

## ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ ПЛАСТИФІКАТОРІВ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЄКТНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИМОГ ДО СКЛАДУ БЕТОНУ ДЛЯ ПОБУДОВИ ПЛАВУЧИХ КОМПЗИТНИХ ДОКІВ

Кириченко К. В., Щедролюєв О. В., Рашковський О. С.

### 1. Вступ

Умови роботи морських залізобетонних споруд (особливо плавучих доків) є значною мірою екстремальними. Залізобетонні конструкції плавучих доків піддаються всім відомим впливам навколишнього середовища через те, що вони експлуатуються у всіх кліматичних зонах земної кулі. Одночасно з цим конструкції плавучого доку зазнають наступних навантажень:

- постійні (вантажі на стапель-палубі, тиск води і т. ін.);
- статичні змінні (сили виштовхування води при прогині і перегині корпусу);
- динамічні змінні (удари, навали), внаслідок яких в бетоні виникають

напруження різної величини і змінного напрямку.

Перевага залізобетону полягає в тому, що бетон сам добре працює на стиснення, а робота на розтягування забезпечується арматурною сталлю, яка захищена від дії агресивної морської води бетоном. В цьому випадку витрачається значно менше сталі, чим на сталевий корпус, оскільки виключається збільшення товщини конструкцій на корозію. Арматурний прокат дешевше профільного і листового. Оскільки залізобетон не кородує у воді, корпус понтона не вимагає фарбування і докування. Металеві башти можна пофарбувати і відремонтувати без докування і виведень доку з експлуатації, паралельно з проведенням в нім ремонту судна [1].

Бетон корпусів залізобетонних плавучих доків у всіх кліматичних зонах поперемінно зволюється і висушується, зазнає агресивної дії солей морської води – хімічної корозії в результаті реакції між цементним каменем і солями, розчиненими в морській воді.

Крім того, в південних, субтропічних і тропічних морях дія хімічної корозії підсилюється високою температурою, вологістю при багаторазових і поперемінних зволоженнях і висиханнях. В північних і східних морях суднобудівний бетон в зимовий період багаторазово поперемінно заморожується і відтає.

За кліматичними умовами і ступенем агресивності середовища (морської води) моря, де експлуатуються плавучі доки, можуть бути поділені на моря:

- з особливо суворими (Баренцове море, Біле море, моря басейну Тихого океану);
- з суворими (Чорне море, Каспійське море);
- з помірними кліматичними умовами (Балтійське море).

У зв'язку з такими багатofакторними умовами експлуатації залізобетонних суден, а також розвитком напрямків використання залізобетонних плавучих засобів, є актуальною розробка нових видів пластифікаторів з метою поліпшення якісних властивостей бетону.

### 2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом даного дослідження є пластифікатори, які є найбільш затребуваними добавками для поліпшення якісних властивостей бетону, що використовується

для побудови високоміцних залізобетонних виробів гідротехнічного призначення.

Виробництво високоміцних залізобетонних виробів гідротехнічного призначення пов'язано, в першу чергу, з максимальним використанням в'язучого потенціалу цементу, обумовлює ступенем модифікування цементної системи, яка передбачає відсутність надлишку води замішування, а також залученого повітря [2].

Товщини корпусу залізобетонного судна є достатньо малими (місцями до 4...8 см). З метою забезпечення загальної і місцевої міцності корпусу відсоток насичення сталеву арматурою є достатньо великим (250...600 кг/м<sup>3</sup>). Використовуються жирні склади бетонів (витратою цементу 450...800 кг/м<sup>3</sup>), рухливістю 2...18 см із дрібним заповнювачем і малими значеннями водоцементного відношення 0,32...0,45. Враховуючи наведені дані можна зробити висновок, що суднобудівні бетони відрізняються від бетонів, застосовуваних в інших галузях промисловості і мають свої специфічні особливості.

Суднобудівний бетон також повинен мати достатню корозійну стійкість і щільність. Він повинен надійно захищати арматуру від корозії при товщинах захисного шару 0,5 см для внутрішніх сухих і поверхонь, що періодично звожуються, і 1,0...1,15 см для зовнішніх поверхонь корпусу залізобетонного судна.

Одним з найбільш проблемних місць є міцність бетонів. Це пов'язано з екстремальними умовами роботи та навантаженнями, які витримують конструкції плавучого доку.

### **3. Мета та задачі дослідження**

*Мета дослідження* – підбір високоефективних пластифікаторів з метою забезпечення проектних та експлуатаційних вимог до складу бетону для побудови плавучих композитних доків. Це дозволить збільшити міцність понтонів плавучих композитних доків

Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Розглянути особливі вимоги, які пред'являються до суднобудівного бетону і бетонної суміші у зв'язку із екстремальними умовами роботи морських залізобетонних споруд.
2. Провести класифікацію пластифікуючих добавок за ефективністю пластифікуючої дії.
3. Розглянути допустимий вміст шкідливих домішок у заповнювачах для важких бетонів.

### **4. Дослідження існуючих рішень проблеми**

Комплекс проектних вимог до гідротехнічних бетонів забезпечується вибором вихідних матеріалів і добавок, проектуванням складів бетонних сумішей відповідно до умов експлуатації з урахуванням рекомендованих обмежень (табл. 1). Досвід будівництва гідротехнічних споруд і дослідження вчених [4, 5] свідчать про те, що в щільних бетонах проникність бетону визначається, головним чином, водоцементним відношенням (В/Ц). При високих значеннях В/Ц структура бетону характеризується великими капілярними порами і седиментаційними порожнечами під поверхнею масивного заповнювача, що і є причиною високої проникності таких бетонів. Модифікований бетон напівсухого формування характеризується низькими значеннями В/Ц, відсутністю великих капіля-

рів і седиментаційних пустот, що забезпечує їх високу непроникність.

**Таблиця 1**

Рекомендовані гранично допустимі величини водоцементного відношення для гідротехнічного бетону\*

Зона й умови експлуатації	Немасивні залізобетонні конструкції у воді		Зовнішня зона конструкцій масивних споруд у воді	
	морський	прісний	морський	прісний
Зона змінного рівня в кліматичних умовах:				
особливо суворих	0,42	0,47	0,45	0,48
суворих	0,45	0,50	0,47	0,52
помірних	0,50	0,55	0,55	0,58
Підводна зона:				
напірна	0,55	0,58	0,56	0,58
безнапірна	0,60	0,62	0,62	0,62
Надводна зона: частково омивана водою	0,55	0,60	0,65	0,65

**Примітка:** \* побудовано на основі даних [3].

Як і для інших видів важких бетонів для гідротехнічних бетонів міцність у проектному віці нормується згідно ДСТУ БВ.2.7-43-96 за класами за міцністю на стиск, осьовий розтяг і розтяг при згині.

