

Міністерство освіти і науки України  
Одеська державна академія будівництва та архітектури

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Рубцова Юлія Олександрівна

УДК 691.3

## **ДИСЕРТАЦІЯ**

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

**Спеціальність 05.23.05 – «Будівельні матеріали та вироби»**

**Галузь знань 019 – «Архітектура та будівництво»**

**Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук**

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ Рубцова Ю.О.

*Науковий керівник*

Мішутін Андрій Володимирович, доктор технічних наук, професор

Одеса – 2020

## 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.

Дисертаційне дослідження присвячено розробці модифікованих дрібнозернистих бетонів, що забезпечують збереження показників якості бетону в процесі експлуатації конструкцій морських портових гідротехнічних споруд.

Метою роботи є 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.

У **вступі** роботи приведено обґрунтування теми дослідження, її актуальність, сформульовані мета, задачі, наукова новизна та практичне значення роботи, представлено загальну характеристику.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що на основі аналізу натурних обстежень обґрунтовано визначення «модулів пошкоджуваності бетону» та вимоги до його якісних параметрів, що забезпечують збереження основних фізико-механічних властивостей протягом проектного строку служби конструкцій портових гідротехнічних споруд з врахуванням природно-кліматичних умов експлуатації.

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

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

Доведено, що використання комплексу модифікаторів на основі пластифікатору, активної мінеральної добавки, а також добавок прискорюючої та протиморозної дії 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 забезпеченням комплексу нормованих якісних параметрів.

Досліджено ефективність використання пластифікаторів нафталін-формальдегідного та полікарбосилатного типів в композиції з дисперсним армуванням для отримання дрібнозернистого бетону з покращеними фізико-механічними властивостями.

У **першому розділі** дисертації представлено детальний огляд наявних типових проектів портових гідротехнічних споруд пальового типу, нормативних документів, технічної літератури та результатів інженерних обстежень. Аналіз технічної літератури та виконаних досліджень вказує на актуальність впровадження в практику морського портового гідротехнічного будівництва модифікованих бетонів, які мають підвищену міцність, довговічність та інші фізико-механічні характеристики. На теперішній час на високому інженерному рівні відпрацьовані методи модифікування, обґрунтована ефективність модифікаторів, розроблені методи оптимізації складів бетонів. Разом з тим показано, що комплекс рішень, пов'язаних з практичним застосуванням модифікованих бетонів, відпрацьованих та освоєних для цивільного та промислового будівництва, не можуть бути автоматично перенесені на морські гідротехнічні об'єкти. Для можливості широкого використання модифікованих дрібнозернистих бетонів у будівництві морських портових споруд необхідно провести експериментальні дослідження щодо обґрунтування вибору ефективних компонентів для створення модифікованого дрібнозернистого бетону, який враховує конкретні умови роботи і фактичну ступінь пошкоджуваності (існуючої та прогнозованої) конструктивних елементів портових гідротехнічних споруд (залежність «категорія дефекту – склад бетону»).

Розглянуто основні наукові розробки, що стосуються ефективності технологічних засобів, спрямованих на модифікування і покращення властивостей бетонів (хімічні добавки, наповнювачі і мінеральні модифікатори, полімери, раціональний підбор зернового складу, активація цементних систем та ін.). Проаналізовано роботи І.М. 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, М.В., Рунової Р.Ф., Саницького, О.В. Ушерова-Маршака, Л.О. Шейніча, 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 довговічності конструкції.

Проаналізовано досвід низки підприємств, що мають досвід з виробництва та використання модифікованих бетонів на будівельному ринку України («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 передчасне руйнування бетону протягом всього строку експлуатації портових гідротехнічних споруд.

У **другому розділі** запропоновані методи лабораторного експериментального дослідження модифікованого дрібнозернистого бетону. Розроблена блок-схема досліджень, проаналізована залежність «категорія дефекту – склад бетону» з визначенням «модулів пошкоджуваності бетонів», обґрунтовано вибір відповідних компонентів бетону, розглянуто методику визначення фізико-механічних властивостей модифікованих дрібнозернистих бетонів та аналізу їх структури. Розроблено узагальнену модель пошкоджуваності бетону несучих конструктивних елементів портових гідротехнічних споруд пальового типу з введенням понять ординарного,

граничного і критичного «модулів пошкоджуваності бетону», що відрізняються кількісними показниками дефектів. Дано відповідне технічне обґрунтування «модулів пошкоджуваності бетонів» з визначенням умовного коефіцієнту збереження захисного шару в ув'язці з відповідними параметрами якості модифікованого дрібнозернистого бетону.

Обґрунтована доцільність виконання двох серій лабораторних експериментальних досліджень модифікованих дрібнозернистих бетонів:

- піщаного з заповнювачем фракції до 5 мм та використанням протиморозної добавки нітрату кальцію, дисперсного армування поліпропіленовою фіброю, мінерального наповнювача мікрокремнезему і суперпластифікатору нафталін-формальдегідного типу;

- з заповнювачем фракції до 10 мм з використанням суперпластифікатору полікарбосилатного типу та дисперсного армування поліпропіленовою фіброю.

**Третій розділ** дисертації присвячено лабораторним експериментальним дослідженням модифікованого дрібнозернистого (піщаного) бетону. Оцінювався вплив факторів складу на В/Ц бетонної суміші та основні фізико-механічні властивості бетону, а саме міцність при стиску, на розтяг при згині, морозостійкість, водонепроникність, стійкість до стирання. Досліджено міцність піщаного бетону при стиску та на розтяг при згині: у віці 3 та 28 діб за нормальних умов твердіння і при температурі  $-5^{\circ}\text{C}$ . Доведено, що за рахунок використання обраного комплексу модифікаторів (нітрат кальцію, суперпластифікатор нафталін-формальдегідного типу, мікрокремнезем та поліпропіленова фібра) піщані бетони при зниженому В/Ц (0,23...0,26) 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  $-5^{\circ}\text{C}$  – 30 та 50 МПа відповідно. Отримані значення міцності піщаного бетону за умов твердіння при  $-5^{\circ}\text{C}$  до 20% нижче значень міцності бетону за нормальних умов твердіння, що підтверджує ефективність введення добавки нітрату кальцію та гарантує досягнення проектного значення міцності.

Встановлено, що при регулюванні витрат цементу та поліпропіленової фібри також підвищуються показники міцності на розтяг при згині піщаного бетону: у віці 3 діб за нормальних умов твердіння – до 6,5 МПа, при  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  – до 5,5 МПа. У віці 28 діб за нормальних умов твердіння досягає 9,0...12,0 МПа.

Морозостійкість піщаного бетону досягає значень F300...400 за умов зниженого В/Ц. Також позитивно впливає обраний комплекс модифікаторів на водонепроникність, яка досягає рівня W8...12. Стійкість до стирання модифікованих бетонів за таких умов складає 0,3...0,4 г/см<sup>2</sup>.

На основі комплексного аналізу математичних моделей розроблені ефективні склади модифікованого піщаного (дрібнозернистого) бетону для морських портових гідротехнічних споруд.

**Четвертий розділ** дисертації присвячено експериментальним дослідженням модифікованого дрібнозернистого бетону з заповнювачем фракції до 10мм. Оцінювався вплив факторів складу на В/Ц бетонної суміші та температури твердіння на основні фізико-механічні властивості бетону, а саме міцність при стиску, на розтяг при згині, морозостійкість, водонепроникність, стійкість до стирання. Досліджено міцність бетону при стиску у віці 3 та 28 діб залежно від його складу та температурного режиму твердіння. Для визначення ефективності введення добавки комплексної дії та її впливу на процес набору міцності бетону при стиску та морозостійкість досліджено контрольні зразки варійованого складу, що тверділи за нормальних умов.

