

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ



РУБЦОВА ЮЛІЯ ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 691.3

**МОДИФІКОВАНІ ДРІБНОЗЕРНИСТІ БЕТОНИ ДЛЯ
КОНСТРУКЦІЙ ПОРТОВИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД**

05.23.05 – «Будівельні матеріали та вироби»

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській державній академії будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **Мішутін Андрій Володимирович**, Одеська державна академія будівництва та архітектури, завідувач кафедри автомобільних доріг та аеродромів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Дворкін Леонід Йосипович**, Національний університет водного господарства та природокористування, завідувач кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства

кандидат технічних наук, **Панасюк Вадим Олександрович**, ТОВ «МЦ Баухемі» («МС-Bauchemie»), технолог

Захист відбудеться «12» січня 2021 р. о 13.00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.085.01 при Одеській державній академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона 4, аудиторія а360.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської державної академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.

Автореферат розісланий «__» грудня 2020 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради, д.т.н., доц.

Кровяков С.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. На балансі Адміністрації морських портів України знаходиться близько 260 вантажних причалів протяжністю більше 43км. В загальній довжині причалів понад 57% складають естакади, 34,5% – споруди типу «больверк». Естакадні споруди на залізобетонних палях (в основному, чотирьох-, п'яти- і шестирядні, перерізом 45×45см, рідше 40×40см) та залізобетонні конструктивні елементи (палі, бортові балки, плити ростверку) експлуатуються в різних зонах – над та під водою, зоні змінного горизонту води, в ґрунті. Значний передчасний фізичний знос бетону несучих конструкцій – один з основних факторів, що стримують збільшення вантажопотоку через морські порти України та істотно впливають на безпеку їх експлуатації.

Комплексний аналіз результатів інженерних обстежень бетону портових гідротехнічних споруд показує, що вже на початкових стадіях експлуатації бетон залізобетонних конструктивних елементів зазнає ряд характерних пошкоджень – у вигляді тріщин, руйнувань захисного шару бетону, корозії арматури, відколів та ін. Це свідчить про те, що бетон у конструкціях через складні багатофакторні впливи (коливання температури повітря, агресивне середовище, вплив знакозмінних навантажень, льодові та динамічні дії тощо) через певні недоліки у технології приготування, не набуває достатньої стійкості до зазначених умов протягом строку експлуатації. Використання модифікованих дрібнозернистих бетонів для будівництва – один з основних напрямків підвищення міцності та строку експлуатації бетону конструкцій морських портових гідротехнічних споруд.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Робота виконана на кафедрі автомобільних доріг та аеродромів Одеської державної академії будівництва та архітектури в рамках держбюджетних тем «Підвищення довговічності модифікованих бетонів для тонкостінних гідротехнічних і транспортних споруд» (№ держреєстрації 0116U003195) і «Розробка регламенту з обстеження та оцінки технічного стану бетонних та залізобетонних гідротехнічних споруд меліорації» (№ держреєстрації 0108U005468).

Мета роботи. Розробка складів модифікованих дрібнозернистих бетонів для морських портових гідротехнічних споруд з поліпшеними технологічними та фізико-механічними властивостями на основі оцінки стану бетону після технічного обстеження конструкцій.

Завдання дослідження.

1. Проаналізувати стан бетону конструкцій портових гідротехнічних споруд, встановити вимоги для характеристик якості бетону щодо можливості отримання модифікованих бетонів з підвищеними строками експлуатації.

2. Дослідити вплив обраного комплексу модифікаторів на основі пластифікуючої, активної мінеральної, протиморозної, прискорюючої твердіння добавок та дисперсного армування на фізико-механічні та експлуатаційні властивості дрібнозернистого (піщаного) бетону.

3. Дослідити вплив обраного комплексу модифікаторів та дисперсного армування при додатковому введенні фракції щебню розміром до 10 мм на фізико-механічні властивості дрібнозернистого бетону.

4. Розробити ефективні склади модифікованого дрібнозернистого бетону на основі комплексного аналізу математичних моделей, враховуючи технологію виготовлення конструкцій та ремонтно-відновлювальних робіт.

5. Дослідити та запропонувати рецептурні рішення для модифікованих дрібнозернистих бетонів при знижених температурних умовах твердіння.

6. Дослідити структуру модифікованого дрібнозернистого бетону за допомогою рентгенофазового та електронного мікроскопічного аналізів.

7. Провести дослідно-промислове впровадження розроблених модифікованих дрібнозернистих бетонів та розробити відповідні рекомендації для будівництва та відновлення конструкцій портових гідротехнічних споруд.

Об'єкт дослідження. Модифіковані дрібнозернисті бетони для конструкцій портових гідротехнічних споруд пальового типу.

Предмет дослідження. Способи забезпечення фізико-механічних властивостей модифікованих дрібнозернистих бетонів конструкцій портових гідротехнічних споруд.

Методи досліджень. Аналіз результатів інженерних обстежень стану бетону конструкцій портових гідротехнічних споруд, методи проведення лабораторних випробувань дрібнозернистого бетону з використанням теорії планування експерименту, рентгенофазового аналізу, електронної мікроскопії.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Обґрунтовано на основі аналізу натурних обстежень значення «модулів пошкоджуваності бетону» та вимоги до якісних параметрів, що забезпечують збереження основних фізико-механічних властивостей протягом проектного строку служби конструкцій портових гідротехнічних споруд з врахуванням природньо-кліматичних умов експлуатації.

2. Обґрунтовано на основі експериментально-статистичного моделювання комплекси модифікаторів для забезпечення необхідних показників якості бетону в умовах експлуатації морських портових гідротехнічних споруд.

3. Встановлені особливості впливу рецептурно-технологічних параметрів модифікованих дрібнозернистих бетонів на його основні фізико-механічні властивості для будівництва та відновлення конструкцій морських портових гідротехнічних споруд з врахуванням умов експлуатації.

4. Доведено, що використання комплексу модифікаторів на основі пластифікатору, активної мінеральної добавки, а також добавок прискорюючої та протиморозної дій разом з дисперсним армуванням дозволяє отримати бетони з високою рухомістю, міцністю, морозостійкістю та водонепроникністю як при нормальних умовах твердіння, так і при знижених температурах з комплексом нормованих якісних параметрів.

5. Виконано порівняння ефективності дії пластифікаторів нафталін-формальдегідного та полікарбоксилатного типів в композиції з дисперсним армуванням для отримання дрібнозернистого бетону з покращеними фізико-механічними властивостями.

6. Визначені на основі комплексу експериментально-статистичних моделей раціональні склади модифікованих дрібнозернистих бетонів, що забезпечують достатню стійкість конструкцій в умовах експлуатації морських портових гідротехнічних споруд.

Практичне значення отриманих результатів роботи.

Виконано комплексний аналіз технічного стану бетону конструкцій пальових естакад у портах Чорноморськ, Одеса, Південний, Ізмаїл, Бердянськ, Поті та ін. За результатами аналізу розроблено вимоги до характеристик якості бетону портових гідротехнічних споруд.

Експериментально підтверджена ефективність обраних комплексів модифікаторів дрібнозернистого бетону, що забезпечує набір міцності бетону та його довговічність в різні строки твердіння, а також забезпечує експлуатаційну надійність бетонів в температурному діапазоні від $+20^{\circ}\text{C}$ до -5°C та -15°C , що дозволяє проводити будівельні роботи в осінньо-зимовий період.

Фізико-хімічними методами підтверджена ефективність запропонованих рецептурно-технологічних прийомів управління структурою модифікованих дрібнозернистих бетонів для конструкцій портових гідротехнічних споруд.

За результатами експериментально-теоретичних досліджень розроблені технологічні рекомендації та проекти нормативних документів щодо застосування модифікованих дрібнозернистих бетонів з підвищеними фізико-механічними властивостями в портовому гідротехнічному будівництві.

Особистий внесок здобувача:

Всі основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Формулювання мети та задач дослідження, планування натурних та лабораторних дослідів виконані разом із науковим керівником. Особисто здобувачем виконано:

- на підставі аналізу результатів інженерних обстежень встановлені види можливих дефектів бетону, що виникли в процесі експлуатації споруд, обґрунтовані поняття «модулів пошкоджуваності бетону» конструкцій портових гідротехнічних споруд, розроблені умовні коефіцієнти збереження захисного шару бетону;

- отримано та проаналізовано комплекс експериментально-статистичних моделей основних фізико-механічних властивостей модифікованих дрібнозернистих бетонів при різних температурних умовах твердіння;

- визначено склади модифікованих дрібнозернистих бетонів для забезпечення характеристик якості та структури бетону конструкцій портових гідротехнічних споруд;

- обґрунтовано використання досліджених модифікованих бетонів при виготовленні та ремонті конструкцій портових гідротехнічних споруд;

- за допомогою рентгенофазового та мікроскопічного аналізів підтверджено покращення структури внаслідок модифікування дрібнозернистих бетонів запропонованими технологічними засобами;
- результати досліджень впроваджено в практику морського портового будівництва.

