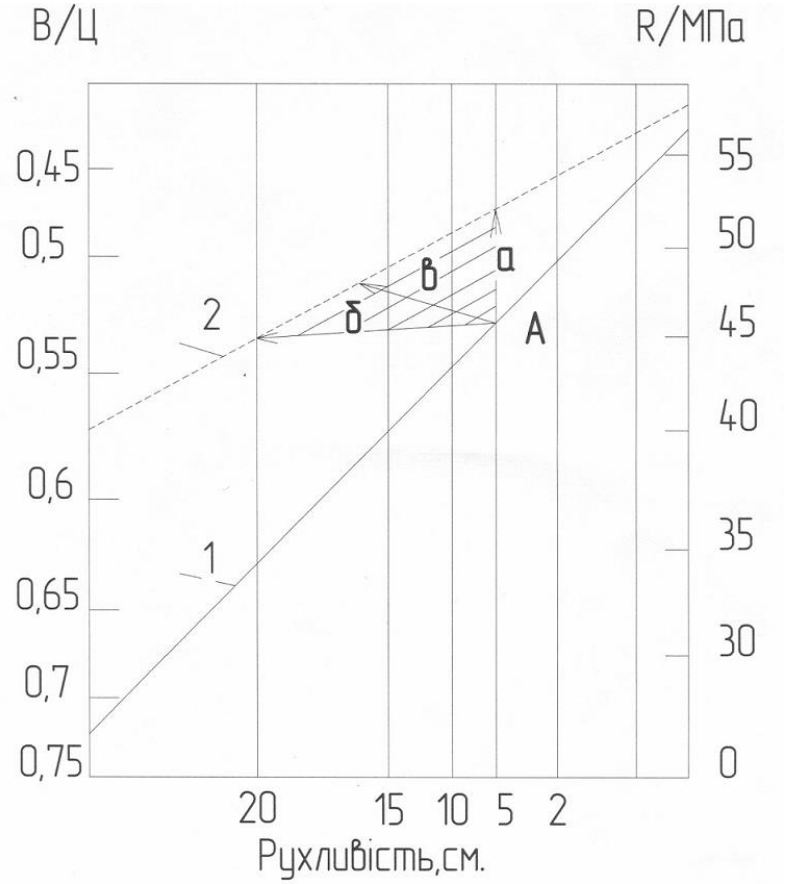


Рисунок 4.1 – Міцність бетонів із сумішей різної рухливості:

1 – без домішок; 2 – з оптимальною добавкою суперпластифікатора; а – для підвищення міцності; б – для розрідження суміші; в – для часткового розрідження суміші. А – заштрихована область бетонів, які можна отримати з бетону при введенні суперпластифікатора

Виробничі випробування показали, що добавки пластифікаторів, особливо суперпластифікаторів, дуже ефективні для отримання високоміцних бетонів заданої міцності. Можна підвищити міцність, на марку, а в багатьох випадках на дві марки, водонепроникність – на 3-4 марки. Підвищення міцності можна використовувати для прискорення набуття бетоном заданої міцності, що досягається зниженням В/Ц завдяки пластифікуючим ефектам та відповідно підвищення міцності, в тому числі і на початкових стадіях твердіння. Прискорення твердіння – актуальна проблема, однак досі не створені бесхлорідні прискорювачі, безпечні для арматури.

В останні роки велике питання приділяється сповільнювачам схоплювання, а в деяких випадках і твердіння бетонних сумішей. Це необхідно в основному при

бетонуванні монолітних споруджень із сумішей, які транспортуються зі стаціонарних бетонозмішувальних установок на значні відстані, особливо актуально в умовах сухого і жаркого клімату. У цьому напрямку досягнуто чималі успіхи завдяки застосуванню підвищеного дозування пластифікаторів, що уповільнюють гідратацію в початковий період. Доцільно використовувати технічні продукти, що містять цукри, глюкозиди, зокрема цукрова патока.