Доведено можливість досягнення комплексу необхідних з врахуванням «модулю пошкоджуваності бетону» фізико-механічних властивостей дрібнозернистого бетону з заповнювачем фракції до 10мм при введенні комплексної добавки, що включає суперпластифікатор полікарбоксилатного типу та прискорювач твердіння, а також поліпропіленову фібру. Встановлено, що за умов зниженого В/Ц (0,28...0,30) розроблені дрібнозернисті бетони при температурі твердіння  $-5...+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  мають міцність при стиску у віці 3 діб до 35 МПа; за умов твердіння при температурі  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 20...25 МПа. У віці 28 діб при температурі твердіння  $-5...+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  бетони мають міцність при стиску 55..60 МПа,

при температурі твердіння  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $34\text{...}40\text{ МПа}$ , за нормальних умов твердіння – до  $60\text{ МПа}$ . За необхідністю виконання бетонних робіт при низьких температурах (порядку  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) достатня міцність бетону при стиску досягається за рахунок збільшення кількості добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 (до  $1,0\%$ ) та кількості поліпропіленової фібри Ваусон ( $0,8\text{...}1,0\text{кг/м}^3$ ). Міцність на розтяг при згині модифікованого дрібнозернистого бетону за нормальних умов твердіння досягає рівня  $9,0\text{МПа}$ .

Морозостійкість дрібнозернистого бетону за нормальних умов твердіння дорівнює  $F400\text{...}500$  при витратах добавки комплексної дії  $0,6\text{...}0,8\%$ . Доведено, що за рахунок збільшення кількості добавки Coral Expert Fix12 до  $1,0\%$  при твердінні бетону при температурі  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  морозостійкість досягає рівня  $F200\text{...}300$ . Саме за рахунок своєї пластифікуючої та прискорюючої дії найбільший ефект добавки проявляється при найнижчих температурах твердіння. За умов забезпечення максимальної міцності дрібнозернистого бетону рекомендованого складу водонепроникність досягає рівня  $W12\text{...}14$ , стійкість до стирання  $G_1=0,3\text{...}0,4\text{ г/см}^2$ .

Досліджено структуру модифікованого дрібнозернистого бетону за допомогою рентгенофазового та електронного мікроскопічного аналізів. Підтверджено ефективність рекомендованого складу модифікованого дрібнозернистого бетону з заповнювачем фракції  $5\text{-}10\text{ мм}$ .

Підтверджена ефективність використаних рецептурних прийомів при управлінні структурою дрібнозернистих бетонів, що перш за все спрямовано на підвищення довговічності матеріалу.

**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 складами 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 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.

В практику ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ» рекомендовано використання модифікованих дрібнозернистих бетонів:

- при розробці проектно-кошторисної документації причалів в портах Чорноморськ, Одеса, Південний, Ізмаїл;

- при уточненні «Інструкції з інженерного обстеження та паспортизації портових гідротехнічних споруд» (НД 31.3.002:2003) – розділ 8.

Розроблено Технологічні карти щодо ремонту причалу №23 порту Чорноморськ та причалу №8 порту Ізмаїл з використанням модифікованих дрібнозернистих бетонів.

При ремонті причалу №2 Скадовського морського порту використано модифікований дрібнозернистий бетон з добавкою суперпластифікатору Coral ExpertFix12 на ділянці розміром 30,0x1,2м (товщина шару 4-5см).

**Ключові слова:** категорія дефекту, модуль пошкоджуваності, умовний коефіцієнт збереженості захисного шару, піщаний бетон, дрібнозернистий бетон, температурно-вологістні впливи, електронна мікроскопія, рентгенофазовий аналіз.



## ABSTRACT

Rubtsova Yu.O. Modified Fine-grained Concretes for Constructions of Seaport Hydraulic Structures.

Thesis for Candidate Degree in Technical Sciences. Speciality 05.23.05 "Construction materials and products" - Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, 2020.

The research explores the development of the modified fine-grained concretes that provide the retention of concrete quality values during the operation of structures of seaport hydraulic engineering constructions.

The work aims to develop the compositions of the modified fine-grained concrete for seaport hydraulic structures with improved technological and physical-and-mechanical properties, basing on the assessment of concrete condition after technical inspection of such structures.

The **Introduction** of the work substantiates the research topic, its relevance, purpose, tasks, scientific novelty, and practical value, as well as outlines the general scope of research.

The **scientific novelty** of the obtained results is provided by the fact that the analysis of field inspections made it possible to define "damage module of concrete" and substantiate the requirements to its quality parameters. It ensures the retention of basic physical and mechanical properties during the projected lifespan of seaport hydraulic structures taking into account natural and climate conditions of their operation.

On the basis of experimental-statistical modelling, we established the complexes of modifiers to provide the necessary profile of concrete quality amid the operation of structures of seaport hydraulic constructions.

The work also determines the peculiarities of how compounding-and-technological parameters of the modified fine-grained concrete influence its key physical and mechanical properties for construction and restoration of structures of seaport hydraulic constructions with due regard to their operating conditions.

We have proved that the complex of modifiers based on plasticizer, active mineral additive, as well as the accelerating and antifreeze agents coupled with dispersed reinforcement, provides the concretes with high mobility, strength, freeze-thaw durability, and waterproofing both under normal hardening conditions and at low temperatures, with a set of standard quality parameters being in place.

The thesis investigates the efficiency of using naphthalene-formaldehyde and polycarboxylate plasticizers coupled with dispersed reinforcement to obtain fine-grained concrete with improved physical and mechanical properties.

**Chapter One** presents an extended overview of the existing standard projects of seaport pile hydraulic structures, regulations, guidelines, and the results of engineering surveys. The analysis of technical literature and the scope of research on the subject indicates the topicality of introduction of modified concretes into the practice of seaport hydraulic engineering since they significantly increase the strength, durability, and other physical and mechanical properties. Currently, the modification methods have been mastered at a high engineering level; the efficiency of modifiers has been proved, and the methods for optimizing concrete compositions have been developed. However, our research showcases that it is impossible to automatically apply the modified concrete solutions, utilized and mastered in the civil and industrial engineering, to seaport hydraulic structures. To enable the wide-spread application of the modified fine-grained concrete in the construction of seaport facilities, it is necessary to conduct experimental research to substantiate the selection of effective components for creating modified fine-grained concrete. It is supposed to take into account specific operational conditions and actual damage level (existing and projected) of the construction elements of the seaport hydraulic structures (correlation of "defect category - concrete composition").

The Chapter overviews key scientific studies into the effectiveness of technological means aimed to modify and improve the concrete properties (chemical additives, fillers and mineral modifiers, polymers, consistent selection of grain composition, activation of cement systems, etc.). We analysed the works by I.M. Akhverdov, V.G. Batrakov, Yu. M. Bazhenov, V.M. Vyrovoi, V.I. Gots, L.J.

Dvorkin, V.M. Derevyanko, A.V. Mishutin, K.K. Pushkareva, F.N. Rabinovych, M.V. Runova, R.F. Sanitsky, O.V. Usherov-Marshak, L.O. Sheinich who focus on the issues of concrete modification employing modern technological methods. The emphasis here is placed on the fact that the concrete modification requires control over its structure at different stages of hardening and setting to ensure the durability of a structure.