У роботах, що опубліковані у співавторстві, здобувачем поставлено мету роботи, виконано експериментальні дослідження, сформульовано висновки та проведено дослідно-промислове впровадження результатів.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення дисертаційної роботи повідомлені на міжнародних конференціях «Інтер-транспорт», секція «Будівництво, реконструкція, проектування та технічна експлуатація портових та берегозахисних гідротехнічних споруд» (Одеса, 2011-19 рр.); на засіданні профільного комітету «З проектування, будівництва, реконструкції та технічної експлуатації гідротехнічних, берегових та інженерних портових споруд» Асоціації портів України (Одеса, 2017-19 рр.); на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури (Одеса, 2011-15 рр.); на науково-технічних конференціях «Морські та річкові порти, водні шляхи та їх технічна експлуатація» Одеського національного морського університету (м. Одеса, 2013-14 рр.); на III Міжнародній науково-практичній конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд» (Одеса, 2019 р.); на міжнародному семінарі «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (Одеса, 2019 р.); на міжнародній науковій конференції «Гідротехнічного та транспортного будівництва» (Одеса, 2020).

Публікації. Основний зміст дисертації викладено в 16 друкованих роботах, 5 з яких у наукових фахових виданнях України, 1 у науковому періодичному виданні іноземної держави.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, додатків, списку використаних джерел з 164 найменувань. Робота викладена на 218 сторінці, в тому числі містить 124 сторінки основного тексту, 17 сторінок використаних джерел, 25 таблиць, 40 рисунків, 41 сторінка додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** роботи наведено обґрунтування вибору теми дослідження та її актуальність, сформульовані мета, задачі досліджень, наведені положення, що визначають наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, представлено результати впровадження та відомості про публікації.

У **першому розділі** дисертації представлено огляд та комплексний аналіз наявних проектів конструктивних рішень морських портових гідротехнічних споруд пальового типу. Проаналізовано роботи Гуревича В.Б., Дубровського М.П., Зеленського В.С., Костюкова В.Д., Нікєрова П.С., Пойзнєра М.Б.,

Рогачко С.І, Чеботарьова О.М., Школи О.В, Яковенко В.Г., Яковлева П.І та ін. з морської гідротехніки. З урахуванням результатів цих досліджень, відповідних нормативних документів та результатів інженерних обстежень технічного стану конструктивних елементів представлено узагальнену модель пошкоджуваності бетону, кількісні показники пошкодження (глибина руйнування, площа тощо) з класифікацією зафіксованих дефектів, вимоги до характеристик якості та структури бетону.

Проаналізовано роботи А.М. Brandt, J.D. Dewar, P.C. Hewlett, A.M. Neville, D.E. Orchard, I.M. Ахвердова, В.Г.Батракова, Ю.М. Баженова, В.М. Вирового, В.І. Гоца, Л.Й. Дворкіна, В.М. Дерев'янка, А.В. Мішутіна, К.К. Пушкарьової, Ф.Н. Рабиновича, Рунової Р.Ф., М.В. Саницького, О.В. Ушєрова-Маршака, Л.О. Шейніча та ін., які присвячені проблемам модифікування бетонів за допомогою сучасних технологічних методів. При цьому акцентовано увагу, що модифікування бетону вимагає управління його структурою на різних стадіях твердіння і формування з метою забезпечення стійкості до умов експлуатації конструкції.

За результатами виконаних досліджень показано можливості регулювання властивостей бетону за рахунок використання ресурсозберігаючих технологічних прийомів (хімічні добавки, наповнювачі і мінеральні модифікатори, полімери, раціональний підбір зернового складу, активація цементних систем та інше).

Проаналізовано досвід низки підприємств, що займають лідируюче положення на будівельному ринку України з виробництва та використання модифікованих бетонів («Мапеі Україна», «Сіка Україна», «Пальміра», «Хенкель Баутехнік Україна»/продукція «Ceresit», «Coral»). Розглянуто відповідні рекомендації щодо використання модифікованих дрібнозернистих бетонів для конструкцій водогосподарських, гідромеліоративних, гідроенергетичних та плавучих споруд. Показана актуальність розробки таких способів модифікування бетонів, що забезпечують стійкість до умов їх експлуатації та попереджають пошкодження бетону протягом всього строку експлуатації портових гідротехнічних споруд.

Огляд стану проблеми за темою дисертації дозволив сформулювати *робочу гіпотезу* дисертаційного дослідження, яка полягає в можливості отримання високоякісного дрібнозернистого бетону для конструкцій морських портових гідротехнічних споруд пальового типу з врахуванням аналізу технічного стану портових споруд в процесі експлуатації. Для забезпечення нормованих параметрів бетону доцільно використовувати технологічні методи його модифікування: використання суперпластифікаторів, добавок прискорюючої та протиморозної дій, мінерального наповнювача, дисперсного армування полімерними волокнами. Для реалізації робочої гіпотези прийнято поєднання натурних обстежень стану бетону конструкцій портових гідротехнічних споруд і лабораторних досліджень, виконаних за допомогою методів експериментально-статистичного моделювання.

У другому розділі розроблено блок-схему проведення досліджень, запропонована класифікація з визначенням модулів пошкоджуваності бетону портових гідротехнічних споруд, обґрунтовано вибір відповідних компонентів бетону та на цій основі розглянуто методику визначення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей модифікованих дрібнозернистих бетонів. Суть розробленої системної моделі полягає, перш за все, в прив'язці складу бетону до прогнозованих виду та ступеня пошкоджуваності конструкції (табл.1).

При визначенні технічного стану конструкцій слід мати на увазі:

- пошкодження за ординарним модулем незначно впливають на довговічність конструкцій;
- пошкодження за граничним модулем суттєво впливають на довговічність та несучу здатність;
- пошкодження за критичним модулем свідчать, що конструкція не ремонтпридатна, тобто необхідна повна її заміна або підсилення.

Таблиця 1

Класифікація «модулів пошкоджуваності бетону»
портових гідротехнічних споруд

Основні види технічного стану споруди	Дефекти та ступень пошкодження бетону	Глибина пошкодження конструкції, величина захисного шару, h_f	Модуль пошкоджуваності бетону
Задовільний	Малозначні	до $0,5 h_f$	Ординарний
Задовільний з обмеженнями	Малозначні Значні	$0,5-1,0 h_f$	Ординарний Граничний
Непридатний	Значні	більше $1,0 h_f$	Критичний

За результатами натурних обстежень портових гідротехнічних споруд, що експлуатуються у Чорноморсько-Азовському та Дунайському регіонах, запропоновані вимоги до основних характеристик якості бетону в ув'язці з розробленими модулями його пошкоджуваності (табл.2).

Таблиця 2

Характеристики якості модифікованого дрібнозернистого бетону відповідно
встановлених модулів пошкоджуваності бетону

Параметри якості модифікованого дрібнозернистого бетону	Ординарний «Модуль пошкоджуваності бетону»	Граничний «Модуль пошкоджуваності бетону»
Міцність при стиску, $f_{cm,cub.28}$, МПа	>40	30-40
Міцність на розтяг при згині, f_{ctf} , МПа	≥ 9	6-9
Морозостійкість, F, цикли	≥ 300	200-300
Водонепроникність, W, МПа· 10^{-1}	≥ 8	6-8
Стійкість до стирання, G, г/см ²	$<0,3$	0,3-0,4

Для подальшого дослідження запропоновано диференційовано розглянути технологічні засоби модифікування бетону відповідно до запропонованої залежності «категорія дефекту – склад бетону»:

- піщаного (дрібнозернистого з заповнювачем фракції до 5 мм) – введення добавки суперпластифікатору нафталін-формальдегідного типу, добавки прискорювача твердіння та протиморозної дії, мінерального наповнювача та дисперсного армування;

- дрібнозернистого (з заповнювачем фракції до 10 мм) – дисперсне армування та добавка, що включає суперпластифікатор полікарбоксилатного типу, а також прискорювач твердіння, що виконує одночасно і протиморозну дію.

В якості в'язучого використовувався сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400-Д0 виробництва Івано-Франківського цементного заводу ПАТ «Івано-Франківськцемент», дрібний заповнювач – пісок Нікітського кар'єру (Вознесенський район Миколаївської області) з модулем крупності 2,5. Для дисперсного армування досліджених бетонів використовувалась поліпропіленова фібра Ваусон виробництва Bautech (Польща). Діаметр волокон фібри – 18,7мкм, довжина – 12мм.