Використання повітрязалучаючих і газоутворюючих добавок для споруд, до яких пред'являються вимоги підвищеної морозостійкості дозволяє отримати морозостійкі бетони для всіх умов їх експлуатації. Належить робота над отриманням стійкого бетону в особливо сурових кліматичних умовах і при заморожуванні в розчинах солей. Добавки можуть надати бетонам спеціальні властивості наприклад біоцидність, електропровідність підвищену корозійну стійкість, пасивацію стали в бетоні. Обсяг виробництва більшої частини цих добавок явно недостатній, а вартість деяких з них висока.

Недолік добавок у вигляді продуктів, що спеціально випускаються промисловістю, заповнюється відходами виробництва. Властивості відходів в значній мірі залежать, від технології основного виробництва не однорідні за характеристиками, на відміну спеціально вироблюваних продуктів.

Для найбільш широко застосовуваних відходів розроблені технічні умови, які гарантують споживачеві певні характеристики складу, проте в більшості випадків в ТУ немає прямих випробувань технічних властивостей бетонів, які повинні поліпшуватися даною добавкою. У зв'язку з цим будівельники для кожної партії добавок повинні уточнювати ці показники в бетоні випробувально. Необхідно розробити прискорені методи від визначення ефективності добавок різного призначення.

Для визначення можливості поліпшення властивостей бетонів проведено багато досліджень, в яких випробувані як промислові продукти, що випускаються для інших цілей, так і побічні продукти деяких виробництв. Вивчено також можливість використання відходів різних галузей промисловості.

Систематизація цих даних дозволяє прогнозувати впровадження тих чи інших відходів за аналогією з дослідженими. Проте дослідження добавок на основі лігносульфонатів поки не закінчені і перспективним завданням є створення дешевих і недефіцитних добавок на їх основі. Слід зазначити, що до складу більшої частини комплексних добавок входять лігносульфонати. Використанню відходів різних виробництв в бетонах повинні обов'язково передавати токсикологічні дослідження, оскільки виділення навіть невеликих кількостей деяких хімічних речовин може створити дискомфортні або шкідливі умови для людини.

І, на закінчення, про дослідження механізму дії добавок і процесів, що протікають при їх введенні, до складу бетонів на портландцементі. Механізм дії добавок солей – електролітів достатньо всебічно розглянуто у відомих роботах В.Б. Ратінова та Т.І. Розенберг. Механізм дії органічних добавок, у тому числі високомалекулярних сполук, слід розглянути окремо залежно від ефекту, який ці сполуки обумовлюють.

Найбільш перспективні добавки – суперпластифікатори є водорозчинними сполуками з великими розмірами молекул (молекулярна маса повинна бути в межах від 300 до 3 000, а за деякими даними до 20 000). Полярність молекул зумовлює появу заряду на поверхні частинок цементу або заповнювача, покритих адсорбованою плівкою макромолекул добавки. Ефект пластифікації – розрідження цементно-водної суспензії, визначальні і реологічні властивості бетонних сумішей, визначається сумарним проявом декількох процесів: дефлокуляції агрегованих частинок цементу і звільненням при цьому іммобілізованной під флокули води, зниженням внутрішнього тертя в суспензії через утворення на поверхні цементних часток плівки, що складається з великих полярних молекул, і виникнення однойменного електричного поверхневого заряду, відразливого частинки і полегшує їхнє ковзання. Дослідження адсорбції та вимірювання дзетапотенціала підтверджують ці подання. Інші види органічних добавок можна класифікувати за механізмом взаємодії з цементом або

продуктами їх гідратації. Досить чітка класифікація за механізмом дії запропонована для добавок, що підвищують стійкість бетону.