We also analysed the experience of several enterprises with the background in the production and use of modified concrete in the construction market of Ukraine ("Mapei Ukraine", "Sika Ukraine", "Palmira", Henkel Bautechnik Ukraine (brand Ceresit)", "Coral"). The research also looks at the applicable recommendations for the use of the modified fine-grained concrete for waterworks, hydro meliorative, hydropower and floating structures. It demonstrates why it is relevant to develop the methods of concrete modification that would provide environmental stability and prevent early destruction of concrete throughout the operational lifespan of seaport hydraulic structures.

**Chapter Two** suggests the methods of laboratory-based experimental research of the modified fine-grained concrete. It offers the research block chart and analyses the correlation "defect category - concrete composition", defining "damage modules of concrete ". It provides a rationalization for the selection of the appropriate concrete components, explores the methodology of determining physical and mechanical properties of the modified fine-grained concretes and their structural analysis. In this Chapter, we also suggest a generalized model of concrete damage of load-bearing structural elements of seaport pile hydraulic structures with the introduction of the concepts of ordinary, limited and critical "concrete damage modules", which differ in their quantitative indicators of defects. There is a corresponding technical substantiation of "modules of damage of concrete", featuring definition of the conditional coefficient of protective layer retention, linking to the corresponding parameters of quality of the modified fine-grained concrete.

Moreover, the Chapter investigates expediency of conducting two series of the laboratory experiment on modified fine-grained concrete:

- with the sand concrete with fraction filler up to 5 mm, utilizing calcium nitrate antifreeze agent, dispersed reinforcement with polypropylene fibre, mineral filler of microsilica and naphthalene-formaldehyde superplasticizer;

- with the fraction filler up to 10 mm, utilizing polycarboxylate superplasticizer and dispersed reinforcement with polypropylene fibre.

**Chapter Three** brings to the spotlight the laboratory-based experimental research of the modified fine-grained (sandy) concrete. We assess the effect of the composition factors on the water-cement ratio of the concrete mixture and the key physical and mechanical properties of concrete, namely compressive and tensile strengths, freeze-thaw durability, waterproofing, and wear resistance. The compressive and tensile strength of sand concrete under bending was explored as follows: at the age of 3 and 28 days under normal hardening conditions vs. a temperature of  $-5^{\circ}\text{C}$ . We have proved that the use of the selected complex of modifiers (calcium nitrate, superplasticizer naphthalene-formaldehyde type, microsilica, and polypropylene fibre) enables the sandy concretes at reduced water-cement ratio (0.23... 0.26) to achieve up to 40 MPa at age 3 days and 60 MPa at the age of 28 days under the normal hardening conditions; this value reaches 30 and 50 MPa respectively when the concrete is hardening at  $-5^{\circ}\text{C}$ . The values, indicating that the sand concrete strength under the hardening conditions of  $-5^{\circ}\text{C}$  reduces to a max. of 20% more against the normal condition values, prove the efficiency of the introduction of calcium nitrate additive and ensures the projected strength value.

We have established that the regulation of cement and polypropylene fibre consumption also increases the tensile strength of sand concrete: at the age of 3 days under normal hardening conditions - up to 6.5 MPa, while at  $-5^{\circ}\text{C}$  it makes up to 5.5 MPa. At the age of 28 days under normal conditions, it reaches 9.0... 12.0 MPa.

Freeze-thaw durability of sand concrete reaches F300... 400 under conditions of reduced water-cement ratio. The selected complex of modifiers also has a positive effect on the waterproofing, which reaches the level of W8... 12. Wear resistance of the modified concrete amid such conditions is 0.3... 0.4 g / cm<sup>2</sup>.

The comprehensive analysis of mathematical models became the basis for the development of the effective compositions of the modified sand (fine-grained) concrete for seaport hydraulic structures.

**Chapter Four** of the thesis covers the experimental research of modified fine-grained concrete with the fraction filler up to 10 mm. It explains the influence of composition factors on the water-cement ratio of the concrete mixture and hardening temperature with the reference to the main physical and mechanical properties of concrete, compressive and tensile strengths, freeze-thaw durability, waterproofing, and wear resistance. We investigate the compressive strength of concrete at the age of 3 and 28 days depending on its composition and hardening temperature mode. 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.

We also proved that it is possible to achieve the necessary physical and mechanical properties of fine-grained concrete with fraction filler up to 10 mm, taking into account the "the damage module of concrete" with the introduction of a complex additive; the latter comprises polycarboxylate superplasticizer, hardening accelerator, and polypropylene fibre. It was established that amid reduced water-cement ratio (0.28... 0.30) and at the hardening temperature of  $-5 \dots + 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , the developed fine-grained concretes have a compressive strength of up to 35 MPa at the age of 3 days; under hardening conditions at a temperature of  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ , this value hits 20... 25 MPa. At the age of 28 days and a hardening temperature of  $-5 \dots + 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , concretes have a strength of 55..60 MPa, at a hardening temperature of  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$  this value makes 34... 40 MPa, while under the normal conditions of hardening - up to 60 MPa. When concreting needs to be performed under low temperatures (around  $-15^\circ\text{C}$ ), the strength of concrete in compression is achieved through the larger amount of comprehensive-effect additive Coral Expert Fix12 (up to 1.0%) and polypropylene fibre Baucon (0.8... 1.0 kg / m<sup>3</sup> ). The tensile strength of the modified fine-grained concrete under normal hardening conditions reaches 9.0 MPa.

Freeze-thaw durability of the fine-grained concrete under normal hardening conditions equals F400... 500 with the consumption of the comprehensive-effect additive of 0.6... 0.8%. It is proved that due to the 1.0% increase of Coral Exper Fix12 additive during concrete hardening under the temperature of  $-15^{\circ}\text{C}$ , freeze-thaw durability reaches the level of F200... 300. It is due to its plasticizing and accelerating effect that the greatest effect of the additive is manifested under the lowest hardening temperatures. With the maximum strength of the fine-grained concrete of the recommended composition ensured, the waterproofing reaches W12... 14, and wear resistance hits  $G1 = 0.3... 0.4 \text{ g / cm}^2$ .

The thesis explores the structure of the modified fine-grained concrete, utilizing the X-ray phase and electron microscopic analyses. The efficiency of the recommended composition of the modified fine-grained concrete with fraction filler up to 5-10 mm is verified.

We also proved the efficiency of the applied compounding techniques in the structure management of the fine-grained concrete, primarily aimed at enhancing material durability.

**Chapter Five** suggests the main areas, where the obtained results on the compositions of the modified fine-grained concrete can be introduced in the practice of seaport hydraulic engineering.

Utilizing the designed principles of composition management for the modified fine-grained concrete (regarding projected basic quality parameters of the received composite), the Chapter substantiates practical areas for the effective use of the research results in seaport hydraulic engineering. The most important aspect is the coordination of the projected quality parameters of the modified fine-grained concrete with the actual operating conditions of the investigated structures. This approach allows for the best possible selection of modifiers to obtain the expected properties of concrete and ensures the certain parameters of strength and durability of structures of port hydraulic construction throughout their operational lifespan.

The analysis of the results of the performed experiments gives grounds to believe that it is reasonable to use the modified fine-grained concrete in the recommended

compositions to eliminate damage to the protective layer of port hydraulic structures to the depth of their thickness, and to manufacture new structures.