У серії випробувань з визначення фізико-механічних властивостей модифікованих піщаних бетонів в якості модифікаторів використовувались добавка суперпластифікатора нафталін-формальдегідного типу С-3 (СП-1) та прискорювач твердіння нітрат кальцію технічний (НК), мінеральний наповнювач мікрокремнезем (МК) Нікопольського заводу феросплавів.

Для дослідження властивостей дрібнозернистого бетону застосовувався гранітний щебінь фракції 5-10 мм. В якості модифікатора обрано комплексну добавку Coral ExpertFix12, що включає суперпластифікатор полікарбоксилатного типу та прискорювач твердіння.

У третьому розділі наведені результати експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей модифікованого піщаного (дрібнозернистого з заповнювачем фракції до 5 мм) бетону. У відповідності до трирівневого 4-х факторного плану фізико-механічні властивості піщаного бетону визначалися у контрольних точках, в яких варіювалися наступні фактори:

X_1 – співвідношення між цементом і піском (Ц:П): від 1:2 до 1:4;

X_2 – дозування добавки нітрату кальцію (НК): від 0 до 3% маси цементу;

X_3 – кількість наповнювача (МК): від 0 до 7% маси цементу;

X_4 – поліпропіленова фібра (Фібра) Ваусон: від 0 до 1,2 кг/м³.

Пластифікуючий компонент – суперпластифікатор С-3 вводився у кількості 0,8% від маси цементу. Прийнято однакову рухомість бетонної суміші. Оцінювався вплив факторів складу на В/Ц бетонної суміші та основні фізико-механічні властивості піщаного бетону, а саме міцність при стиску та міцність на розтяг при згині у віці 3 та 28 діб за нормальних умов твердіння і при температурі -5°C. Дослідження впливу факторів на морозостійкість, водонепроникність та стійкість до стирання проводились на бетоні у віці 28 діб за нормальних умов твердіння.

За результатами визначення В/Ц бетонної суміші побудована адекватна експериментально-статистична модель (ЕС) впливу факторів складу:

$$\begin{aligned} \text{В/Ц} = & 0.381 + 0.019x_1 - 0.019x_1^2 + 0.006x_1x_2 - 0.011x_1x_3 + 0.004x_1x_4 \\ & + 0.004x_2 - 0.014x_2^2 + 0.004x_2x_3 + 0x_2x_4 \\ & + 0.020x_3 + 0x_3^2 + 0.004x_3x_4 \\ & + 0.016x_4 - 0.011x_4^2 \end{aligned} \quad (1)$$

Аналіз моделі (1) дозволяє стверджувати, що при забезпеченні постійної рухомості бетонної суміші, на В/Ц найбільш суттєво впливає масове співвідношення цементу і піску. При його збільшенні і відповідно збільшенні частки піску В/Ц зростає (рис.1). Збільшення водопотреби і відповідне збільшення В/Ц спостерігається при зростанні в бетонній суміші вмісту мікрокремнезему, що пояснюється його ультрадисперсною поверхнею. До певного збільшення водопотреби і В/Ц бетонної суміші призводить введення поліпропіленової фібри.

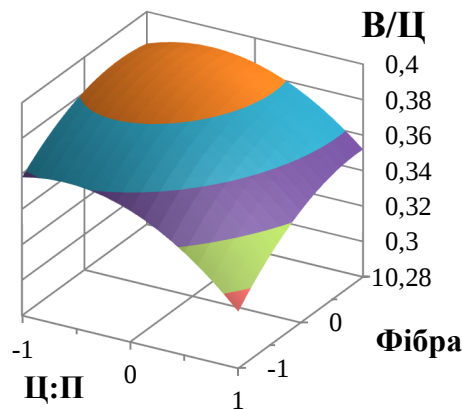


Рис.1. Вплив факторів на В/Ц піщаного бетону при постійній рухомості в залежності від x_1 і x_4 ($x_2=0$, $x_3=0$)

При аналізі графічних залежностей привертає увагу нелінійний вплив вмісту добавки НК і поліпропіленової фібри. Певне зростання В/Ц за умов забезпечення постійної рухомості має місце при зростанні кількості МК (рис.2). Мінімальне В/Ц суміші модифікованого дрібнозернистого бетону отримано при витратах: цементу 680 кг/м^3 , піску 1320 кг/м^3 , фібри $0,6 \text{ кг/м}^3$.

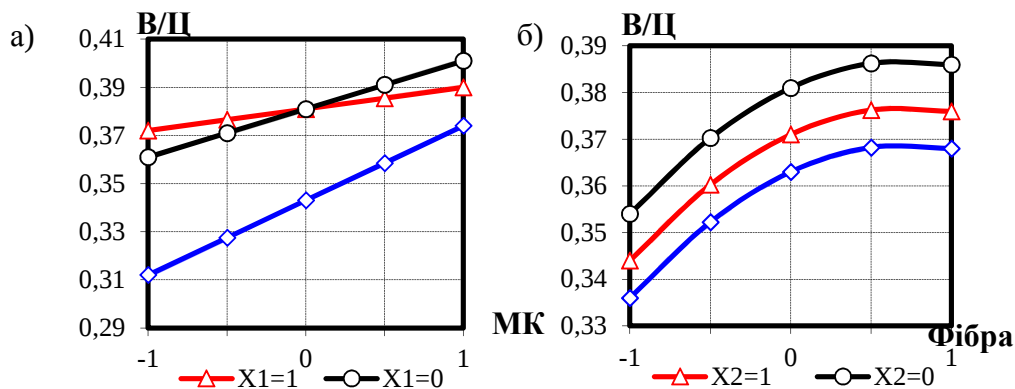


Рис.2. Вплив технологічних факторів на В/Ц піщаного бетону:
а) від x_3 ($x_2=0$, $x_4=0$); б) від x_4 ($x_1=0$, $x_3=0$)

Досліджувався вплив варійованих факторів складу на міцність піщаного бетону при стиску у віці 3 діб за нормальних умов твердіння. Сумісний вплив варійованих факторів складу на ранню міцність описує ЕС-модель:

$$f_{cm,3} \text{ (МПа)} = 41.91 - 7.22x_1 + 4.96 x_1^2 \pm 0 x_1x_2 - 0.97 x_1x_3 \pm 0x_1x_4 \\ \pm 0 x_2 - 1.22x_2^2 + 1.03x_2x_3 + 1.41x_2x_4 \\ \pm 0 x_3 \pm 0x_3^2 + 2.62 x_3x_4 \\ + 2.55x_4 \pm 0x_4^2 \quad (2)$$

Аналіз ЕС-моделі (2) та графічних залежностей (рис.3) показав такий розподіл факторів за ступенем впливу за зменшенням: співвідношення Ц:П, кількості фібри, добавки нітрату кальцію, мікрокремнезему.

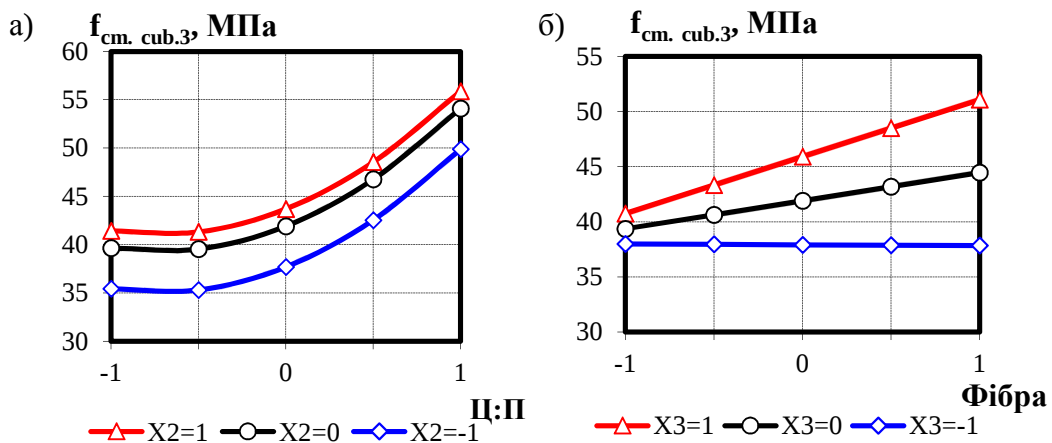


Рис.3. Вплив окремих технологічних факторів на міцність при стиску піщаного бетону через 3 доби твердіння за нормальних умов: а) від x_1 ($x_3=0$, $x_4=0$); б) від x_4 ($x_1=0$, $x_2=0$)

Вирішальний вплив цементно-піщаного відношення на міцність піщаного бетону при стиску обумовлено зв'язком цього параметру з водоцементним відношенням при постійній рухомості бетонної суміші. Також відмічено значний вплив добавки нітрату кальцію як прискорювача твердіння. При цьому проявляється позитивний ефект від введення мікрокремнезему, що пояснюється його взаємодією з гідроксидом кальцію – продуктом гідролізу аліту і збільшенням ступеню гідратації цементу.