Розглянуті напрямки застосування різних добавок для бетону і аналіз стану досліджень дозволяють намітити основні завдання ефективного їх використання: організація виробництва суперпластифікаторів на основі недефіцитної сировини в масштабах, що задовольняють потреби будівництва; розробка поліфункціональних добавок, що підвищують якість бетону (міцність, стійкість) та поліпшують технологічні властивості сумішей; дослідження механізму дії добавок та розробка на цій основі добавок, що прискорюють твердіння цементу в бетоні, що підвищують його кінцеву міцність та стійкість до різних впливів зовнішнього середовища.

Класифікація добавок за різними ознаками дозволяє направлено, вести їх пошук з урахуванням хімічного складу та структури матеріалу добавки, а також техніко – економічних показників та перспектив впровадження.



Рисунок 4.2 – Основні напрямки використання хімічних добавок в бетонах

4.2 Ефективність використання хімічних добавок в бетонах.

Великий інтерес в останні роки викликали дослідження та пропозиції щодо застосування високоефективних розріджувачів бетонної суміші, що одержали назву – «суперпластифікатор». Відмінність цих речовин від звичайних пластифікаторів полягає в значно більших пластифікуючих ефектах. Це дає можливість при використанні їх в оптимальних умовах знижувати на 20-30% кількість води, що вводиться в бетонну суміш, і тим самим істотно підвищувати міцність і щільність бетону без збільшення витрати цементу.

Висока пластичність бетонної суміші з суперпластифікаторами дозволяє до мінімуму звести дії вібрації на неї при укладанні в опалубку, а в окремих випадках взагалі відмовитися від такого. Гарне заповнення форми підвищує якість конструкції, значно полегшує формування елементів складної конфігурації. Таким чином, знижуються трудовитрати при бетонуванні, створюється більш сприятливі санітарно – гігієнічні умови праці робітників.

У зарубіжній практиці пластифікатори застосовуються досить широко. Такі країни, як Японія, Франція та США щорічно виробляють тисячі тон добавок. Слід підкреслити, що зарубіжні суперпластифікатори на меламіноформальдегидній основі відрізняються високою вартістю і незважаючи на це, їх застосовують у великих масштабах, оскільки завдяки зниженню трудомісткості бетонних робіт вони економічно вигідні.

Застосування більш рухливих сумішей, крім можливості підвищення міцності, дає додаткові важливі переваги: знижується енергоємність виготовлення виробів завдяки скороченню часу вібрування сумішей і режимів тепловологісної обробки; знижується трудомісткість внаслідок більшої рухливості сумішей; знижується металоємність виробництва збірних залізобетонних конструкцій за рахунок подовження терміну служби форм і зменшення зносу віброобладнання; з’являється можливість збільшення витрати піску взамін щебню при незмінній витраті цементу; можуть бути використані більш доступні і дешеві заповнювачі і

головне, значно поліпшуються умови праці за рахунок скорочення інтенсивності вібрації.

Встановлено, що бетони з суперпластифікатором доцільно застосовувати при виготовленні збірних або зведенні монолітних конструкцій невеликої товщини з густим армуванням і складної конфігурації в поперечному перерізі: напірних залізобетонних труб, об'ємна елементів при зведенні резервуарів, димових труб та інших подібних конструкцій.

Яка з добавок суперпластифікаторів виявиться найбільш раціональною, покаже майбутнє за результатами перевірки їх властивостей, уточнення сировинних запасів та економіки, але можна бути впевненими, що в залежності від специфіки виготовлених конструкцій і заводською технологією, в залежності від властивостей добавок знайде застосування не один вид суперпластифікаторів, як дорогих, але сильно діючих, так і більш слабких, але відносно дешевих і недефіцитних.

Зокрема, дорогий суперпластифікатор на основі меламіну буде давати невелику грошову економію в збірних конструкціях житлових будинків і виробничих будівель. Тому в першу чергу його застосування буде ефективно в напірних трубах. Більш слабкі, але дешеві суперпластифікатори можно буде використовувати, в числі інших добавок, для зниження витрати цементу.