The modified fine-grained concrete is recommended for use in the practice of SE "CHORNOMORNDIPROEKT" for the following purposes:

- in development of design documentation for berths in the ports of Chernomorsk, Odessa, Pivdenny, 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;

The Work Card for repair works with the use of the modified fine-grained concrete of the Berth #23 in the Port of Chornomorsk and Berth #8 in the Port of Izmail has been drawn up.

The repair works of berth №2 of Skadovsk seaport used the modified fine-grained concrete with the addition of superplasticizer Coral ExpertFix12 in the area of 30.0x1.2 m (layer thickness 4-5 cm).

**Keywords:** defect category, damage module, conditional coefficient of retaining a protective layer, sand concrete, fine-grained concrete, temperature and humidity effects, electron microscopy, X-ray phase analysis.

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ 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 пального 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. Одесса, 2015. №21, 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 вибіркоче 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. Позастадійно. Том 1. Пояснювальна записка. ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ», Одеса, 2019. 103с.

## ЗМІСТ

	Стор.
АНОТАЦІЯ	2
ВСТУП	23
РОЗДІЛ 1. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКОВАНОГО БЕТОНУ ДЛЯ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ В МОРСЬКОМУ ГІДРОТЕХНІЧНОМУ БУДІВНИЦТВІ	29
1.1. Бетони в конструкціях морських портових гідротехнічних споруд естакадного типу	29
1.2. Наукові дослідження щодо застосування модифікуючих компонентів	40
1.3. Досвід використання модифікованих бетонів у практиці будівництва	52
Висновки до розділу 1.	55
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ І ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОНЕНТІВ МОДИФІКОВАНОГО ДРІБНОЗЕНИСТОГО БЕТОНУ	57
2.1. Блок-схема досліджень	57
2.2. Розробка залежності «категорія дефекту – склад бетону	60
2.3. Характеристики компонентів, що використовувалися для досліджень властивостей модифікованого дрібнозернистого бетону	66
2.4. Методика проведення досліджень властивостей модифікованих бетонів	69
Висновки до розділу 2	71
РОЗДІЛ 3. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МОДИФІКОВАНОГО ПІЩАНОГО БЕТОНУ	73
3.1. Вплив факторів складу на водоцементне відношення піщаної бетонної суміші	76
3.2. Вплив варійованих факторів складу на міцність при стиску модифікованого піщаного бетону	79

	20
3.2.1. Міцність при стиску у віці 3 діб за нормальних умов твердіння	79
3.2.2. Міцність при стиску у віці 3 діб при твердінні при $t=-5^{\circ}\text{C}$	83
3.2.3. Міцність при стиску у віці 28 діб за нормальних умов твердіння та при $t=-5^{\circ}\text{C}$	85
3.3. Вплив складу модифікованого піщаного бетону на величину його міцності на розтяг при згині	88
3.3.1. Міцність на розтяг при згині у віці 3 діб при твердінні за нормальних умов та при $t=-5^{\circ}\text{C}$	88
3.3.2. Міцність на розтяг при згині у віці 28 діб за нормальних умов твердіння та при $t= - 5^{\circ}\text{C}$	92
3.4. Дослідження морозостійкості, водонепроникності та стійкості до стирання модифікованого піщаного бетону	96
3.4.1. Морозостійкість бетону	96
3.4.2. Водонепроникність бетону	99
3.4.3. Стійкість до стирання бетону	100
Висновки до розділу 3	103
<b>РОЗДІЛ 4. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ</b>	
<b>МОДИФІКОВАНОГО ДРІБНОЗЕРНИСТОГО БЕТОНУ</b>	105
4.1. Вплив варійованих факторів складу на водоцементне відношення дрібнозернистої бетонної суміші	107
4.2. Вплив складу та умов твердіння на міцність модифікованого дрібнозернистого бетону	110
4.2.1. Міцність бетону при стиску у віці трьох діб	110
4.2.2. Міцність бетону при стиску у віці 28 діб	115
4.2.3. Міцність бетону на розтяг при згині	118
4.3. Дослідження морозостійкості, водонепроникності та стійкості до стирання модифікованого дрібнозернистого бетону	121
4.3.1. Морозостійкість бетону	121
4.3.2. Водонепроникність та стиранність бетону	127
4.4. Дослідження структури модифікованого дрібнозернистого	

	21
бетону	133
4.4.1. Мікроскопічний аналіз	133
4.4.2. Рентгеноструктурний аналіз	135
Висновки до розділу 4	138
РОЗДІЛ 5. ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СКЛАДІВ МОДИФІКОВАНИХ БЕТОНІВ. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	140
5.1. Обґрунтування результатів аналізу залежності «категорія дефекту – склад бетону»	140
5.2. Рекомендовані склади модифікованих бетонів для конструкцій морських портових гідротехнічних споруд пальового типу	143
5.2.1. Модифіковані піщані бетони	143
5.2.2. Модифіковані дрібнозернисті бетони	145
5.3. Особливості використання модифікованих бетонів для ремонтно-відновлювальних робіт на об'єктах впровадження	149
5.3.1. Врахування результатів дослідження при оцінюванні технічного та деформативного станів портових гідротехнічних споруд пальового типу	149
5.3.2. Врахування результатів дослідження при ремонтно- відновлювальних роботах портових гідротехнічних споруд	150
5.3.3. Практичні рекомендації з використання дрібнозернистих бетонів та розробки технологічних карт для ремонтно- відновлювальних робіт	151
5.4. Результати випробувань адгезії розроблених складів бетонів	152
Висновки до розділу 5	155
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	158
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	160
ДОДАТОК А. Акти впровадження	177
ДОДАТОК Б. Список публікацій здобувача за темою дисертації та	185

відомості про апробацію результатів дисертації

ДОДАТОК В. Титульний лист проекту СОУ Д.2.4-33740357-002:201Х  
«Стандарт організації України. Ресурсні елементні кошторисні норми на  
ремонтно-будівельні роботи. Ремонтно-відновлювальні роботи  
конструкцій гідротехнічних споруд

189

ДОДАТОК Г. Матеріали обстежень конструкцій портових  
гідротехнічних споруд

193

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** На балансі Адміністрації морських портів України знаходиться близько 260 вантажних причалів протяжністю більше 43 км. 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 пального 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 комплексу 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.

б. 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  $-5^{\circ}\text{C}$  та  $-15^{\circ}\text{C}$ , 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 сторінок основного тексту, 17 сторінок використаних джерел, 25 таблиць, 40 рисунків, 41 сторінок додатків.

## РОЗДІЛ 1. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКОВАНОГО БЕТОНУ В ПОРТОВОМУ ГІДРОТЕХНІЧНОМУ БУДІВНИЦТВІ

### 1.1. Бетони конструкцій морських портових гідротехнічних споруд

Абсолютна більшість досліджуваних морських портових гідротехнічних споруд пальового типу збудована в період 1953-90 рр. за типовими проектними рішеннями [1-4]. При цьому конструкції розраховувались за наступними умовами експлуатації:

- захищені акваторії з висотою хвилі – не більше 1,0м;
- товщина нерухомого льоду – не більше 0,6м;
- нормативна швидкість вітру – 27м/с;
- температурний режим з максимальною розрахунковою температурою +34°C, мінімальною -21°C при перепаді температур не більше 20°C;
- сейсмічність – не вище 6 балів;
- ступінь агресивної дії «води – середовища» на бетон конструкції при нормальній щільності бетону – середня (бікарбонатна лужність не перевищує 1,4(4°) - 0,7(2°) мг-екв/л (град)) для корозії I виду. Основні вимоги до конструктивних елементів морських портових гідротехнічних споруд пальового типу та характеристики бетону за типовими рішеннями [1-4] узагальнені у таблиці 1.1.