Дослідженнями передбачено оцінку ефективності комплексного введення добавок нітрату кальцію, мікрокремнезему та суперпластифікатору нафталін формальдегідного типу на міцність піщаного бетону за умов низьких температур твердіння (до -5°C). Аналіз отриманих ЕС-моделей показав, якщо за нормальних умов твердіння найбільший вплив на міцність надає співвідношення Ц:П, то при температурі -5°C вирішальне значення набуває вміст протиморозної добавки нітрату кальцію. Отримані значення міцності при стиску у віці 3 діб за умов твердіння при -5°C модифікованого піщаного бетону становлять на 16...18% нижче за міцність, отриману за нормальних умов твердіння бетону (рис.4).

Міцність піщаного бетону при стиску у віці 28 діб при твердінні за нормальних температурних умов є головним параметром забезпечення

несучої здатності конструкцій портових гідротехнічних споруд. Аналіз відповідних ЕС-моделей показав, що на значення міцності при стиску у віці 28 діб фактично не впливає фактор X_2 (кількість добавки НК). Позитивну роль зберігає МК, який дає можливість, взаємодіючи з продуктом гідролізу аліту, збільшувати об'єм цементуючих новоутворень та ступінь гідратації.

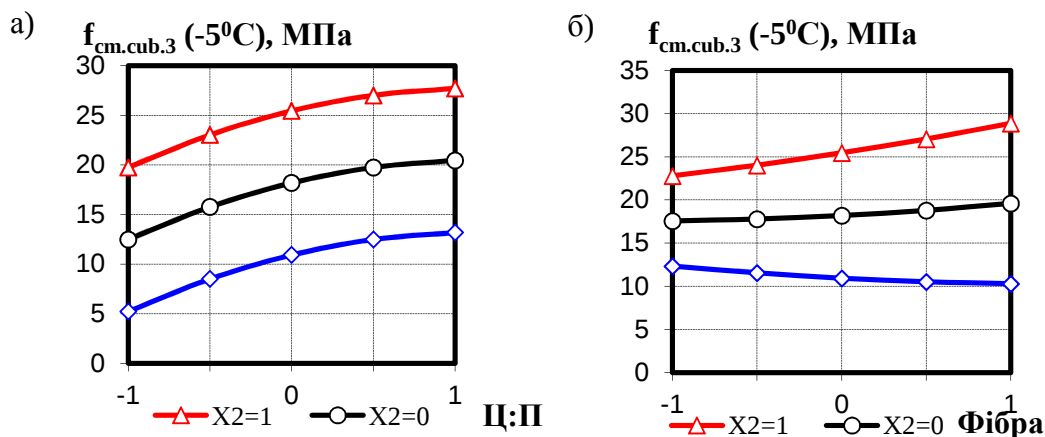


Рис.4. Вплив окремих факторів на міцність піщаного бетону при стиску за умов твердіння при $-5^{\circ}C$: а) від x_1 ($x_3=0$, $x_4=0$); б) від x_4 ($x_1=0$, $x_3=0$)

Висновок з аналізу ЕС-моделі впливу варійованих факторів складу на міцність при стиску у віці 28 діб піщаного бетону, що твердів при $-5^{\circ}C$, наступний: розподіл факторів за ступенем впливу за зменшенням – співвідношення Ц:П, кількість поліпропіленової фібри, кількість НК, кількість МК (рис.5). Отримані значення міцності на 5..10% менші за міцність за нормальних умов твердіння (50...60 МПа), що відповідає нормованому діапазону значень міцності при стиску (≥ 40 МПа) та запропонованим параметрам якості модифікованого піщаного бетону ординарного модулю пошкоджуваності конструкцій портових гідротехнічних споруд (табл.2).

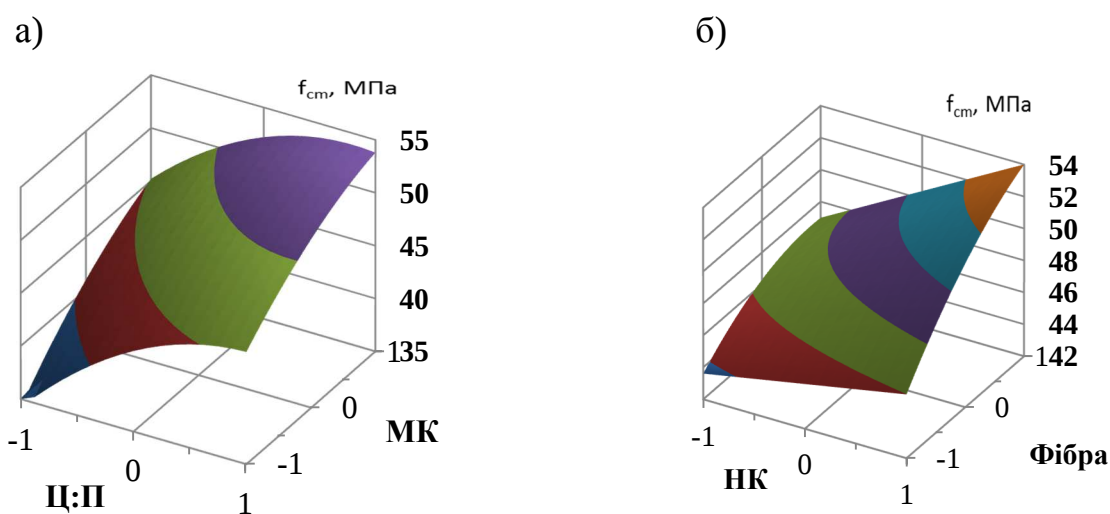


Рис.5. Міцність при стиску піщаного бетону у віці 28 діб за умов твердіння при $-5^{\circ}C$: а) від x_1 і x_3 ($x_2=0$, $x_4=0$); б) від x_2 і x_4 ($x_1=0$, $x_3=0$)

Для конструкцій портових гідротехнічних споруд міцність бетону на розтяг при згині є суттєво важливим показником. Перш за все, це визначається тим, що під час експлуатації залізобетонні конструктивні елементи сприймають різноспрямовані навантаження та працюють переважно на згин. Окрім того, підвищене співвідношення міцності на розтяг при згині до міцності при стиску для бетону є одним з важливих критеріїв його підвищеної тріщиностійкості.

Згідно отриманих результатів випробувань на 3 добу за нормальних умов твердіння міцність піщаного (дрібнозернистого) бетону на розтяг при згині може складати близько 4,0...6,0 МПа. При цьому на 3 добу твердіння при температурі -5°C відповідна міцність модифікованого піщаного бетону на 8...12% менше.

У віці 28 діб міцність на розтяг при згині модифікованого піщаного (дрібнозернистого) бетону за нормальних умов твердіння досягає значень 9,0...12,0 МПа. Відповідна міцність у віці 28 діб при температурі твердіння -5°C на 16...18% менше. Загальний порядок впливу варійованих факторів на 28-добову міцність на розтяг при згині не змінюється порівняно з їх впливом на міцність у віці 3 діб. Добавка нітрату кальцію проявляє себе в даному випадку як прискорювач твердіння і як протиморозна добавка. Зберігається також певний вплив добавки мікрокремнезему, яка збільшує в цементній матриці вміст низькоосновних гідросилікатів (рис.6).

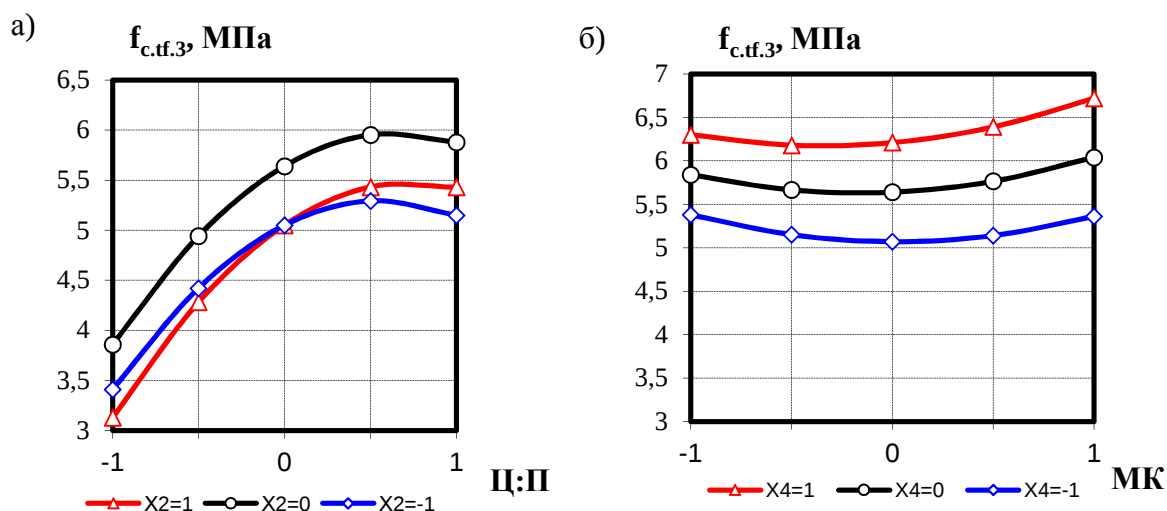


Рис.6. Вплив факторів складу на міцність на розтяг при згині піщаного бетону у віці 3 діб за н/у твердіння: а) від x_1 ($x_3=0$, $x_4=0$); б) від x_3 ($x_1=0$, $x_2=0$)