Організація масового виробництва суперпластифікаторів займе певний час. Тому в першу чергу, їх слід застосовувати там. Де можна спростити або докорінно змінити технологію, забезпечуючи підвищення продуктивності лінії, велике зниження трудовитрат, високу грошову економію, доповнюється істотним зниженням витрати дефіцитного цементу або ж забезпечити можливість додання виготовленої конструкції нових властивостей, більш високого якості (напірні і малонапірні труби, касетне виробництво плит і панелей, стендове виготовлення масивних густоармованих конструкцій, об'ємних блок-кімнат, можливість отримання високоміцних бетонів).

В даний час підприємства хімічної промисловості забезпечують суперпластифікатори тільки вузькоспеціалізовані підприємства і технологічні

лінії, які виготовляють труби, об’ємні блок-кімнати або конструкції з бетонів марок М 500 – М 600. Крім обмеженого обсягу поставок цих добавок, знадобиться час на оснащення підприємств необхідним дозувальним та іншим обладнанням, на упорядковування форм і касет з метою забезпечення їх герметичності, необхідно накопичити досвід роботи за новою технологією.

При бетонуванні масивних бетонних конструкцій типу не армованих фундаментів, економія в трудовитратах при введенні добавок зменшуватиметься; при зведенні густоармованих конструкцій, тонкостінних або Ф складного обриси – збільшуватися. В середньому, можна вважати, що застосування суперпластифікаторів в монолітних конструкціях дозволить знизити трудовитрати не менше ніж на 1-1,5 люд-год/м3.

Організація масового застосування суперпластифікаторів в монолітних конструкціях складніше, ніж на заводах ЗБК, внаслідок розкиданості споруджуваних об’єктів і різної їх віддаленості від заводу товарного бетону, необхідність створення спеціальних транспортних засобів для перевезення литих сумішей до місця будівництва, створення устаткування для роздачі цих сумішей, необхідності забезпечення герметичності опалубки, організації дієвого технічного контролю. Тому суперпластифікатори слід в основному використовувати на заводах ЗБК.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Основні наукові та практичні результати роботи полягають в наступному:

1. В окремі групи виділено тонко дисперсні мінеральні та комплексні добавки.
2. Хімічні добавки для важкого, легкого, дрібнозернистого бетонів слід вибирати на підставі рекомендацій нормативно-технічної документації і техніко-економічних розрахунків.
3. Вибір добавки повинен проводитися в залежності від технології приготування бетонної суміші і від способу виготовлення виробів і конструкцій з урахуванням впливу добавок на властивості бетонної суміші і бетону.
4. Застосування добавок у важкому і дрібнозернистому бетонах дозволяє вирішувати наступні технологічні задачі:

• зменшувати витрати дорогого цементу;

• зменшувати витрати дефіцитного великого заповнювача аж до заміни важкого бетону дрібнозернистим;

• покращувати технологічні та реологічні властивості бетонної суміші;

• регулювати втрату рухливості суміші від часу, швидкість процесів схоплювання і твердіння;

• скорочувати тривалість теплової обробки бетону в теплових агрегатах;

• прискорювати терміни розпалю блювання при природному твердінні бетону в умовах полігону;

• підвищувати міцність, водо – і газонепроникність бетону;

• підвищувати морозостійкість, корозійну стійкість бетону і залізобетону;

• посилювати захисну дію бетону по відношенню до арматури.

Рекомендації – для бетонів, до яких пред’являються спеціальні вимоги щодо довговічності (морозостійкості, водонепроникності, корозійної стійкості й іншими показниками), вибір добавок слід виробляти по провідному агресивного впливу.

Зниження матеріаломісткості бетонів може бути досягнуто за рахунок застосування водоредуцируючих добавок (суперпластифікаторів і комплексних добавок на їх основі). Їх використання дозволяє в рівноміцних бетонах зменшити витрату цементу на 15…20%.