Для бетону конструкцій, що піддаються в процесі експлуатації попереминому заморожуванню та відтаванню, призначають наступні марки за морозостійкістю (F): 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000. При обмеженні проникності, підвищеній щільності і корозійній стійкості призначають марки за водонепроникністю (W): 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20.

У свіжоприготованій бетонній суміші одночасно відбуваються хімічні і фізичні процеси, які пов'язані з гідратацією цементних зерен, водовідділенням, ущільненням і розшаруванням суміші [6]. Приріст міцності бетону з добавкою в цілому зменшується при збільшенні тривалості теплової обробки, особливо стадії ізотермічного прогрівання. Однак, виходячи з приросту міцності бетону з добавкою, представляється можливим скоротити час теплової обробки бетону або витрати цементу [7]. Консистенція бетонної суміші повинна забезпечувати надійність транспортування і можливість укладання її в опалубку підводної конструкції. Тому консистенцію слід призначати з урахуванням умов бетонування і форми конструкції [8–12]. Для вирішення завдання підвищення експлуатаційних характеристик ефективних гідротехнічних дрібнозернистих бетонів необхідна оптимізація складів таких бетонів і технології їх приготування, а також використання різних органічних і мінеральних модифікуючих добавок.

Одним з основних видів, що зменшує міцність дефектів бетону є підвищена пористість. Пористість виникає внаслідок деструкції бетону під час експлуатації і виражається в розпушенні його структури, ослабленні зв'язку між кристалічними новоутвореннями в цементному камені, а також цементним каменем

і частинками заповнювача. Це призводить до зниження міцності бетону, а також сприяє фільтрації в обсяг бетону води і агресивних рідин, морозному і абразивному руйнуванню [13]. Рішенням цієї проблеми може стати значне ущільнення структури бетону. За результатами досліджень, наведених в науково-технічній літературі [14–19], відомо, що з метою скорочення витрат цементу, а також ущільнення структури бетону в якості тонкодисперсної мінеральної добавки в бетонну суміш вводять метакаолін. Причому, його кількість не повинна перевищувати 15 % від маси цементу, так як він містить активний діоксид кремнію і оксид алюмінію приблизно в однаковій пропорції. І з цієї причини сильніше, ніж мікрокремнезем, пов'язує вільний гідроксид кальцію, що призводить до зниження лужності середовища в бетоні і може викликати корозію сталевих арматур. У зв'язку з необхідністю забезпечити міцність бетонів є перспективним удосконалення складу бетонів [20–25].

Пластифікатори є найбільш затребуваними добавками для поліпшення якісних властивостей бетону [26]. В даний час в будівництві пластифікатор є обов'язковим елементом будь-якого бетонного розчину, що пояснюється рядом переваг: підвищення пластичності готового розчину, економні витрати цементного розчину, поліпшення тріщиностійкості бетону [27]. Пластифікатори поділяються на 4 класифікації: сильні, слабкі, середні і суперпластифікатори [28]. Пластифікатори почали використовуватись у 40-х роках, і у зв'язку зі швидкими темпами розвитку будівельних технологій досягли якісно високого рівня і здатні підвищувати склад бетонної суміші [29]. За принципом дії пластифікатори поділяються на 2 види: гідрофільні і гідрофобізуючі [30]. Головна функція добавок першого виду полягає в підвищенні пластичних і текучих властивостей бетону [31]. Пластифікатори другого виду насичують бетонну суміш киснем, що в свою чергу знижує натяг вологи в розчині [32]. Розчин гідрофобізатора наноситься на поверхню будівельної конструкції. Глибина його проникнення тим більше, чим нижче його поверхневий натяг і в'язкість і чим вище пористість будівельного матеріалу. Стінки пір і всі частки матеріалу, що увійшли в контакт з розчином, обволікаються водовідштовхувальною плівкою гідрофобізатора. При цьому ні розміри пір, ні фактура поверхні твердого тіла не змінюються. При гідрофобізації розчином всі пори зберігаються відкритими, здатність змочуватися водою втрачають їх стінки, в той же час матеріал втрачає здатність капілярно всмоктувати воду [33–37]. В роботі [38] розглянуто також питання застосування різних активованих і пластифікуючих добавок в бетонній суміші. Основним недоліком пластифікаторів є збільшення часу застигання бетонної суміші [39], що позначається на термінах, а в подальшому, і вартості будівництва. У сучасному будівництві реалізація складних проектів вимагає розробки ефективних і якісних бетонів, які не можуть бути вирішені без застосування в технології бетону пластифікуючих добавок [40].

Пластифікуючі добавки відрізняються високою ефективністю і відсутністю негативного впливу на бетон і арматуру. Найбільший інтерес представляють пластифікуючі добавки з сімейства супер- і гіперпластифікаторів [41]. Відомо [42, 43], що добавки-пластифікатори, які дозволяють знизити водопотребу бетонної суміші при робочих концентраціях, відповідають максимальній функціональній дії (пластифікуван-

ню і водоредуціюванню). Додатки-пластифікатори надають досить тривалу блокуючу дію на кінетику твердіння більшості цементів і набору міцності бетонів.

## **5. Методи дослідження**

У ході дослідження використовувалися методи аналізу і узагальнення наукової літератури щодо проектних та експлуатаційних вимог до бетонів гідротехнічних споруд.

Вибір виду і марки (чи класу) цементу, його мінералогічного і речовинного складу обумовлені необхідними міцнісними властивостями бетону і кінетикою наростання міцності в часі. Для гідротехнічного бетону масивних споруд поширене застосування помірно- та низькотермічних цементів з нормованим хіміко-мінералогічним складом і підвищеним вмістом активних мінеральних добавок. Для бетону, що працює в умовах попереминого заморожування і відтавання при впливі мінералізованого водного середовища, застосовують сульфатостійкі низькоалюмінатні цементи.

Крім проектних вимог за міцністю, морозостійкістю і водонепроникністю для гідротехнічного бетону у відповідності до умов роботи та норм проектування можливе пред'явлення ряду додаткових вимог. Проектний вік, у якому повинні бути забезпечені технічні вимоги, вказують у документації на конструкції. Він призначається згідно норм проектування залежно від умов, вимог до бетону, способів зведення та термінів фактичного завантаження конструкцій. Якщо проектний вік не зазначений, технічні вимоги до бетону повинні бути забезпечені в 28 діб.

При необхідності швидкого забезпечення достатньої міцності бетону, особливо при виготовленні збірних залізобетонних елементів застосовують також швидкотверднучі цементи. До заповнювачів для гідротехнічного бетону також як і до цементів вимоги визначаються диференційовано, залежно від експлуатаційних умов конструкцій і споруд. Найбільш жорсткі вимоги пред'являються до бетону, що працює в умовах змінного рівня води.