Комплексний аналіз результатів інженерних обстежень конструкцій портових гідротехнічних споруд та зафіксованих дефектів бетону (пошкодження, руйнування, деформації) показав [5-7], що несучі конструкції пальових естакад, що виготовлені з використанням бетонів згідно до характеристик (табл.1.1), неспроможні зберігати проектні властивості та забезпечувати довговічність конструкцій під впливом складних багатофакторних умов експлуатації – коливання температури повітря від -40° до +50°C, поперемінне намокання та висушування, агресивність морської води, хвильові та льодові впливи, дії знакозмінних навантажень, динамічні коливання тощо.

## Основні вимоги до бетону конструкцій портових гідротехнічних споруд

Конструктивний елемент	<b>Плита верхньої будови</b>
Розмір конструкції	14,6x4,1x0,7м; 14,6x3,1x0,7м
Зона розташування конструктивного елемента	А. 3. Надводний бетон, що піддається дії атмосферних опадів, змінної вологості і температури повітря, вітру і сонячної радіації. Б. 1. Бетон залізобетонних конструкцій. В. 1. Бетон зовнішньої зони. Г. 2. Бетон збірних конструкцій, що виготовляються на заводах і полігонах.
Марка бетону по міцності	M300
Марка водонепроникності	W8
Марка по морозостійкості	F200
Характеристики бетону	1. Вид цементу - сульфатостійкий М400. 2. В/Ц - не більше 0,55. 3. Витрата цементу - 250-450 кг/м <sup>3</sup> . 4. Рухливість бетонної суміші - не більше 6 см. 5. Жорсткість - 10 с. 6. Водопоглинання по масі - до 4,2%. 7. Захисний шар бетону до робочої арматури - 5 см (до води), і 2 см (до цем./бет. покр.).
Конструктивний елемент	<b>Балка бортова</b>
Розмір конструкції	4,97x0,38x0,97м
Зона розташування конструктивного елемента	А. 3. Надводний бетон, що піддається дії атмосферних опадів, змінної вологості і температури повітря, вітру і сонячної радіації. Б. 1. Бетон залізобетонних констр. В. 1. Бетон зовнішньої зони. Г. 2. Бетон збірних конструкцій, що виготовляються на заводах і полігонах.
Марка бетону по міцності	M300
Марка водонепроникності	W8
Марка по морозостійкості	F200
Конструктивний елемент	<b>Масив тилового сполучення</b>
Характеристики бетону	1. Вид цементу - сульфатостійкий М400. 2. В/Ц - не більше 0,55. 3. Витрата цементу - 250-450 кг/м <sup>3</sup> . 4. Рухливість бетонної суміші - не більше 6см. 5. Жорсткість – 10 с. 6. Водопоглинання по масі - до 4,2%. 7. Захисний шар бетону до робочої арматури - 5 см (до води), і 2 см (до цем./бет. покр.).

## Продовження таблиці 1.1

Розмір конструкції	бетон, 4,0x2,4x1,4м
Зона розташування конструктивного елемента	А. 1. Підземний і підводний бетон, що постійно піддається дії мінералізованих і прісних вод, в т.ч. і ґрунтових вод. Б. 1. Бетон залізобетонних констр. В. 1. Бетон зовнішньої зони. Г. 2. Бетон збірних констр., що виготовляються на заводах і полігонах.
Марка бетону по міцності	M250
Марка водонепроникності	W8
Марка по морозостійкості	F200
Характеристики бетону	1. Вид цементу - сульфатостійкий М400. 2. В/Ц - не більше 0,53. 3. Витрата цементу - 250-450 кг/м <sup>3</sup> . 4. Рухливість бетонної суміші - не більше 6 см 5. Жорсткість - 10 с. 6. Водопоглинання по масі - до 4,2%.
Конструктивний елемент	<b>Залізобетонна паля</b>
Розмір конструкції	переріз: 40x40см, 45x45см, довжина: 9,0...26,0м
Зона розташування конструктивного елемента	А. 2. Бетон зони змінного рівня води, що піддається поперемінному заморожуванню і відтаванню, зволоженню і висиханню. Б. 1. Бетон залізобетонних конструкцій. В. 1. Бетон зовнішньої зони. Г. 2. Бетон збірних конструкцій, що виготовляються на заводах і полігонах.
Марка бетону по міцності	M400
Марка водонепроникності	W8
Марка по морозостійкості	F200
Конструктивний елемент	<b>Масив тилового сполучення</b>
Характеристики бетону	1. Вид цементу - сульфатостійкий М400. 2. В/Ц - не більше 0,45. 3. Витрата цементу - не більше 500 кг/м <sup>3</sup> . 4. Рухливість бетонної суміші - не більше 6 см 5. Жорсткість - 10с. 6. Водопоглинання по масі – до 4,2%. 7. Захисний шар бетону до робочої арматури - 5см (до води), і 2 см (до цем./бет.покр.).

*Примітка. Дані наведено за нормативними документами ВСН 6/118-74, ГОСТ 4795-68, СніП II-28-73, СніП III В.1.70 [1-4].*

Вчені та інженери-гідротехніки відзначають, що нові типи конструкцій не вирішують питання забезпечення їх довговічності [8-16]. Однією з причин цього вважають випадки недотримання правил технічної експлуатації споруд. Найбільш суттєвими постають грубі порушення режимів технічної експлуатації причалів, довготривалі затримки та низька якість поточних та капітальних ремонтів гідротехнічних споруд, порушення правил швартування суден та ін. [7]. В свою чергу узагальнюючий аналіз показав, що існують чотири основні групи факторів, що призводять до фізичного зносу: 1 – корозія, біологічне руйнування, 2 – вплив хвиль, 3 – помилки, що було допущено при проектуванні та будівництві; 4 – порушення норм експлуатації [14]. Результати обстежень споруд та багаторічних досліджень довговічності бетону та залізобетону у природніх умовах Чорного моря показали наступне [8]:

- залізобетонні конструкції руйнуються швидше за бетонні та більш інтенсивно в розтягнутій зоні, ніж у стислій зоні;

- строки міжремонтних періодів споруд, що працюють в складних умовах (для капітального ремонту незахищених конструкцій), повинні бути прийняті від 5 до 10 років. Такі нетривалі міжремонтні періоди вказують на необхідність обов'язкового захисту споруд, що забезпечують задану їх довговічність;

- для гідротехнічних споруд, що працюють в м'яких та помірних гідрометеорологічних умовах, процес руйнування бетону протікає повільно та починає спостерігатися приблизно через 20-25 років. Ці терміни можуть вважатись міжремонтними періодами для капітального ремонту споруд;

- вже з 60-х років 20 ст. відмічені випадки незвичайно швидкого руйнування попередньо напружених залізобетонних паль при будівництві причальних споруд естакадного типу в деяких портах Чорного моря.

На основі цих інженерних спостережень проводились наукові дослідження, пов'язані з розробкою заходів з підвищення довговічності бетону, а саме: 1) шляхи створення нових видів в'язучих та бетонів підвищеної морозостійкості та водостійкості; 2) шляхи розробки способів надійного захисту бетону [17].



Однак наступні спостереження за станом проблеми у портах Чорноморсько-Азовського та Дунайського регіонів показали, що заходів щодо захисту залізобетонних конструкцій та пошуку більш ефективних складів бетону було вжито у виняткових випадках деяких портів та вони не мали поширеного характеру обов'язкових рекомендацій [17-20].