Руйнування бетону конструкцій портових гідротехнічних споруд при циклічній дії знакозмінних температур пов'язано з комплексом фізичних корозійних процесів, що викликають деформації та механічні ушкодження бетону. Відповідна ЕС-модель впливу варійованих факторів на морозостійкість піщаного бетону дала можливість встановити залежності отриманих показників морозостійкості від відповідних факторів складу. Так, найбільший вплив співвідношення Ц:П та кількості МК на морозостійкість (F300-400) можна пояснити тим, що при мінімальному В/Ц утворюється

щільна цементна матриця, а при збільшенні витрати мікрокремнезему спостерігається певне зменшення розмірів та кількості відкритих пор. Саме це робить піщаний бетон більш стійким до морозного руйнування.

Враховуючи особливості експлуатації портових гідротехнічних споруд, висока водонепроникність піщаного (дрібнозернистого) бетону гарантує збереження захисного шару залізобетонних конструктивних елементів.

Аналіз відповідної ЕС-моделі показує, що на водонепроникність піщаного бетону у віці 28 діб найменше впливає фактор X_2 (нітрат кальцію). Найбільший вплив спостерігається залежно від кількості активної мінеральної добавки мікрокремнезему. Водонепроникність досліджуваного піщаного (дрібнозернистого) бетону складає $W_{10...12}$.

Важливим фактором довговічності бетону портових гідротехнічних споруд є стійкість до стирання. Абразивне руйнування відбувається за рахунок стираючого та ударного впливів, як правило, дії льоду та наносів, зважених у воді твердих часток. Аналіз відповідної ЕС-моделі показав, що на стираність піщаного бетону в найменшій мірі впливає кількість добавки нітрату кальцію, найбільший вплив надало співвідношення Ц:П. Встановлено, що стійкість бетону до абразивного впливу підвищується зі зниженням В/Ц та збільшенням витрати цементу. Найбільшу стійкість до стирання піщаного бетону ($G_1 < 0,3 \text{ г/см}^2$) можна досягти при витратах компонентів, що також забезпечують максимальну міцність при стиску.

Таким чином, на основі комплексного аналізу математичних моделей були розроблені ефективні склади модифікованого піщаного (дрібнозернистого) бетону для морських портових гідротехнічних споруд.

Четвертий розділ дисертації присвячено дослідженням фізико-механічних властивостей, а також структури модифікованого дрібнозернистого бетону з додатковим введенням заповнювача до 10мм.

У відповідності до 3-х факторного плану основні фізико-механічні властивості бетону визначалися у контрольних точках, в яких варіювалися наступні фактори:

X_1 – добавка Coral ExpertFix12: від 0,6% до 1,0%;

X_2 – поліпропіленова фібра Baucor, від 0 до 1,2 кг/м³;

X_3 – температурні умови твердіння бетону: від -15°C до +5°C.

Витрати інших компонентів складу бетону: пісок – від 716 до 723кг/м³, щебінь – від 1103 до 1107кг/м³, цемент 500кг/м³.

Оцінювався вплив факторів складу на В/Ц бетонної суміші, а також на основні фізико-механічні властивості бетону (при варіюваному діапазоні температур від -15 до +5°C). При цьому досліджено міцність бетону при стиску у віці 3 та 28 діб. Ефективність введення добавки комплексної дії та її впливу на процес твердіння та морозостійкість дрібнозернистого бетону (при варіюванні зазначених температур твердіння) визначено в порівнянні до нормальних умов твердіння.

При випробуваннях всі суміші мали рівну рухомість $OK=16...18 \text{ см}$, для забезпечення якої В/Ц та водопотреба бетонної суміші змінювались залежно від складу. Тобто В/Ц та водопотреба залежали від складу дрібнозернистого

бетону. Такі вимоги до рухомості обумовлені конструктивними особливостями портових гідротехнічних споруд (густоармовані бортові балки, ребристі плити покриття, тонкий захисний шар бетону призматичних паль), а також технологічними вимогами до бетонних робіт при відновленні конструкцій (складність доступу до відновлюваних елементів, обмежені терміни на виконання бетонних робіт та ін.).

Встановлено, що найменше значення В/Ц (0,23...0,30) відповідає складам без поліпропіленової фібри та з максимальною кількістю добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 (1,0%), яка одночасно виконує функції протиморозної добавки, прискорювача твердіння та пластифікатору.

Вплив кількості добавки комплексної дії Coral Expert Fix12, поліпропіленової фібри та досліджуваних температурних режимів на міцність дрібнозернистого бетону при стиску у віці 3 доби описує ЕС-модель (3):

$$f_{cm,3} \text{ (МПа)} = 29,95 + 5,51 x_1 - 0,05 x_1^2 - 1,85 x_1 x_2 + 0,91 x_1 x_3 + 4,80 x_2 + 1,18 x_2^2 + 0,57 x_2 x_3 + 8,78 x_3 - 2,99 x_3^2 \quad (3)$$

Аналіз ЕС-моделі (3) показує, що на міцність при стиску бетону, що твердів в досліджуваних температурних режимах, в найменшій мірі впливає кількість поліпропіленової фібри: коефіцієнт при факторі X_2 – найменший.

Аналіз графічних залежностей (рис.7) дозволяє зробити висновок, що як фактор складу (кількість добавки комплексної дії), так і технологічний фактор (температура твердіння) суттєво впливають на міцність дрібнозернистого бетону при стиску у віці 3 діб. Характерно, що для складів бетону, що тверділи за умов більш низьких температур (рівень фактору X_3 знаходиться ближче до -1), кількість добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 впливає більш суттєво, ніж при твердінні за температурою $+5^\circ\text{C}$. Визначено, що найбільший ефект дії комплексної добавки проявляється при мінімальних температурах твердіння. Найбільш міцними у віці 3 діб виявилися склади з кількістю добавки комплексної дії, близькою до максимальної.

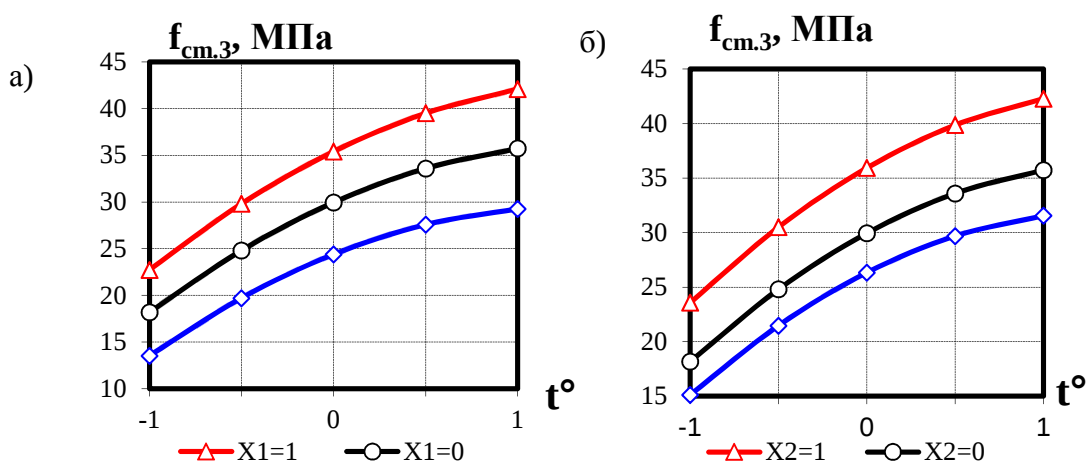


Рис. 7. Вплив факторів складу на міцність дрібнозернистого бетону при стиску у віці 3 доби: а) від x_3 ($x_2=0$); б) від x_3 ($x_1=0$)

При виконанні бетонних робіт при більш низьких температурах (порядку -15°C) міцність бетону при стиску у віці 3 доби досягає рівня 20...25 МПа за рахунок збільшення кількості добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 (до 1,0%) та кількості поліпропіленової фібри Ваусон (0,6...1,2кг/м³).