## **6. Результати досліджень**

Загальні вимоги до заповнювачів для гідротехнічних бетонів аналогічні вимогам до заповнювачів для інших видів важких бетонів (ДСТУ Б В.2.7-43-96). Крупний заповнювач – щебінь або гравій вибирають, враховуючи його зерновий склад, найбільшу крупність, вміст глинистих і пиловидних частинок, інших шкідливих домішок, розмір зерен, міцність і вміст зерен слабких порід, петрографічний склад і радіаційно-гігієнічну характеристику. При підборі складу бетону враховують також густину, пористість, водопоглинання та пустотність зерен заповнювача.

Для бетону в зоні змінного рівня води застосовують щебінь або гравій із середньою густиною зерен не нижче  $2,5 \text{ г/см}^3$  і водопоглинанням не більше 0,5 % для заповнювачів з вивержених і метаморфічних порід, і 1 % – осадових порід. Для бетону внутрішньої, підводної та надводної зон густина зерен крупного заповнювача повинна бути не нижче  $2,3 \text{ г/см}^3$ , а водопоглинання не більше 0,8 % для заповнювача з вивержених і метаморфічних порід, і 2 % – осадових порід.

На якість заповнювачів суттєво впливає вміст пиловидних, глинистих і мулистих домішок, який визначають зазвичай способом відмулювання. До пиловидних відносять частинки крупністю від 0,005 до 0,05 мм, до глинистих і му-

листих – до 0,005 мм. Обмеження вмісту відмулювальних домішок у заповнювачах обумовлено негативним впливом утворених ними плівок на зчеплення цементного каменю із заповнювачами, і, як наслідок, на міцність, морозостійкість та інші властивості бетону, водопотребу бетонних сумішей. Для бетону гідротехнічних споруд вміст глинистих і пиловидних частинок у крупному заповнювачі (не залежно від виду породи), не повинен перевищувати 1 % для бетону зони змінного рівня води та 2 % для підводної і внутрішньої зон. При цьому для бетону, що експлуатується в зоні змінного рівня не допускається наявність у крупному заповнювачі глини у вигляді окремих грудок.

Морозостійкість крупних заповнювачів для всіх видів важких бетонів не може бути нижча нормованої марки бетону за морозостійкістю. Для гідротехнічного бетону, до якого пред'являються вимоги за морозостійкістю та кавітаційною стійкістю, використовують щебінь із вивержених порід марки за міцністю не нижче 1000. Необхідна морозостійкість щебеню і гравію нормується з урахуванням середньомісячної температури найбільш холодного місяця в році. Якщо остання коливається від 0 до мінус 10 °С марка за морозостійкістю щебеню і гравію повинна бути не нижче F100, нижче мінус 10 °С – F200.

При виготовленні зносостійкого гідротехнічного бетону для щебеню і гравію визначається марка по зносу у поличному барабані, яка повинна бути не нижче Ст-I для заповнювачів з вивержених і метаморфічних порід та Ст-II – осадових порід.

Для гідротехнічного бетону застосовують щебінь із природного каменю з маркою не нижче 600 для класів за міцністю до C15 включно, не нижче 800 для класів від C20 до C30 та 1200 для класів вище C30. У щебеню та гравію для бетону в зоні змінного рівня вміст зерен слабких порід не допускається більше 5 %.

Для бетонів гідротехнічних споруд допускається застосовувати пісок з модулем крупності від 1,5 до 3,5. Повний залишок на ситі з розміром отворів:

- 2,5 мм від 0 до 30 %;
- 1,25 мм – від 0 до 55 %;
- 0,63 мм – від 20 до 75 %;
- 0,315 мм – від 40 до 90 %;
- 0,16 мм – від 85 до 100 %.

При цьому дрібний пісок з модулем крупності рівним або меншим 2,0 використовується при обов'язковому застосуванні пластифікуючих поверхнево-активних добавок.

Вміст глинистих і пиловидних частинок, а також частинок слюди, які часто зустрічаються при застосуванні піску для бетону гідротехнічних споруд устанавлюється з урахуванням його розташування стосовно води. Для бетону зони змінного рівня води вміст у піску глинистих і пиловидних частинок, а також слюди повинен бути відповідно не більшим 2 і 1 %, надводної зони – 3 і 2 %, підводної і внутрішньої – 5 та 3 %. Допустимий вміст шкідливих домішок у заповнювачах наведений в табл. 2 [3].

Із добавок, що регулюють властивості бетонних сумішей, найбільшого застосування в технології гідротехнічного бетону набули пластифікуючі добавки.

У відповідності з ефективною пластифікуючою дією, тобто збільшенням рухомості бетонної суміші без зниження міцності бетону, пластифікатори поділяють на 4 категорії (табл. 3) [3].

Таблиця 2

Допустимий вміст шкідливих домішок у заповнювачах для важких бетонів

Вид домішок	Граничний вміст
Аморфні різновиди діоксиду кремнію, розчинні в лугах, сірка, сульфіді (крім піриту) у перерахунку на SO <sub>3</sub> для крупного заповнювача для дрібного заповнювача	не більше 50 моль/л не більше 1,5 % за масою не більше 1,0 % за масою
Шаруваті силікати (слюди, гідрослюди, хлорити та ін.) для крупного заповнювача для дрібного заповнювача	не більше 15 % за об'ємом не більше 2 % за масою
Магнетит, гідрослюди заліза, апатит, нефелін, фосфорит	не більше 15 % за об'ємом (кожний окремо не більше 10 %)
Галоїди в перерахунку на іон хлору для крупного заповнювача для дрібного заповнювача	не більше 0,1 % за масою не більше 0,15 % за масою
Вільне волокно азбесту	не більше 0,25 % за масою
Вугілля	не більше 1 % за масою

Таблиця 3

Класифікація пластифікаторів бетонних сумішей

Категорія	Найменування	Ефективна пластифікуюча дія (підвищення ОК з 2...4 см), см	Зменшення кількості води, %
I	Суперпластифікатори	До 20 і більше	не менше 20
II	Пластифікатори	14...19	не менше 10
III	Пластифікатори	9...13	не менше 5
IV	Пластифікатори	8 і менше	менше 5

Повітровтягувальні добавки залежно від хімічної природи поділяють на шість груп:

- 1) солі, отримані з деревної смоли;
- 2) синтетичні миючі засоби;
- 3) солі лігносульфонових кислот;
- 4) солі нафтових кислот;
- 5) солі, отримані з протеїнів;
- 6) солі органічних сульфокислот.

Накопичено значний досвід застосування в гідротехнічному бетоні добавок першої групи, які отримані при нейтралізації їдким натром деревної смоли після екстракції з неї скипидару. Ця добавка, представлена переважно абіетатом натрію, відома під назвою нейтралізований винсол або смола нейтралізована повітровтягувальна.