На основі результатів багаторічних спостережень за портовими гідротехнічними спорудами, наявних звітів та паспортної документації відповідно до нормативних вимог, а також розроблених практичних рекомендацій щодо режиму подальшої експлуатації причалів, в даному дослідженні поставлено завдання встановити вимоги до параметрів якості та структури матеріалу для отримання модифікованих бетонів з підвищеними строками експлуатації. 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 портової гідротехніки. З урахуванням результатів цих досліджень, відповідних нормативних документів та результатів інженерних обстежень технічного стану конструктивних елементів узагальнену модель пошкоджуваності бетону розроблено на основі оцінки кількісних показників пошкодження (глибина руйнування, площа тощо), вимоги до характеристик якості та структури бетону з класифікацією зафіксованих дефектів та ін. [21-24].

Розроблена узагальнена модель пошкодженості конструкцій портових гідротехнічних споруд в ув'язці з зонами їх розташування, в тому числі з зовнішніми впливами, представлена на рис.1.1.

Основні досліджувані конструктивні елементи, як правило, мають однакові характерні дефекти бетону в залежності від зони розташування, а саме:

- надводна зона – утворення тріщин, відколи (розломи), корозія, руйнування нижньої поверхні з оголенням та корозією арматури;
- зона змінного горизонту води – вертикальні тріщини, руйнування з оголенням та корозією арматури, корозія, біологічна агресія;
- підводна зона – утворення тріщин, біологічна агресія.

# Узагальнена модель пошкоджуваності бетону несучих конструкцій морських портових гідротехнічних споруд

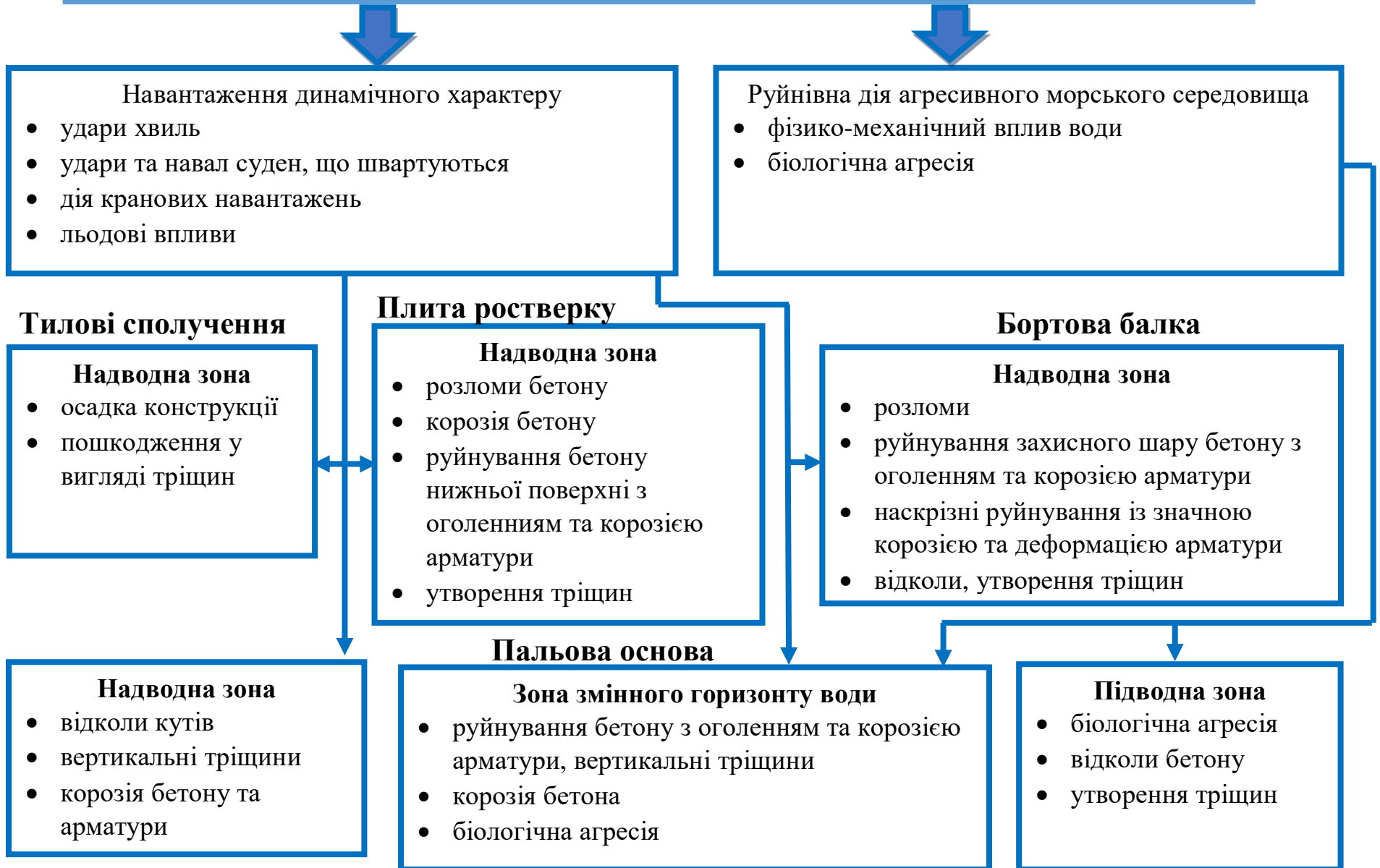


Рис. 1.1. Узагальнена модель пошкоджуваності бетону несучих конструкцій морських портових гідротехнічних споруд

Аналіз узагальненої моделі пошкоджуваності бетону за критеріями кількісних показників дефектів, фізико-хімічних процесів взаємодії захисного шару залізобетонних конструкцій та результатів ремонтно-відновлювальних робіт показав, що найбільш поширеним видом руйнування залізобетонних конструкцій постає корозія бетону внаслідок агресивної дії середовища [21,22]. Корозійній дії морського середовища на бетон портових гідротехнічних споруд присвячено ряд дослідницьких робіт. Так, відзначено [25-30], що термін служби бетону і залізобетонних конструкцій визначається міцністю на стиск та на розтяг при згині і відповідністю бетону умовам експлуатації. Стійкість залізобетонних конструкцій визначається найбільш слабкою складовою – зазвичай цементуючою речовиною. Активною складовою цементного бетону є гідроксид кальцію, що утворюється в процесі гідролізу трьохкальцієвого силікату. Характерні властивості цементного бетону на рядовому портландцементі – висока лужність і низька сульфатостійкість. Саме з тих причин для морського портового гідротехнічного будівництва обов'язкове застосування виключно сульфатостійкого портландцементу [31].

Разом з тим відмічено [32], що нераціонально встановлювати зв'язок довговічності бетону тільки зі складом цементу, не досліджуючи при цьому властивості контактної зони «цементний камінь – заповнювач», характер структури бетону тощо. Так само недоцільно вивчати стійкість бетону тільки стосовно будь-якого виду дії, залишаючи осторонь інші можливі види комбінованої дії зовнішнього середовища [33-35].