Аналіз впливу варійованих факторів на міцність дрібнозернистого бетону при стиску у віці 28 діб (42..58 МПа) показав найбільшу залежність від кількості витрат добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 (аналогічно результатам випробувань міцності при стиску у віці 3 діб).

Дослідженнями впливу варійованих факторів на міцність дрібнозернистого бетону на розтяг при згині у віці 28 діб встановлено, що разом з температурним фактором надає також вплив вміст комплексної добавки – зі збільшенням кількості якої зростає значення міцності до 9,2 МПа.

Вплив кількості добавки комплексної дії, поліпропіленової фібри та досліджуваних температурних умов твердіння на морозостійкість дрібнозернистого бетону описує відповідна ЕС-модель (4):

$$F(\text{цикли}) = 306 + 36x_1 \pm 0x_1^2 \pm 0x_1x_2 \pm 0x_1x_3 + 25x_2 \pm 0x_2^2 \pm 0x_2x_3 + 58x_3 \pm 0x_3^2 \quad (4)$$

Аналіз графічних залежностей (рис.8,9) показав, що при витраті добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 1,0% та за умов твердіння при температурі -15°C морозостійкість становить F200...300, при температурі $+5^{\circ}\text{C}$ та за нормальних умов – F300...400. Вплив факторів на морозостійкість дрібнозернистого бетону оцінювався за коефіцієнтом ефективності K_e як відношення коефіцієнтів при відповідному факторі до вільного члену рівняння (рис.9). Встановлено, що саме кількість добавки комплексної дії та температура твердіння надають найбільш суттєвий вплив на рівень морозостійкості.

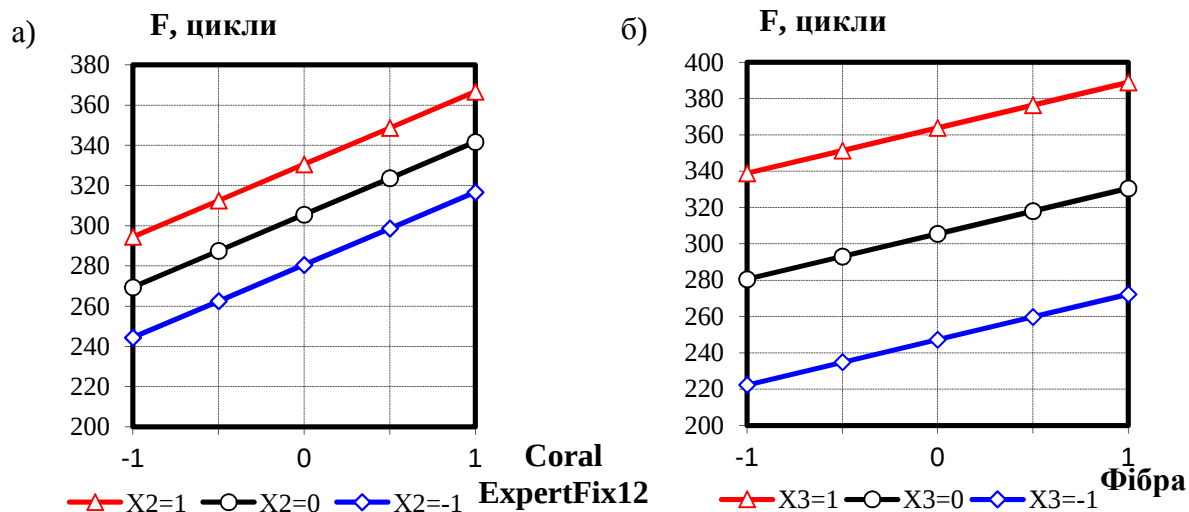


Рис.8. Вплив технологічних факторів на морозостійкість дрібнозернистого бетону: а) від x_1 ($x_3=0$); б) від x_2 ($x_1=0$)

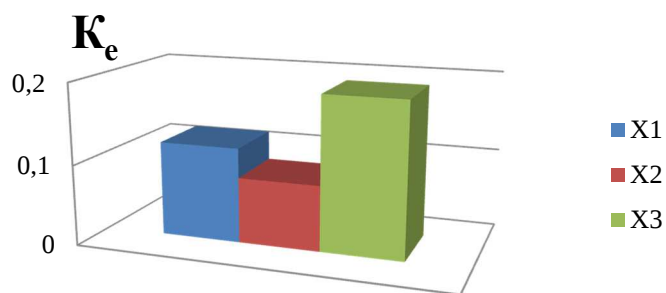


Рис.9. Діаграма відносного впливу досліджуваних факторів на морозостійкість дрібнозернистого бетону

Водонепроникність ($\text{МПа} \cdot 10^{-1}$) досліджуваних бетонів досягла W14. Аналіз ЕС-моделі показав, що максимальна водонепроникність бетону відповідає вмісту добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 у дозуванні 1,0% (рис.10).

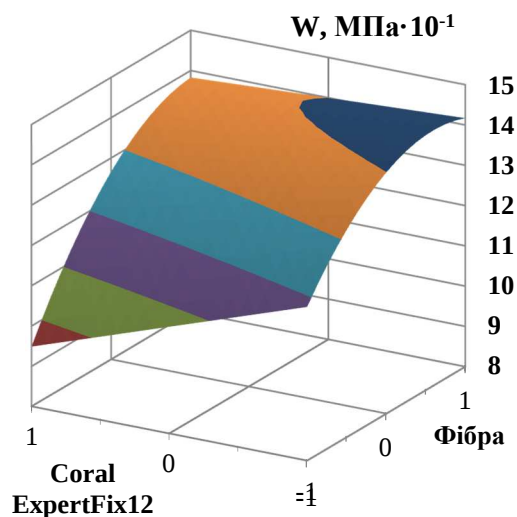


Рис.10. Вплив факторів складу на водонепроникність модифікованого дрібнозернистого бетону залежно від факторів X_1 та X_2

Найбільшого значення стійкості до стирання ($G_1=0,3...0,4 \text{ г/см}^2$) дрібнозернистого бетону можна досягти при витратах компонентів, що також забезпечують максимальну міцність при стиску. Встановлено, що добавка комплексної дії більш суттєво впливає на стиранність бетону, ніж кількість фібри. До того ж, добавка комплексної дії Coral Expert Fix12 сприяє зниженню значень В/Ц та, як наслідок, утворенню більш міцної структури цементно-піщаної матриці. Стійкість дрібнозернистого бетону до абразивного впливу підвищується зі зниженням В/Ц та збільшенням витрати добавки комплексної дії.

Отриманий комплекс математичних моделей дозволив розробити склади модифікованого дрібнозернистого бетону для морських портових

гідротехнічних споруд з нормованими параметрами при нормальних та знижених температурах твердіння.

Мікроскопічний аналіз структури дослідженого дрібнозернистого бетону показав наявність активної адгезійної взаємодії заповнювача з цементною матрицею, а також виявив механізми кольматації пор і тріщин в розчиновій частині та рівномірний розподіл в матеріалі волокон поліпропіленової фібри.

Таким чином, підтверджується ефективність використаних рецептурних прийомів при управлінні структурою бетону, що перш за все спрямовано на підвищення довговічності матеріалу.

Рентгенофазовий аналіз показав, що всі досліджені зразки цементно-піщаної матриці мають досить близький фазовий склад. Модифікування дрібнозернистого бетону призводить до збільшення в цементуючій матриці гідратних новоутворень та суттєвого покращує її фізико-механічні властивості.

В п'ятому розділі дисертації наведено основні напрямки впровадження результатів досліджень з отримання складів модифікованих дрібнозернистих бетонів в практику морського портового гідротехнічного будівництва.

За допомогою розроблених принципів керування складом модифікованого дрібнозернистого бетону (в ув'язці з прогнозуванням основних параметрів якості отриманого композиту) обґрунтовано практичні напрямки щодо ефективного використання отриманих результатів дослідження в морському портовому гідротехнічному будівництві. При цьому найважливішим є узгодження прогнозованих параметрів якості та структури модифікованого дрібнозернистого бетону з фактичними умовами експлуатації досліджуваних споруд. Саме такий підхід дозволяє оптимально підбирати модифікатори для отримання очікуваних властивостей бетону з певною гарантією забезпечення збереження параметрів міцності та довговічності конструкцій портових гідротехнічних споруд протягом всього строку експлуатації.

Аналіз виконаних експериментальних досліджень дає підстави вважати, що модифікований дрібнозернистий бетон рекомендованих складів доцільно використовувати для усунення пошкоджень захисного шару конструкцій портових гідротехнічних споруд на глибину, що відповідає його товщині, та для виготовлення нових конструкцій.