Основне призначення повітровтягувальних добавок радикальне підвищення морозостійкості бетону в результаті створення раціональної системи повітряних бульбашок для вижимання частини води при заморожуванні.

Поряд із пластифікуючими та повітровтягувальними чи газовиділяючими добавками в сучасній технології гідротехнічного бетону все більшого застосування набувають й інші добавки-модифікатори. Прагнення універсалізувати дію добавок і підсилити їх технічний ефект обумовлюють застосування ком-

плексних (композиційних) добавок-модифікаторів.

Для забезпечення тріщиностійкості бетону необхідне виконання умови [3]:

$$\sigma_p = \frac{\varepsilon_{np} E_y}{K_3},$$

де  $\sigma_p$  – розтягувальне напруження;  $E_y$  – модуль пружності бетону;  $K_3$  – коефіцієнт запасу ( $K_3 \approx 1,2 \dots 2$ );  $\varepsilon_{np}$  – гранична розтяжність бетону.

Гранична розтяжність бетону покращується із збільшенням міцності бетону при застосуванні цементів без мінеральних добавок, введенні до бетонну суміші поверхнево-активних речовин і полімерних добавок.

Для забезпечення необхідної тріщиностійкості масивного бетону обмежують також його усадочні деформації. Для гідротехнічного бетону при відносній вологості 60 % і температурі 18 °С у віці 28 діб лінійна усадка допускається зазвичай не більше 0,3 мм/м ( $0,3 \cdot 10^{-3}$ ), а в 180 діб – 0,7 мм/м ( $0,7 \cdot 10^{-3}$ ).

Залежно від умов експлуатації для бетону гідротехнічних споруд призначають відповідні марки за морозостійкістю і водонепроникністю. Відповідно до ДСТУ БВ.2.7-43-96 об'єм втягнутого повітря при морозостійкості бетону F 200 і вище повинен відповідати вимогам, приведеним в табл. 4 [3].

**Таблиця 4**

Об'єм втягнутого повітря, що рекомендується для гідротехнічного бетону з підвищеною морозостійкістю (F>200)\*

Максимальна крупність заповнювача, мм	Об'єм втягнутого повітря у бетонній суміші, % при в В/Ц		
	менше 0,41	0,41...0,50	більше 0,50
10	2...4	3...5	5...7
20	1...3	2...4	4...6
40	1...3	1...3	3...5
60	1...3	1...3	2...4

**Примітка:** \* побудовано на основі даних [3].

Марку бетону за водонепроникністю призначають залежно від величини градієнта напору, тобто відношення максимального напору води до товщини відповідної зони споруди. При напірному градієнті до 5 і температурі контактуючої зі спорудою води до 10 °С призначається марка бетону за водонепроникністю W2; 5...10 °С – W4; 10...15 °С – W<6; 15...20 °С – W8 і 20...30 °С – W10. При температурі води понад 10 до 30 °С призначені марки бетону за водонепроникністю збільшуються на одну ступінь при відповідних значеннях напірних градієнтів. Ще на один ступінь (відповідно від W6 до W12) марки бетону за водонепроникністю збільшуються при температурі води понад 3 °С. У безнапірних конструкціях морських споруд проектна марка бетону за водонепроникністю повинна бути не нижче W4. Для конструкцій із градієнтом напору понад 30 призначають марки бетону за водонепроникністю W16 і вище.

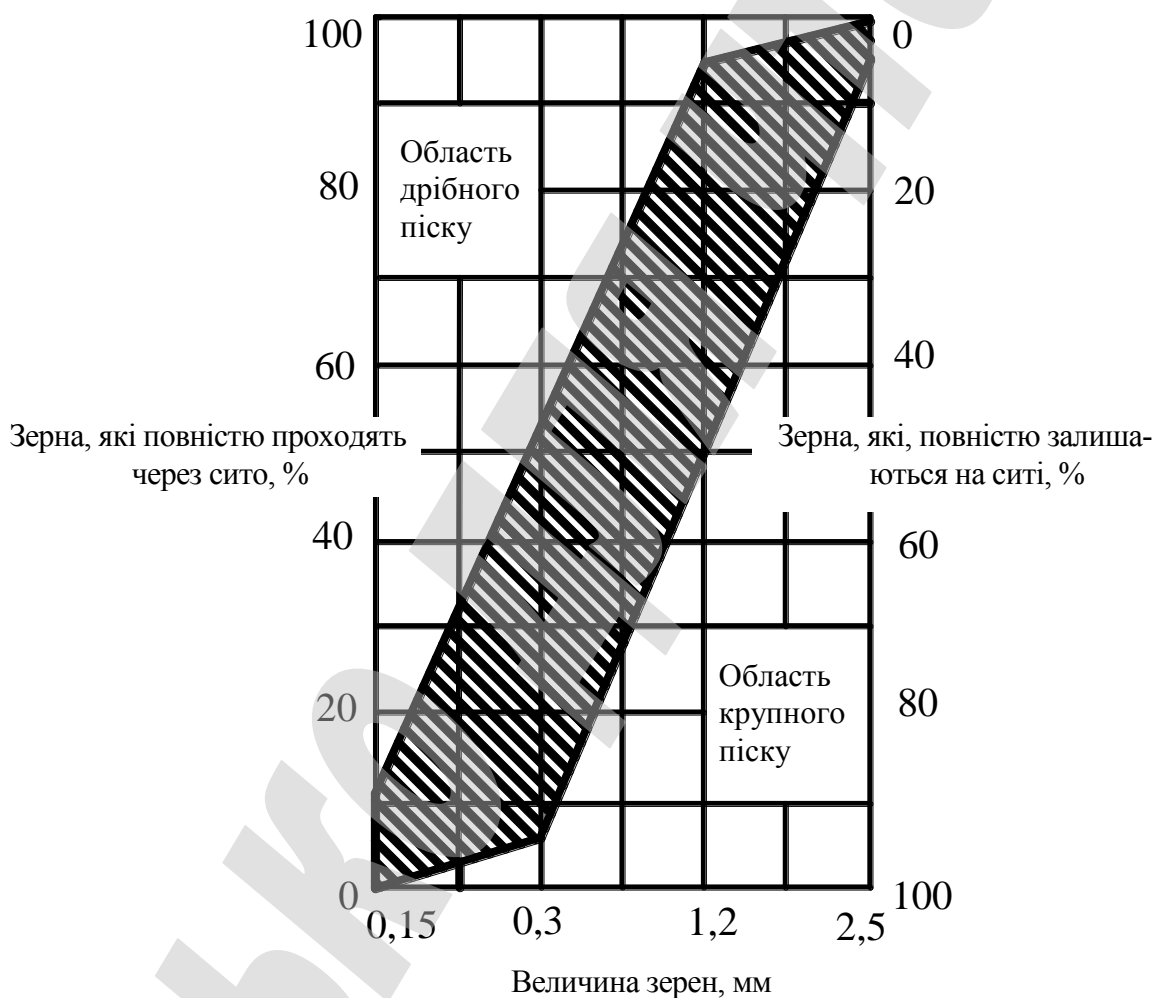
Склад визначений шляхом просіювання навісок піску і щебеню через стандарт-