В цьому сенсі представляють інтерес результати досліджень раннього руйнування бетону морських портових гідротехнічних споруд [9,11,25]. Відмічено, що спостережуване передчасне поверхневе руйнування бетону та арматури обумовлене двома групами причин: по-перше, низькою якістю будівельних робіт та міцністю поверхневої захисної зони залізобетонних конструкцій, по-друге – посиленою фізико-хімічною дією морського середовища підвищеної агресивності на збірний та монолітний залізобетон. Досвід свідчить, що до числа першої групи причин руйнування бетону належать, головним чином, заміна сульфатостійкого портландцементу з

низьким вмістом трьохкальцієвого алюмінату звичайним і навіть пуцолановим портландцементом, а також неякісні за складом пісок і нефракціонований щебінь, що не дозволяло досягти найбільшої щільності та водонепроникності бетону. До цих порушень також додається неточне дозування компонентів на бетонозмішувальних вузлах і відсутність добавок пластифікаторів, які знижують водоцементне відношення у бетонній суміші і значно підвищують його морозостійкість. Також були зафіксовані порушення у виробництві бетонних робіт в межах змінного горизонту води: зменшення товщини захисного шару бетону до арматури, нещільне укладання бетону цього шару, і, як наслідок, велика водопроникність та поганий захист арматури від корозії. За результатами досліджень [8] обов'язковою умовою для забезпечення довговічності бетону необхідна тривала витримка свіжоукладеної бетонної суміші на повітрі (не менше 3-4 місяців) для створення на поверхні захисної щільної зони (до 1,5см), що карбонізує. Проте, найчастіше на практиці таку умову складно виконати при відновленні (ремонті) існуючої конструкції.

В роботах [11-15,26,27] розглянуті численні приклади підвищеного тріщиноутворення при виконанні бетонних робіт, що обумовлене коливаннями температури зовнішнього середовища.

Разом з тим, відмічені випадки руйнування структури бетону несучих конструктивних елементів в результаті динамічних впливів, в тому числі навала суден на причальні споруди пального типу [28]. В результаті, практично незалежно від строку служби портових гідротехнічних споруд, вже на початкових етапах експлуатації відмічаються характерні дефекти бетону.

Науково підтверджено [29,34], що велике значення для отримання міцного та щільного бетону мають умови та якість виробництва будівельних робіт. Нещільності, пустоти, каверни у бетоні, що утворюються внаслідок недостатньо задовільного виробництва бетонних робіт, – додаткові вогнища розвитку процесів корозії та шляхи проникнення у бетон агресивного середовища. Якщо раніше відзначалися [9-11] як характерні види руйнування бетону: вилугування вапна, з появою на поверхні бетону білих патьоків, та утворення сульфоалюмінату всередині бетонних елементів, що призводило до

його розтріскування (цементна бацила), то потім дослідники глибше проникли в сутність процесу корозії цементного каменю в бетоні. Узагальнення та аналіз дослідницького та досвідного матеріалів дали змогу проф. В.М. Москвіну виділити три основні види корозії, що відрізняються між собою сутністю переважаючих процесів [25]. Однак, в природних умовах той або інший вид корозії рідко зустрічається відокремлено, проте завжди можна виділити переважаючий. Так, на разі, досить детально досліджено механізм руйнування захисного шару залізобетонних конструкцій [25,29]. В армованих залізобетонних спорудах одночасно з впливом агресивного середовища – води – на бетон відбувається її вплив також на сталеву арматуру. Утворення іржі на залізі супроводжується збільшенням його об'єму, внаслідок чого захисний шар відстає та відколюється, оголюючи нові ділянки бетону та заліза, які знову піддаються дії води [10,25].

До того ж, слід відзначити дію від ударів хвиль як одного з явищ механічних впливів, що найбільш позначається на бетонних та армованих залізобетонних конструкціях [28,31,36,37-40]. Від ударів хвиль споруди отримують додаткові динамічні напруження, а інколи й такі, що тягнуть за собою руйнування окремих їх частин. До ударної дії хвиль ще приєднується у прибережних районах стираюча дія піску, гальки та інших тіл, що прибиваються розбитою хвилею до поверхні бетону. Хвилювання може служити причиною появи у бетонних конструкціях шкідливих вібрацій, що призводять до утворення дрібних і великих тріщин, що збільшують поверхню зіткнення води з бетоном.

Дослідженню підлягає також гідробіологічний фактор, який в тій чи іншій мірі впливає на прискорення чи уповільнення процесу корозії бетону підводних частин морських портових гідротехнічних споруд [26,29,31]. Наукові спостереження впродовж 50 років виявили різний вплив на поверхневий шар бетону у воді тваринних та рослинних обростань. Перші – шкідливі для бетону, так як тварини виділяють вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), надлишок якого розкладає поверхневу оболонку з вуглекислого кальцію ( $\text{CaCO}_3$ ), внаслідок перетворення останнього у легкокорозійний кислий вуглекислий кальцій  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Другі,

навпаки, поглинаючи вуглекислий газ та виділяючи кисень, можуть захищати бетон від руйнування внаслідок переходу частини бікарбонатів, що принесені новою масою води (що омиває споруду), у карбонат кальцію (вуглекислий кальцій), який виділяється у твердому вигляді та стовщує поверхневий шар з вуглекислого кальцію на бетоні.

У зв'язку з описаними вище механічними та хімічними процесами корозії бетону конструкцій портових гідротехнічних споруд проф. Л.Й. Дворкін запропонував твердження, що можна виділити гідротехнічні властивості матеріалу, до яких відносяться властивості, що характеризують їх відношення до фізичної і хімічної дії води в поєднанні з іншими факторами навколишнього середовища. Вони взаємопов'язані з іншими властивостями, особливо з тими, що характеризують структуру бетону, наприклад, пористістю, гідрофільністю/гідрофобністю, водопоглинанням/водовіддачою [41].

У відповідності до зазначених причин появи дефектів бетону конструкцій портових гідротехнічних споруд вченими запропоновані два шляхи забезпечення основних фізико-механічних властивостей та запобігання передчасного руйнування бетону. Перший – це раціональний підбір зернового складу та контроль якості заповнювачів. Саме це визначає комплекс фізичних, хімічних та механічних властивостей: об'ємна маса, водопоглинання, вміст шкідливих домішок, міцність на стиск, морозостійкість, коефіцієнт розм'якшення та ін. [42-47]. Другий шлях – підбір раціонального складу бетону за допомогою модифікування добавками різного призначення, використанням методів ущільнення бетонної суміші, забезпечення оптимальних умов прискореного або природного (нормального) твердіння. Такий захід дозволить підвищити якість та ефективність бетону конструкцій морських портових гідротехнічних споруд [42,48-51].

Комплексним дослідженням властивостей бетонів для забезпечення довговічності гідротехнічних споруд присвячені роботи, виконані в Одеській державній академії будівництва та архітектури під керівництвом проф. А.В. Мішутіна [52-58]. Проаналізовані результати технічного обстеження тонкостінних густоармованих конструкцій з оцінкою стану матеріалу, строку

служби, умов експлуатації. В результаті цих досліджень обґрунтована ефективність використання дрібнозернистих бетонів для відновлення існуючих та виготовлення нових конструкцій тонкостінних гідротехнічних споруд. Розроблено основні вимоги до бетонів таких конструкцій з технологією його приготування. Показано, що підвищення щільності бетону та водонепроникності, морозостійкості і корозійної стійкості досягається введенням у бетонну суміш хімічних добавок – пластифікуючих, регулюючих структуру, повітровтягуючих, кольматуючих, інгібіторів корозії [52,53]. Показано, що використання хімічних, активних мінеральних добавок та дисперсного армування полімерними волокнами дозволяє вирішити питання забезпечення необхідних фізико-механічних характеристик бетону та довговічність гідротехнічних споруд в цілому [57,58].