За результатами системного аналізу фактичних пошкоджень бетону конструкцій портових гідротехнічних споруд уточнені та доповнені нормативні положення «Інструкції з інженерного обстеження та паспортизації портових гідротехнічних споруд» (НД 31.3.002:2003) – розділ 8 «Оцінка технічного стану і визначення фізичного зносу окремих конструктивних елементів і споруди в цілому», підрозділ 8.2 «Визначення фізичного зносу», таблиця 8.1 «Класифікація дефектів конструктивних елементів» в частині «Категорія дефектів» і «Коефіцієнт збереження» (ДП «ЧОРНОМОРНДПРОЕКТ»).

Результати проведених досліджень впроваджені ДП «ЧОРНОМОРНДПРОЕКТ» при розробці проектно-кошторисної

документації на ремонти причалів естакадного типу в портах Чорноморськ, Одеса, Південний, Ізмаїл з використанням модифікованих дрібнозернистих бетонів рекомендованих складів.

Розроблено Технологічні карти щодо ремонту причалу №23 порту Чорноморськ та причалу №8 порту Ізмаїл з використанням модифікованих дрібнозернистих бетонів рекомендованих складів (для паль, наголовників, верхньої надбудови, бортових балок).

При ремонтно-відновлювальних роботах застосовано модифікований дрібнозернистий бетон рекомендованих складів з урахуванням фактичних пошкоджень паль при руйнуванні захисного шару в межах 2,0-7,0см (причал ПраТ «Укргідроенерго», Київська ГЕС, м.Вишгород).

При ремонті причалу №2 Скадовського морського порту використано модифікований дрібнозернистий бетон (з добавкою суперпластифікатору Coral ExpertFix12) на ділянці розміром 30,0х1,2м (товщина шару 4-5см).

За основними результатами виконаних досліджень розроблено проект стандарту організації «Ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи. Ремонтно-відновлювальні роботи конструкцій гідротехнічних споруд з використанням матеріалів ТМ «МАРЕІ» (СОУ Д.2.4-33740357-002:201X)» – групи №№1,2,11,12.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблені склади модифікованих дрібнозернистих бетонів для конструкцій морських портових гідротехнічних споруд з поліпшеними технологічними, фізико-механічними властивостями на основі аналізу оцінки стану бетону після технічного обстеження.

2. Проаналізовано стан бетону конструкцій портових гідротехнічних споруд, встановлені вимоги для характеристик якості бетону щодо можливості отримання модифікованих бетонів з підвищеними строками експлуатації. За результатами натурних обстежень бетону в конструкціях портових гідротехнічних споруд, які експлуатуються 10-40 років, встановлено, що використання модифікованих дрібнозернистих бетонів технологічно та економічно доцільно. Встановлено, що бетон існуючих споруд має глибину пошкодження до 50 мм, глибину карбонізації 30-40 мм, зафіксована втрата міцності до 40%. Проведені обстеження та аналіз дозволили сформулювати вимоги до бетону для будівництва нових та відновлення існуючих портових гідротехнічних споруд.

3. Досліджено вплив обраного комплексу модифікаторів на основі пластифікуючої, активної мінеральної, протиморозної, прискорюючої твердіння добавок та дисперсного армування на фізико-механічні властивості дрібнозернистого (піщаного) бетону. За рахунок використання комплексу модифікаторів піщані бетони при зниженому В/Ц (0,23...0,26) мають морозостійкість F300..F400, водонепроникність W8..12, досягають за нормальних умов твердіння міцності при стиску у віці 3 діб до 40 МПа, у віці 28 діб – 60 МПа, за умов твердіння при -5°C – 30 та 50 МПа відповідно.

4. Досліджено вплив обраного комплексу модифікаторів та дисперсного армування при додатковому введенні щебеню фракції до 10 мм на фізико-механічні властивості дрібнозернистого бетону при нормальних умовах та знижених температурах твердіння з комплексом нормованих параметрів. За рахунок використання 0,8-1,0% добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 та 0,8-1,0 кг/м³ поліпропіленової фібри міцність бетонів при стиску досягає 50-60 МПа, міцність на розтяг при згині 8,5-9,0 МПа, водонепроникність W10-14, морозостійкість F400-F500, стиранність 0,3-0,4 г/см².

5. Розроблені ефективні склади модифікованих дрібнозернистих (піщаних) та дрібнозернистих бетонів з заповнювачем фракції до 10 мм на основі комплексного аналізу математичних моделей, враховуючи технологію виготовлення конструкцій та ремонтно-відновлювальних робіт. Рішення щодо використання розроблених складів приймаються згідно до запропонованої залежності «категорія дефекту – склад бетону» за результатами інженерних обстежень.

6. Досліджено та запропоновано рецептурні рішення для модифікованих дрібнозернистих бетонів при знижених температурних умовах твердіння.

7. Досліджено структуру модифікованого дрібнозернистого бетону за допомогою рентгенофазового та електронного мікроскопічного аналізів.

8. Проведено дослідно-промислове впровадження розроблених модифікованих дрібнозернистих бетонів та розроблені відповідні рекомендації для будівництва та відновлення конструкцій портових гідротехнічних споруд.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Рубцова Ю.А., Мишутин А.В. Некоторые особенности технической эксплуатации портовых причальных сооружений в виде тонких стенок. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2011. №44, С.287-300.

2. Рубцова Ю.А. Исследование модели повреждаемости железобетонных конструкций морских портовых гидротехнических сооружений свайного типа. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2012. №45, С.310-321.

3. Данелюк В.И., Рубцова Ю.А., Иванец А.Е., Цвигун С.И. Особенности деструктивных процессов в бетонных и железобетонных конструкциях морских эстакад. Всеукраинский научно-технический и производственный журнал «Строительные материалы и изделия», 2017, №3-4 (95), С.36-38.

4. Данелюк В.И., Бичев И.К., Рубцова Ю.А., Цвигун С.И., Иванец А.Е. Анализ технического состояния бетонных и железобетонных конструкций морских портовых гидротехнических сооружений. Науково-технічний журнал «Нові технології в будівництві», 2017, №33, С.94-100.

5. Рубцова Ю.О. Щодо розробки комплексної моделі «категорія дефекту – склад модифікованого бетону» для ремонтно-відновлювальних робіт морських портових гідротехнічних споруд пальового типу. Вісник Одеського національного морського університету, 2020. №61, С.154-166.

Стаття у науковому періодичному виданні іншої держави

6. Рубцова Ю.А. Модифицированные бетоны для ремонтно-восстановительных работ свайных эстакад морских портовых гидротехнических сооружений. Scientific and technical journal «Energy», №4(88). ISSN 1512-0120. Georgian Technical University, Tbilisi, 2018, p.86-93.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. Рубцова Ю.А. К вопросу исследования прочностных характеристик модифицированных бетонов для морских портовых гидротехнических сооружений. Научно-технические проблемы развития береговой инфраструктуры морского транспорта Украины: Сборник научных трудов, №21. Одесса, 2015. С.67-70.

8. Мішутін А.В., Кровяков С.О., Рубцова Ю.О. До питання відновлення залізобетонних конструкцій морських портових гідротехнічних споруд. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд», Одеса, 2019. С.105.

9. Рубцова Ю.О. Вплив добавки полікарбосилата та поліпропіленової фібри на водопотребу та в/ц рівнорухливих бетонних сумішей. Матеріали міжнародного семінару «Моделювання та оптимізація будівельних композитів». Одеса, 2019. С.155-158.

10. Рубцова Ю.А., Мишутин А.В. Модифіковані бетони для ремонтно-віновлювальних робіт морських портових гідротехнічних споруд естакадного типу. Матеріали міжнародної конференції «Гідротехнічного та транспортного будівництва», Одеса, 2020. С.96-98.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

11. Рубцова Ю.А. Ремонтно-восстановительные работы и проблемы повышения несущей способности портовых гидротехнических сооружений свайного типа. Монография. Приложение к научно-техническому бюллетеню серии: Экология, Экономика, Безопасность. МАНЭБ, Одесса, 2011, 33 с.

12. Науково-технічний звіт «Аналітичний огляд нових технологічних рішень по будівництву і реконструкції портових гідротехнічних споруд», дог. № 100-9 від 20.05.2011г., арх.№87998. (Особистий вклад здобувача: розділ 7 «Використання сучасних матеріалів (готових ремонтних сумішей) при ремонті і реконструкції портових гідротехнічних споруд» і розділ 8 «Розробка рекомендацій по застосуванню сучасних технологій і методів

виробництва робіт при будівництві і реконструкції портових гідротехнічних споруд»). ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ», Одеса, 2011. 137 с.

13. Рубцова Ю.А. Руденко Е.А., Богдан С.Н. Технологическая карта на ремонтно-восстановительные работы конструкций свайных железобетонных эстакад (*Особистий внесок здобувача: Розділ 1 «Загальні положення», Розділ 2 «Основні види пошкоджень, дефектів та тріщин»*). ГП «ЧЕРНОМОРНИИПРОЕКТ» (г.Одесса), ООО «Мапей Украина» (г.Киев), 2017. 57 с.