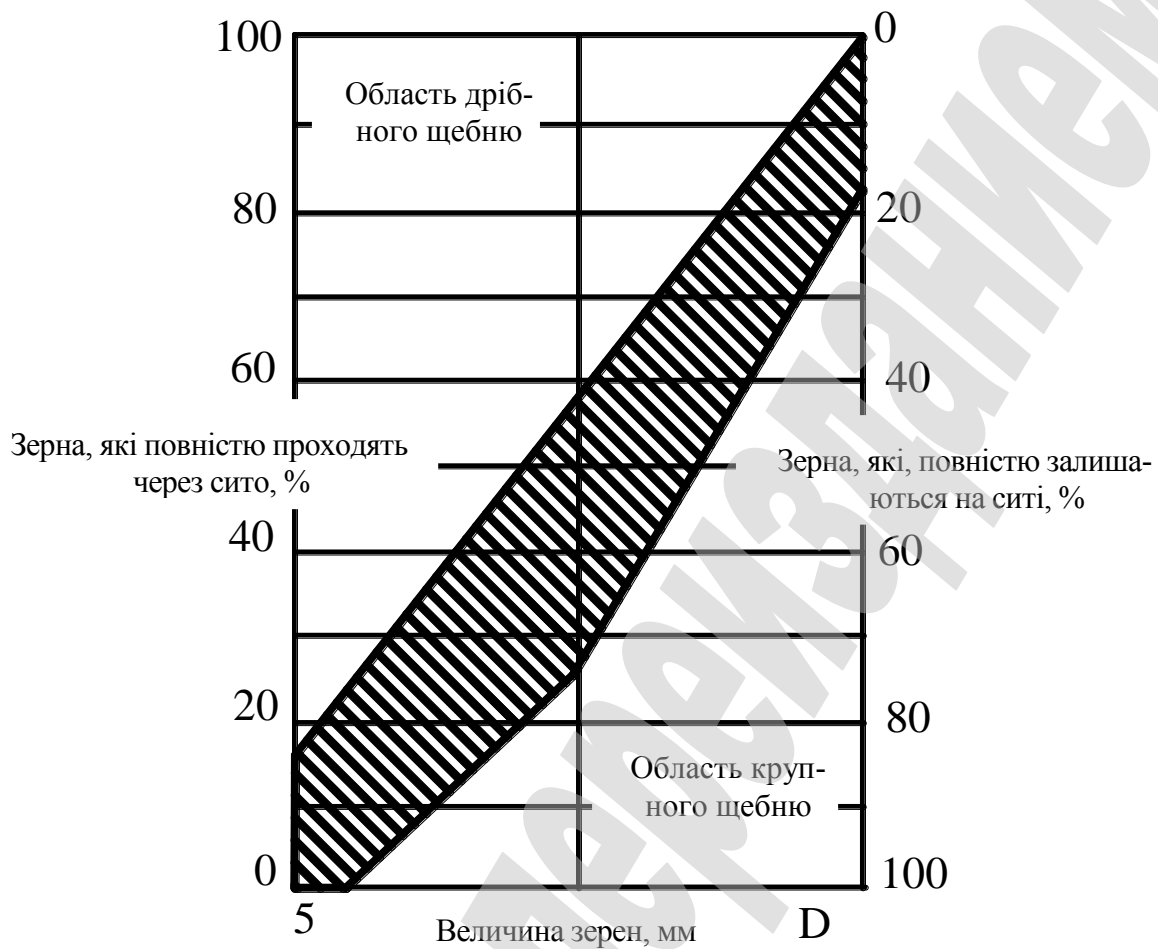
ний набір сит. В результаті визначені граничні криві гранулометричного складу [44], які укладаються в заштриховану область: для піску – рис. 1, для щебеню – рис. 2.

Для частин і елементів греблі, які періодично омиваються водою, марка бетону за водонепроникністю приймається не нижче W4. При впливі на бетон потоку води з рухомими наносами, а також при кавітаційному впливі води марка бетону за водонепроникністю повинна бути не нижче W8.

Добавки підвищують якість бетону і додають йому спеціальні властивості, що дозволяє прискорити темпи виробництва, а також значно його здешевити. Спеціальні властивості бетону необхідні як при будівництві понтонів, причалів, басейнів і спеціальних споруд, так і при монолітному промисловому будівництві.



**Рис. 1.** Рекомендований гранулометричний склад дрібного заповнювача – піску (заштрихована область)



**Рис. 2.** Рекомендований гранулометричний склад крупного заповнювача – щебеню (заштрихована область)

Для підвищення зручності укладання бетону застосовуються пластифікатори і суперпластифікатори. Для будівництва басейнів і різного роду резервуарів застосовуються добавки, що підвищують у кілька разів водонепроникність бетону. Суперпластифікатори в більшості випадків являють собою синтетичні полімери: похідні меламінової смоли або нафталінсульфо кислоти (С-3), інші добавки (СПД, ОП-7 і ін.) отримані на основі вторинних продуктів хімічного синтезу. Суперпластифікатори, що вводяться в бетонну суміш у кількості 0,15...1,2 % від маси цементу, розріджують бетонну суміш у більшій мірі, ніж звичайні пластифікатори. Пластифікуючий ефект зберігається протягом 1,0...1,5 години після введення добавки, а через 2...3 години він майже зникає. У лужному середовищі ці добавки переходять в інші речовини, не шкідливі для бетону і не знижують його міцності.

Суперпластифікатори дозволяють застосовувати виливний спосіб виготовлення залізобетонних виробів і бетонування конструкцій з використанням бетононасосів і трубного транспортування бетонної суміші. З іншого боку, ці добавки дають можливість істотно знизити В/Ц, зберігаючи рухливість суміші, і виготовляти високоміцні бетони.

Державні норми «Добавки для бетонів. Класифікація» визначають зазначений клас добавок – пластифікаторів. На практиці цей клас поділяється ще на чотири категорії. Най-

більш істотною ознакою при розподілі пластифікаторів на окремі категорії є величина пластифікуючого ефекту, тобто зміна рухливості бетонної суміші при введенні в неї добавки.