Незалежно від досягнутого ефекту по економії цементу при приготуванні бетонів, до яких пред'являються підвищені вимоги по довговічності, до складу бетонної суміші доцільно вводити повітрязалучаючі, слабкопластифіцируючі добавки або їх поєднання з прискорювачами твердіння.

Для отримання бетонної суміші з необхідними технологічними властивостями до її складу рекомендується вводити такі добавки:

• для приготування литих і високо рухливих бетонних сумішей – суперпластифікатори і сильнопластифікуючі добавки;

• для зниження жорсткості та збільшення рухливості – пластифікуючи, повітрязалучаючі і комплексні на їх основі;

• для підвищення однорідності і зв'язності бетонної суміші – стабілізуючі, слабкопластифікуючі, повітрязалучаючі, гідрофобізуючі- повітрязалучаючі;

• для прискорення твердіння або підвищення електропровідності суміші – домішки прискорювачів твердіння та інгібіторів корозії сталі.

Для отримання бетонів високої щільності і високоміцних бетонів класу В40 і більше слід обов'язково вводити і суперпластифікатори комплексні добавки на їх основі.

Для забезпечення стійкості бетонних і залізобетонних конструкцій залежно від умов експлуатації і видів корозійної дії агресивного середовища необхідно застосовувати такі добавки:

• для підвищення морозостійкості бетону – повітрязалучаючі, газоутворюючі, слабкопластифікуючі, гідрофобизируючі-повітрязалучаючі, гідрофобізуючі-газоутворюючі;

• для підвищення стійкості бетону при впливі солів, в тому числі в умовах капілярного підкосу і випаровування – ті ж, що для підвищення морозостійкості, а також суперпластифікатори, гідрофобізуючі і кольматувальні;

• для підвищення непроникності бетону – кольматувальні, водоредукуючі, повітрязалучаючі, гидрофобизируючі-повітрязалучаючі;

• для підвищення захисної дії по відношенню до сталевої арматури – інгібітори корозії: ПН і ННК – для конструкцій, принад значених для експлуатації в слабо агресивних середовищах, а комплексні: ПН + ТБН, ПН + БХН, ПН + БХК – для конструкцій, принад значених для експлуатації в середньо – та сильно агресивних середовищах.

Для скорочення режиму теплової обробки, а також для прискорення твердіння бетонів, витриманих на полігонах у природних умовах, до складу бетону слід вводити добавки прискорювачів твердіння і комплексні на їх основі.

При виготовленні виробів з легкого бетону на пористих заповнювачах можуть застосовуватися всі хімічні добавки, рекомендовані для важких бетонів, з аналогічними проектними характеристиками, умовами приготування і застосування з урахуванням деяких особливостей.

При використанні водопотребних дрібних заповнювачів (золи і золо шлакових сумішей ТЕС, пористого піску та ін.) слід застосовувати пластифікуючи домішки, а підвищення щільності бетону при цьому можна компенсувати збільшенням об’єму втягнутого повітря за рахунок застосування повітрязалучаючих добавок.

Дозування пластифікуючи добавок для конструкційних легких бетонів знаходиться в тих же межах, що і для важких бетонів.

При виготовленні виробів з конструкційно – теплоізоляційного бетону доцільно використовувати повітрязалучаючі добавки. Одночасно з ними можуть застосовуватися:

• пластифікатори – для зниження на 10…20% водо вміщення бетонної суміші і відпускної вологості бетону;

• гідрофобізатори – для зменшення водопоглинання бетоном в огороджувальних конструкціях, що експлуатуються в агресивних середовищах;

• прискорювачі твердіння – для створення необхідної распалубочної міцності бетону при скорочених режимів теплової обробки.

Кількість введених хімічних моно добавок і комплексних добавок необхідно визначати за рекомендаціями. Оптимальна кількість добавок встановлюється експериментально при підборі складу бетону.