14. Проектно-вишукувальні роботи «Спостереження за деформативним станом причалу 7 (інв.№061510) в процесі експлуатації Одеської філії ДП «АМПУ» (проведення «шостого» і «сьомого» циклів спостережень). 2-й етап: «Сьомий» цикл спостережень. Підцикл 2». Арх.№92020. (*Особистий внесок здобувача: аналіз дефектів бетону*). ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ», Одеса, 2019. 45 с.

15. Контрольне вибіркове обстеження конструкцій причалів №№1-3 з оцінкою їх сучасного технічного стану. ТОВ «Чорноморський рибний порт». Арх.№92030. (*Особистий внесок здобувача: аналіз дефектів бетону*). ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ», Одеса, 2019. 61 с.

16. Інжинірингові послуги з розробки проектних пропозицій з визначення заходів, що необхідні для виконання робіт з підтримки технічного і деформативного станів причалів, що передаються у концесію (на прикладі портів «Ольвія» та Херсон, Україна). Арх.№92064 (*Особистий внесок здобувача: аналіз дефектів бетону*). Кастадія ЛТД. Позастандартно. Том 1. Пояснювальна записка. ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ», Одеса, 2019. 103с.

АНОТАЦІЯ

Рубцова Ю.О. Модифіковані дрібнозернисті бетони для конструкцій портових гідротехнічних споруд.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 «Будівельні матеріали та вироби» – Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2020.

Робота присвячена отриманню складів модифікованих дрібнозернистих бетонів підвищених міцності, морозостійкості, водонепроникності, стійкості до стирання на основі комплексного аналізу результатів інженерних обстежень конструкцій портових гідротехнічних споруд орієнтовано до залежності «склад бетону – категорія дефекту» з використанням теорії планування експерименту, експериментально-статистичного моделювання, а також дослідженням структури бетону дослідженого складу методами електронної мікроскопії та рентгенофазового аналізу. Досліджено структуру модифікованого дрібнозернистого бетону за допомогою рентгенофазового та мікроскопічного аналізів.

Розроблено рекомендації з технології приготування та практичного використання модифікованих дрібнозернистих бетонів при будівництві та відновленні конструкцій МПГТСЕТ.

Ключові слова: категорія дефекту, модуль пошкоджуваності, умовний коефіцієнт збереженості захисного шару, модифікований дрібнозернистий бетон, температурно-вологісний вплив, електронна мікроскопія, рентгенофазовий аналіз.

АННОТАЦИЯ

Рубцова Ю.А. Модифицированные мелкозернистые бетоны для конструкций портовых гидротехнических сооружений.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» - Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса, 2020.

Работа посвящена получению составов модифицированных мелкозернистых бетонов повышенных прочности, морозостойкости, водонепроницаемости, стойкости к истиранию на основе комплексного анализа результатов инженерных обследований конструкций портовых гидротехнических сооружений ориентировано к зависимости «состав бетона – категория дефекта» с использованием теории планирования эксперимента, экспериментально-статистического моделирования, а также исследованием структуры бетона исследованного состава методами электронной микроскопии и рентгенофазового анализа. Исследована структура модифицированного мелкозернистого бетона с помощью рентгенофазового и микроскопического анализа.

Разработаны рекомендации по технологии приготовления и практического использования модифицированных мелкозернистых бетонов при строительстве и восстановлении конструкций МПГТСЕТ.

Ключевые слова: категория дефекта, модуль повреждаемости, условный коэффициент сохранности защитного слоя, модифицированный мелкозернистый фибробетон, температурно-влажностное влияние, электронными микроскопия, рентгенофазового анализа.

ABSTRACT

Rubtsova Yu.O. Modified fine-grained concretes for structures of port hydraulic structures.

Thesis for Candidate of Technical Sciences degree. Specialty 05.23.05 – Building materials and products. – Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture. – Odesa, 2020.

The thesis focuses on the scientific basis of the technology of the modified fine-grained concretes of increased durability for the seaport pile hydraulic structures.

The scientific novelty of the obtained results is seen in the fact that it is the first research into the relationship of “Concrete Composition – Defect Category”, that, among other things, provides the definition of the Damage Modules of Concrete (ordinary, limited, and critical) and design of the best compositions of the modified fine-grained concrete for maintenance and repair works as well as the production of new construction elements. The research is based on an in-depth

overview and comprehensive analysis of the existing standard projects of the seaport pile hydraulic structures, regulations, technical literature, and results of the engineering surveys of the technical condition of such constructions. The essence of the studied system model is the correlation between the concrete composition and projected type and rate of construction damage. Moreover, the thesis analyses the experience of the leading companies in the construction market of Ukraine regarding production and utilization of modified concretes (“Mapei Ukraine”, “Sika Ukraine”, “Palmira”, Henkel Bautechnik Ukraine (brand Ceresit)”, “Coral”).

Experimentally, we provided a rationalization for the composition of the modified fine-grained concretes for seaport pile hydraulic structures, their physical and mechanical properties, taking into consideration a complex of modifying agents, each having a different effect: a low-temperature accelerator, superplasticizing agent, active mineral admixture and dispersed reinforcement to ensure the construction durability and improve the technical and economic performance of hydraulic construction works.

The laboratory-based exploratory tests of the modified fine-grained (sand) concrete enabled us to assess the effect the composition factors have on the physical-and-mechanical and operational properties of the concrete, in particular, compressive and tensile strengths, freeze-thaw durability, waterproofing, and wear resistance. We also researched the compressive and tensile strength of concrete, given the various combination of technological factors: at the age of 3 to 28 days under the normal hardening conditions and the temperature of -5°C .

The laboratory-based exploratory tests allowed for the assessment of the physical-and-mechanical and operational properties of the modified fine-grained concrete with the fraction filler up to 10 mm. Namely, we assessed particular compressive and tensile strengths, freeze-thaw durability, waterproofing, and wear resistance. The correlation between compressive strength of the concrete and combination of the calculated factors at the age of 3-28 days amid variation of the temperature mode of concrete hardening was also inquired into. To determine the efficiency of the introduction of the comprehensive-effect component and its effect on the process of concrete strength development under pressure and freeze-thaw durability, we looked at the reference samples of the variational composition that were hardening under normal conditions. The microscopic analysis of the structure of the examined fine-grained concrete revealed that there is an active adhesive interaction between the cement matrix and filler; it also exposed the mechanism of colmation of pores and cracks in the mortar fraction as well as the even distribution of the polypropylene fibre in the material. An X-ray phase analysis showed that all examined samples of the cement-sand matrix have quite similar phase composition. Modification of the fine-grained concrete leads to a larger harden matrix of the hydrated newgrowths and improves considerably its physical-and-mechanical and properties.

The major results of our research into modified fine-grained concretes are introduced in the practice of port hydraulic engineering, namely:

- by PuE “CHORNOMORNDIPROEKT”, in the design of the project of repair works of the berths (#1-3, 7, 8) in the Ports of Chornomorsk, Odesa, and Izmail;

- in the specification of the normative regulations “Guidelines on Engineering Survey and Certification of Port Hydraulic Constructions” (ND 31.3.002:2003) – Section 8;

- in drawing up the Work Card for repair works of the Berth #23 in the Port of Chornomorsk and Berth #8 in the Port of Izmail;

- in maintenance and repair works with the consideration of the actual damage of the pile protection layer (a berth of PrE “Ukrhydroenergo”, Kyivska HPS, Vyshhorod);

- in the repair works of the Berth #2 at Skadovsk Sea Port on the section of 30,0 *1,2 m (layer thickness of 4-5 cm);

- by PuE “NDIBV” (Kyiv), in designing the methodology for laboratory research sessions aimed at adhesion testing and analysis of the results of the research on bonding strength when using a metal form and when applying gun mixture immediately on the concrete surface.

Key words: defect category, damage modulus, conditional safety factor of the protective layer, modified sandy fiber-reinforced concrete, modified fine-grained fiber-reinforced concrete, temperature and humidity effects, electron microscopy, X-ray phase analysis.

Підписано до друку 09.12.2020 р.
Формат 60 X 8 4/16 Папір офісний Гарнітура Times
Цифровий друк. Ум.-друк. арк. 1,45.
Наклад 100 прим. Зам. №20-35

Видавець і виготовлювач:
Одеська державна академія будівництва та архітектури
Свідоцтво ДК № 4515 від 01.04.2013 р.
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.
тел.: (048) 729-85-34, e-mail: rio@ogasa.org.ua

Надруковано в авторській редакції з готового оригінал-макету
в редакційно-видавничому відділі ОДАБА