Ряд пластифікаторів істотно збільшує рухливість бетонної суміші, однак сповільнює в ранньому віці ріст міцності бетону чи викликає підвищене залучення повітря. Для збереження міцності бетону даного складу з добавкою на рівні не нижче міцності вихідного бетону без добавки необхідно зменшити водоцементне відношення в бетонній суміші і, отже, деякою мірою понизити її рухливість. Реальний технічний ефект від застосування таких добавок може бути невеликий. Для його оцінки пропонується ввести поняття ефективної пластифікуючої дії, під яким розуміється та величина пластифікуючого ефекту, що досягається від застосування добавки без зниження міцності бетону.

Так, наприклад, до першої категорії пластифікаторів – суперпластифікаторів – можна віднести добавки, застосування яких в оптимальних дозуваннях дозволяє одержувати з малорухомих бетонних сумішей з осіданням конуса 2...3 см високорухливі бетонні суміші. В цих сумішах осідання конуса 20 см і більше без зниження міцності бетону у віці 28 діб нормального твердіння в порівнянні з міцністю бетону такого ж складу, але без добавок.

Класифікація добавок за ефективною пластифікуючою дією приведена в табл. 5 [3].

**Таблиця 5**

**Класифікація пластифікуючих добавок**

Категорія	Назва	Ефективна пластифікуюча дія (збільшення осадки конуса, см)	Зменшення кількості води, %
I	Суперпластифікатор	від 2...3 до 20 і більше	не менше 20
II	Пластифікатор	від 2...3 до 14...20	не менше 10
III	Пластифікатор	від 2...3 до 8...14	не менше 5
IV	Пластифікатор	від 2...3 до 6...8	менше 5

Варто мати на увазі, що для бетонів, що виготовляються за конкретною технологією, у тому числі що піддаються тепловологистій обробці, ефективна пластифікуюча дія добавки, може бути трохи іншою. Вибір пластифікатора визначеної категорії проводиться розрахунком техніко-економічної ефективності його застосування в конкретному технологічному процесі.

*Суперпластифікатор С-3.* Органічна синтетична речовина на основі продукту конденсації нафталінсульфо кислоти і формальдегіду зі специфічним співвідношенням фракцій з різною середньчисловою молекулярною масою. По класифікації С-3 відноситься до пластифікуючо-водоредуруючого виду – суперпластифікаторів. Суперпластифікатор С-3 призначений:

- для різкого підвищення зручності укладання і формування бетонних сумішей без зниження міцності і показників довговічності бетону (при незмінному водоцементному відношенні);
- для істотного підвищення фізико-механічних показників і будівельно-технічних властивостей бетону (при скороченні витрати води і незмінної зручності укладання);
- для підвищення зручності укладання бетонних сумішей і підвищення фізико-механічних показників і будівельно-технічних властивостей бетонів;
- для скорочення витрати цементу без зниження зручності укладання бетонної

суміші, фізико-механічних показників і будівельно-технічних властивостей бетону.

Суперпластифікатор С-3 також є основою для виготовлення комплексних добавок різного виду. Суперпластифікатор С-3 рекомендується застосовувати:

- при виробництві всіх видів конструкцій з монолітного важкого бетону класів (за міцністю на стискання) В15 і вище;
- при виготовленні усіх видів збірних залізобетонних конструкцій і бетонних виробів з важкого бетону класів (за міцністю на стискання) В15 і вище;
- при виробництві всіх видів конструкцій з монолітного дрібнозернистого бетону класів (за міцністю на стискання) В10 і вище;
- при виготовленні усіх видів збірних залізобетонних конструкцій і бетонних виробів на пористих заповнювачах класів (за міцністю на стискання) В7,5 і вище.

Пластифіковані бетонні суміші з високою зручністю укладання рекомендується застосовувати в густоармованих конструкціях, тонкостінних конструкціях, конструкціях складної конфігурації і т. п.

Бетонні суміші зі зниженим водоцементним відношенням (водоредуційовані) рекомендується застосовувати для виробництва монолітних і збірних залізобетонних конструкцій, до яких пред'являються високі вимоги щодо міцності, водонепроникності, морозостійкості, опору корозійним впливам і ін.

Суперпластифікатор С-3 виготовляється у вигляді порошку (мікрогранул) або у вигляді водяного розчину.

## **7. SWOT- аналіз результатів досліджень**

*Strengths.* Всі суперпластифікатори значно підвищують морозостійкість і водонепроникність бетонів. Крім суперпластифікаторів, є і пластифікатори різних категорій, вони не виключають вібраційне ущільнення розчинів, але дозволяють деякою мірою ущільнити бетонну суміш, знизити витрату цементу, підвищити морозостійкість і водонепроникність. У них у всіх є одна дуже важлива особливість – вони в значній мірі полегшують заміс бетонної суміші.

*Weaknesses.* Пластифікатори уповільнюють терміни схоплювання і твердіння бетонної суміші.

*Opportunities.* Використання пластифікаторів дасть наступні можливості:

- Заводи, які випускають залізобетонні вироби отримують вигоду від використання пластифікаторів за рахунок скорочення часу пропарювання або зниження температури в камерах. Буде істотна економія енергоресурсів, прискорення оборотності формоснащення і як наслідок – збільшення обсягів виробництва.

- Для отримання рівномірного бетону однакової рухливості із застосуванням пластифікатора С-3 і без нього, на один куб бетонної суміші витрачається цементу на 15 % менше. Використання цієї добавки дозволяє зменшити кількість води замішування.

- Рухливість бетонної суміші підвищується без ефекту зниження міцності залізобетонних виробів і конструкцій.

- Міцнісні характеристики збільшуються на до 25 %.

- Отримання складів бетонів підвищеної щільності (висока непроникність), що позитивно позначається на водонепроникності залізобетонних виробів і залізобетонних конструкцій.

- Морозостійкість підвищується до F350, також підвищується тріщиностійкість.
- Отримання високоміцних залізобетонних виробів високої міцності (міцність на стиск понад 100 МПа). Наприклад, бетонний зразок марки м-350 (B25) віком 28 діб має міцність на стиск 25 МПа.

– Зчеплення арматури з бетоном збільшується в 1,5 рази.

*Threats.* При виборі пластифікуючих добавок необхідно велику увагу приділяти вибору фірм-виробників пластифікаторів, оскільки якість пластифікаторів може значно відрізнятись.

При використанні модифікаторів бетонна конструкція твердне повільніше. Для того, щоб компенсувати уповільнюючий ефект використання пластифікаторів, в бетонний розчин можна ввести прискорювач твердіння, який компенсує даний недолік. В результаті, графік твердіння конструкції буде вирівняний.

Існують інші види добавок для бетонів і розчинів, до яких відносяться наведені нижче.