При використанні добавок слід враховувати вимоги, які обмежують застосування добавок у бетонних і залізобетонних виробах і конструкціях в залежності від умов їх експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Батраков В. Г. «Добавки – ключ до вирішення проблем технології бетону». Збірка «Хімічні та мінеральні добавки в бетон». Під загальною редакцією А. В. Ушерова – Маршака. Харків «Колоріт», 2005р.

2. Баженов Ю.М. Технологія бетону. Вид-во АСВ, 2003. – 500с.

3. Батраков В. Г. Модифіковані бетони. Теорія та практика. Харків, 1998р., - 768с.

4. Бабаєвська Т. В. Роль добавок в технології бетону – добавки системи Релаксол – Матеріали міжнародної науково – практичної конференції «Товарний бетон. Нові можливості в будівельних технологіях». – Харків, 2008. – с. 103-112.

5. Шаровар М. К., Чуб А. А., Ботвиновський Є. В., «Бетони з домішками системи Релаксол і Adi – Con GSF для тонкостінних густоармованих конструкцій». Збірник 7 Международной науково – практичної конференції: «Дні сучасного бетону». М. Запоріжжя, «Будіндустрія», 2005р.

6. Бабаєвська Т. В., Коваль С.В. «Порівняльна оцінка ефективності введення добавки Релаксол в цементи та бетони». Збірка «Хімічні та мінеральні добавки до бетону». Під ред. А.В. Ушерова–Маршака. Харків «Колорит», 2005р.

7. Хімічні і мінеральні добавки в бетон. За заг. ред. О. Ушерова-Маршака – Х. – Колорит, 2005. – 280с.

8. «Дослідження і застосування хімічних добавок у бетонах». Збірник наукових праць. Під ред. Батракова В.Г., Фалікманов В.Р.М. «НДІЗБ» 1989р.

9. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження у будівництво – Рунова В.І., Гоц І.І., Назаренко Р.Ф. та ін., - КУВПК «ЕксОб», 2008. – 360 с.

10. Концепція застосування модифікаторів для підвищення якості та довговічності залізобетону – Саницький М.А., Марущак У. Д., Мазурак О. Т., Чемерис М. М., «Міжвідомчий науково – техн. Збірник – вип. 59. – К – НДІБК, 2003. – с. 448-445.»

11. ДСТУ Б В.2.7-96-2000 «Суміші бетонні. Технічні умови».

12. Норма EN 206-1. Бетон – Частина 1: «Специфікація, дія, виробництво і відповідність» - Європейський стандарт розроблений в CEN/TC 104 «Бетон і пов’язані з ними продукти».

13. ДСТУ Б В.2.7-171:2008 «Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови» (EN 934-2:2008, NEQ).

14. Норма EN NR: EN 934 – 2: 2009 – добавки до бетону, будівельного розчину та затирання – Частина 2: «Добавки в бетон – визначення, вимоги, відповідність, маркування та етикетування».

15. Норма EN 480 – Добавки до бетону, будівельного і цементного розчину. Методи випробувань. Частина 1. «Еталонний бетон і еталонний розчин для випробувань».

16. Норма EN 934 – 6 – Добавки до бетону, будівельного розчину і рідкого будівельного розчину.

17. Вимога ISO 11014 – 1 – Безпека аркуша даних для хімічних продуктів - Частина 1: Зміст і порядок розділів. Надає інформацію для складання та завершення паспорту безпеки.

18. ДСТУ Б В.27–69–98 «Добавки в бетон. Методи визначення ефективності».

19. ДСТУ Б В.2.7-215:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу».

20. ДСТУ 3760:2019 «Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови».

21. ТУ У 24.3-26209430-093:2016 «Дріт з низько вуглецевої сталі холодно тягнутий для армування залізобетонних конструкцій. Технічні умови».

22. ТУ УБВ.2.7-19266746.001-96 «Прискорювач з пластифікуючим ефектом «Релаксол».

23. ДСТУ Б.В.2.7.65 – 97 «Домішки для бетонів і будівельних розчинів. Класифікація».

24. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.