*Прискорювачі твердіння*, які вводяться для компенсації дії пластифікатора, який гальмує процес твердіння. Також прискорювачі застосовуються для бетонування в холодну погоду. Оскільки, чим нижче температура навколишнього повітря, тим повільніше відбувається процес гідратації цементу, набирання міцності відбувається в уповільненому темпі.

*Сповільнювачі твердіння*, які застосовують для збільшення часу живучості бетонної суміші. До групи сповільнювачів можна віднести водопонижувачі, які так само надають уповільнюючий ефект.

*Повітровтягувальні 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 повітровтягувальної добавки. Зміст залученого повітря становить 4...5 %. У цьому випадку міцність бетону практично не знижується, так як негативний вплив залученого повітря нейтралізується підвищенням міцності цементного каменю внаслідок зменшення водоцементного відношення за рахунок пластифікуючого ефекту добавки. Повітровтягувальна добавка гідрофобізує пори і капіляри бетону, а повітряні бульбашки служать резервним об'ємом для замерзання води без виникнення великих внутрішніх напружень. В результаті значно підвищуються водонепроникність і морозостійкість бетону.

*Противоморозні добавки* для бетону забезпечують можливість зимового бетонування при мінусових температурах і відсутності додаткового прогріву залитої конструкції. Окремі види добавок дозволяють виконувати бетонування при температурі до  $-25^{\circ}\text{C}$ .

В сучасному виробництві використовуються комплексні двохкомпонентні добавки. Наприклад, одразу змішується пластифікатор С-3 та прискорювач твердіння, мікрокремнезем, повітровтягувальні добавки. Використання подібних добавок дозволяє заводам виготовляти суміші високої міцності з унікальними властивостями.

## 8. Висновки

1. Наведені особливі вимоги, які пред'являються до суднобудівного бетону і бетонної суміші у зв'язку із екстремальними умовами роботи морських залізобетонних споруд. Суднобудівний бетон повинен мати достатню корозійну стійкість і щільність. Він повинен надійно захищати арматуру від корозії при товщинах захисного шару 0,5 см для внутрішніх

сухих і поверхонь, що періодично звожуються, і 1,0...1,15 см для зовнішніх поверхонь корпусу залізобетонного судна. Для бетону конструкцій, що піддаються в процесі експлуатації попереминому заморожуванню та відтаванню, призначають наступні марки за морозостійкістю (F): 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000. При обмеженні проникності, підвищеній щільності і корозійній стійкості призначають марки за водонепроникністю (W): 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20.

2. Наведена класифікація пластифікуючих добавок за ефективністю пластифікуючої дії.

Збільшення осадки конуса:

- Суперпластифікатор I категорії – від 2...3 до 20 см.
- Пластифікатор II категорії – від 2...3 до 14...20 см.
- Пластифікатор III категорії – від 2...3 до 8...14 см.
- Пластифікатор IV категорії – від 2...3 до 6...8 см.

3. Наведений допустимий вміст шкідливих домішок у заповнювачах для важких бетонів:

- аморфні різновиди діоксиду кремнію, розчинні в лугах, сірка, сульфідиди (крім піриту) у перерахунку на  $SO_3$  – не більше 50 моль/л;
- для крупного заповнювача – не більше 1,5 % за масою;
- для дрібного заповнювача – не більше 1,0 % за масою;
- шаруваті силікати (слюди, гідрослюди, хлоритиди);
- для крупного заповнювача – не більше 15 % за об'ємом;
- для дрібного заповнювача – не більше 2 % за масою;
- магнетит, гідрослюди заліза, апатит, нефелін, фосфорит – не більше 15 % за об'ємом (кожний окремо не більше 10 %);
- галоїди в перерахунку на іон хлору;
- для крупного заповнювача – не більше 0,1 % за масою;
- для дрібного заповнювача – не більше 0,15 % за масою;
- вільне волокно азбесту – не більше 0,25 % за масою;
- вугілля – не більше 1 % за масою.

## Література

1. Proektuvannia, tekhnolohiia i orhanizatsiia pobudovy kompozytnykh plavuchykh dokiv: handbook / Rashkovskiy O. S. et al. Mykolaiv, 2015. 254 p.
2. Drapalyuk M. V. The technology of semi-dry concrete forming for elements of hydraulic structures. Science and transport progress // Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of Railway Transport. 2009. Vol. 27. P. 178–180.
3. Dvorkin L. Y., Dvorkin O. L. Proektuvannia skladiv betoniv: monograph. Rivne: NUVHP, 2015. 353 p.
4. Pshinko A. N. Podvodnoe betonirovanie i remont iskusstvennykh sooruzheniy: monograph. Dnipropetrovsk: Porogi, 2000. 412 p.
5. Batrakov V. G. Modifitsirovannye betony. Teoriya i praktika. Moscow: Stroyizdat, 1998. 768 p.
6. Punahin V. M., Pshinko O. M., Rudenko N. M. Pryznachennia skladiv hidrotekhnichnogo betonu. Dnipropetrovsk: Art- Pres, 1998. 213 p.
7. Usov B. A., Okolnikova G. E. Chemical additives in prefabricated reinforced concrete technology // Ecology and construction. 2015. Vol. 4. P. 7–14.

8. Physico-chemical studies of cement stone with chemical and mineral additives, increasing crack resistance and waterproofness / Saliya M. G. et al. // Collected scientific works of Ukrainian State University of Railway Transport. 2012. Vol. 13. P. 49–56.

9. Nikiforova N. A., Momot V. O., Verhun O. O. Vplyv kompleksnykh modyfikovanykh dobavok na morozostiikist vazhkykh betoniv // Zbirnyk naukovykh prats DNUZT. 2012. Vol. 2. P. 41–44.

10. Issledovanie struktury i svoystv mineral'nykh dobavok dlya betonov i stroitel'nykh rastvorov / Kovalenko V. V. et al. // Zbirnyk naukovykh prats DNUZT. 2012. Vol. 1. P. 28–32.

11. Chub A. A. Issledovanie morozostoykosti, prochnostnykh i deformativnykh svoystv betona ot tekhnologicheskikh kharakteristik betonnykh smesey // Zbirnyk naukovykh prats DNUZT. 2012. Vol. 1. P. 120–125.

12. Romanenko O. V. Physico-chemical studies of cement stone with additives superplasticizer and hardening accelerator // Collected scientific works of Ukrainian State University of Railway Transport. 2012. Vol. 130. P. 40–49.

13. Alexashin S. V., Bulgakov B. I., Popova M. N. Fine concrete for hydraulic engineering modified by complex additive // Izvestiya SFedU. Engineering Sciences, 2014. Vol. 1 (150). P. 195–201.

14. Ramachandran V. S. Dobavki v beton: handbook. Moscow: Stroyizdat, 1988. 291 p.

15. Perez Fernandez R., Lamas Pardo M. Offshore concrete structures // Ocean Engineering. 2013. Vol. 58. P. 304–316. doi:[10.1016/j.oceaneng.2012.11.007](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2012.11.007)

16. Sousa Coutinho J. The combined benefits of CPF and RHA in improving the durability of concrete structures // Cement and Concrete Composites. 2003. Vol. 25, No. 1. P. 51–59. doi:[10.1016/s0958-9465\(01\)00055-5](https://doi.org/10.1016/s0958-9465(01)00055-5)

17. Strength development in concrete incorporating PFA and metakaolin / Bai J. et al. // Magazine of Concrete Research. 2000. Vol. 52, No. 3. P. 153–162. doi:[10.1680/macr.2000.52.3.153](https://doi.org/10.1680/macr.2000.52.3.153)

18. Bai J., Wild S., Sabir B. B. Chloride ingress and strength loss in concrete with different PC–PFA–MK binder compositions exposed to synthetic seawater // Cement and Concrete Research. 2003. Vol. 33, No. 3. P. 353–362. doi:[10.1016/s0008-8846\(02\)00961-4](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(02)00961-4)

19. Influence of initial curing on the properties of concrete containing limestone blended cement / Bonavetti V. et al. // Cement and Concrete Research. 2000. Vol. 30, No. 5. P. 703–708. doi:[10.1016/s0008-8846\(00\)00217-9](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(00)00217-9)

20. Ghrici M., Kenai S., Said-Mansour M. Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cements // Cement and Concrete Composites. 2007. Vol. 29, No. 7. P. 542–549. doi:[10.1016/j.cemconcomp.2007.04.009](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.04.009)

21. Gartner E. Industrially interesting approaches to «low-CO<sub>2</sub>» cements // Cement and Concrete Research. 2004. Vol. 34, No. 9. P. 1489–1498. doi:[10.1016/j.cemconres.2004.01.021](https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.01.021)

22. Kaushik S. K., Islam S. Suitability of sea water for mixing structural concrete exposed to a marine environment // Cement and Concrete Composites. 1995. Vol. 17, No. 3. P. 177–185. doi:[10.1016/0958-9465\(95\)00015-5](https://doi.org/10.1016/0958-9465(95)00015-5)

23. Khan M. I., Lynsdale C. J. Strength, permeability, and carbonation of high-performance concrete // Cement and Concrete Research. 2002. Vol. 32, No. 1. P. 123–131. doi:[10.1016/s0008-8846\(01\)00641-x](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(01)00641-x)

24. Khatib J. M., Hibbert J. J. Selected engineering properties of concrete incorporating slag and metakaolin // Construction and Building Materials. 2005.

Vol. 19, No. 6. P. 460–472. doi:[10.1016/j.conbuildmat.2004.07.017](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.07.017)

25. Mechanical and durability properties of concrete made with dredged marine sand / Limeira J. et al. // *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 25, No. 11. P. 4165–4174. doi:[10.1016/j.conbuildmat.2011.04.053](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.053)

26. Dmitrenko A. E., Khachatryan A. P., Makhinin B. V. Otsenka effektivnosti organicheskikh i mineral'nykh dobavok v melkozernistom betone // *Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XX veke*. 2012. Vol. 1. P. 289–295.

27. Plasticizers in concrete / Shkorko M. Yu. et al. // *Innovative science*. 2017. Vol. 4–3. P. 145–147.

28. Zakharov S. A. Optimizatsiya sostavov betonov vysokoeffektivnymi polikarboksilatnymi plastifikatorami // *Stroitel'nye materialy*. 2008. Vol. 3. P. 42–43.

29. Plastifikatory dlya polivinilkhlordnykh kompozitsiy stroitel'nogo naznacheniya / Aminova G. K. et al. // *Promyshlennoe proizvodstvo i ispol'zovanie elastomerov*. 2012. Vol. 4. P. 29–32.

30. Dudynov S. V. Ekonomicheskii bezvrednyy plastifikator stroitel'nogo naznacheniya // *Vestnik mordovskogo universiteta*. 2003. Vol. 1–2. P. 138–145.

31. Topchiy Yu. S., Khabirov D. M. Modifitsirovannyy belkovyy plastifikator dlya tsementnykh sistem // *Tekhnologii betonov*. 2013. Vol. 11 (88). P. 46–47.

32. Ruzhitskaya A. V., Potapova E. N. Vliyanie dobavok-plastifikatorov na svoystva belogo portlandtsementa // *Innovatsionnaya nauka. Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2009. Vol. 16, No. 1. P. 14–23.

33. Suraev V. Gidrofobizatsiya. Teoriya i praktika // *Tekhnologii stroitel'stva*. 2002. Vol. 1. P. 120–121.

34. Pashhenko A. A. Gidrofobizatsiya. Kyiv: Naukova dumka, 1973. 174 p.

35. Pashhenko A. A. Kremniyorganicheskie gidrofobizatory v stroitel'stve. Alma-Ata: Kazakhstan, 1968. 78 p.

36. Lukinskiy O. A. Gidrofobizatsiya zdaniy // *Zhilishhnoe stroitel'stvo*. 2008. Vol. 11. P. 21–23.

37. Sposoby otsenki vliyaniya poverkhnostnoy gidrofobizatsii betona i modifitsiruyushhikh ego strukturu dobavok / Orentlikher L. P. et al. // *Beton i zhelezobeton*. 1991. Vol. 2, No. 431. P. 28–30.

38. Gurinovich L. S., Usov B. A. The mechanochemical treatment of the building materials // *Ecology and construction*. 2015. Vol. 3. P. 22–25.

39. Demyanova V. S. Aktivnost' portlandtsementov v prisutstvii plastifikatora // *Zhilishhnoe stroitel'stvo*. 2000. Vol. 11. P. 30.

40. Superplastifikatory v tekhnologii izgotovleniya kompozitsionnogo betona / Kamalova Z. A. et al. // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2013. Vol. 8. P. 148–152.

41. Kalashnikov V. I. Terminologiya nauki o betonakh novogo pokoleniya // *Stroitel'nye materialy*. 2011. Vol. 3. P. 103–106.

42. Bazhenov Yu. M., Demyanova V. S., Kalashnikov V. I. Modifitsirovannyye vysokoprochnyye betony. Moscow: Assotsiatsiya stroitel'nykh vuzov, 2006. 368 p.

43. Strokova V. V., Molovieva L. N. Otsenka vliyaniya kristallicheskikh zatravok na strukturoobrazovanie tsementnogo kamnya // *Stroitel'nye materialy*. 2009. Vol. 3. P. 97–98.

44. Rashkovskiy A. S., Slutskiy N. G. Optimizatsiya sostava betona dlya pontonov kompozitnykh plavuchikh dokov // *Zbirnik naukovikh prats' NUK*. 2008. Vol. 5 (422). P. 17–24.