Виходячи з набутого науковою школою проф. А.В. Мішутіна досвіду з отримання дрібнозернистих бетонів з підвищеними фізико-механічними властивостями та довговічністю за допомогою методів управління структурою шляхом модифікування складу відповідними добавками та об'ємним дисперсним армуванням сформувалась необхідність розробити доказовий підхід у вирішенні питань щодо забезпечення міцності та довговічності бетону при експлуатації портових гідротехнічних споруд в умовах температурно-вологісних впливів морського середовища, а також запровадити науково-обґрунтований перехід до модифікованих дрібнозернистих бетонів, що сформовані з використанням заповнювача фракції до 10 мм та без нього (піщані бетони).

Таким чином, щодо портових гідротехнічних споруд подальшими дослідженнями необхідно визначити:

- критерії вибору модифікуючих добавок при формуванні складів дрібнозернистих бетонів для конструкцій портових гідротехнічних споруд;
- вплив модифікуючих добавок на фізико-механічні властивості модифікованого дрібнозернистого бетону – міцність на стиск, міцність на розтяг при згині та стійкість до стирання;

- вплив модифікуючих добавок на властивості модифікованого дрібнозернистого бетону в умовах температурно-вологісних впливів – морозостійкість, водонепроникність та адгезія;

- рецептурні рішення та рекомендовані склади модифікованих дрібнозернистих бетонів для бетонування при знижених температурах.

## **1.2. Наукові дослідження щодо застосування модифікуючих компонентів**

У ХХІ столітті неможливо представити проведення ремонтно-будівельних робіт без використання модифікованих бетонів, що включають певні хімічні та мінеральні добавки. Насамперед під модифікуванням бетону розуміють спрямоване регулювання його властивостей за рахунок використання ресурсозберігаючих технологічних прийомів (основні з них: хімічні добавки, наповнювачі і мінеральні модифікатори, полімери, раціональний підбір зернового складу, активація цементних систем та ін.). Модифікування бетону вимагає управління його структурою на різних стадіях твердіння та формування [59-61].

Власне, термін «модифікування бетону», на думку сучасних вчених [60,61], не носить колишнього сенсу. Оскільки в минулому, об'єм бетону, що вироблявся з добавками, не перевищував 10...15%, а на сьогодні він наближається до 100%. Відомо, що істотні досягнення останніх чотирьох десятиліть в технології бетону обумовлені значним розвитком та виробництвом ефективних добавок різної природи [62-66]. Такий активний розвиток досліджень, пов'язаних з пошуком шляхів модифікування, пояснюється виробничими вимогами та необхідністю забезпечення довговічності споруд. Сучасна концепція вимог більш технічно придатна до розрахункових підходів, а саме: скорочення тривалості випробувань бетону відповідає інтенсивно зростаючим темпам зведення будівель та споруд, перехід до реєстрації деструктивних процесів у бетоні за допомогою неруйнівних методів контролю властивостей обумовлено їх надійністю та можливістю при цьому істотно знизити витрати праці та матеріалів [64]. Але щодо терміну «довговічність»



досі тривають наукові дискусії. До бетону конструкцій морських портових гідротехнічних споруд застосування цього визначення чи не найбільш обґрунтовано. В даному дослідженні під довговічністю слід розуміти здатність залізобетонної конструкції зберігати задані фізико-механічні властивості протягом проектного строку служби під впливом зовнішніх факторів та природньо-кліматичних умов. В цьому ж сенсі упродовж багатьох років проблеми довговічності бетону дослідження вчених були націлені, по-перше, на пошук прискорених методів оцінки цієї інтегральної характеристики матеріалу, по-друге, на знаходження об'єктивних закономірностей між змінами різних властивостей бетонів та їх довговічністю. Тобто для вдосконалення складів бетонів для використання у морському портовому гідротехнічному будівництві необхідно запровадити принципи єдності рівнів фундаментальних знань та технологічних дій [64]. Так, у своїх роботах проф. А.В. Ушерова-Маршак запроваджує методологію концептуально-пізнавальної системи «склад – структура – процес – властивість». Багаторівневість її будування представляє звернення до комплексу субординованих теоретичних та експериментальних методів пізнання – дослідження, моделювання та опис, тобто інформаційне забезпечення технології бетону [63,65].

Питанням вдосконалення складів бетону шляхом модифікування хімічними добавками, активними мінеральними добавками та дисперсним армуванням полімерними матеріалами присвячені роботи видатних українських вчених – спеціалістів в галузі бетонознавства – В.М. Вирового, В.І. Гоца, Л.Й. Дворкіна, В.М. Дерев'янка, С.В. Ковалю, М.І. Нетеси, М.А. Саницького, А.В. Ушєрова-Маршака, Л.О. Шейніча.

Разом з методикою модифікування постає важливий етап розрахунково-експериментального проектування складів бетонів з добавками, яке можливе за наявності системи відповідних залежностей для прогнозування нормованих властивостей бетону та критерії оптимальності в залежності від базових параметрів суміші (вміст води, повітря, добавки, цементно-водне відношення, співвідношення заповнювачів та ін.) [66-72].

Виходячи з намічених цілей та завдань даного дослідження розглядаються для лабораторних випробувань дрібнозернисті бетони з крупністю заповнювача до 5 мм (піщані) та з крупністю заповнювача до 10 мм. Піщані бетони отримали найбільшого використання та розвитку наукових основ методів вдосконалення складу за умов розвитку галузі суднобудування [73-75]. Піщані суднобудівні бетони використовувались для виготовлення корпусів суден, плавучих доків, плавзасобів, а також для замоноличення стикових з'єднань споруд даного призначення. Водночас, у світі продовжувалось дослідження дрібнозернистих та піщаних бетонів з підвищеними технологічними та фізико-механічними властивостями, зокрема набули розвитку реакційно-порошкові бетони [76-80]. В роботах [78,79] розглядаються фізико-механічні властивості таких бетонів, відмінністю яких постає підвищене співвідношення міцності на розтяг при згині до міцності при стиску. Окрім підвищених міцнісних властивостей дрібнозернистих бетонів нового покоління постає підвищена стійкість до руйнування при заморожуванні/відтаванні, водонасиченні та стираності при абразивному руйнуванні кригою.

Важливу роль у морозостійкості бетону, разом зі структурою цементного каменю, відіграють особливості бетону, що обумовлені седиментаційним розшаруванням бетонної суміші [11,81-85]. Тож підвищення морозостійкості бетону досягається заходами, що зменшують капілярний підсос у бетоні та змінюють характер пористості матеріалу. Разом з тим, збільшення витрат цементу не гарантує підвищення морозостійкості бетону, якщо воно не супроводжується зменшенням внутрішнього водовидділення у суміші [48].

Підсумовуючи найбільш ефективні методи підвищення морозостійкості дрібнозернистих бетонів [85-88], слід виділити основні технологічні прийоми: зменшення об'єму відкритих пор, які заповнюються водою; створення раціонального порового простору, що знижує розвиток деструктивних процесів при льодоутворенні; гідрофобізація стінок капілярів і зниження капілярного всмоктування.

До властивостей структури, за думкою вчених [11,89], відносяться адгезійна здатність заповнювачів; водоцементне відношення, закон якого як раз

краще проявляється для рухливих бетонних сумішей, бо діє в чистому виді; пластичність та рухливість бетонної суміші. З метою забезпечення відповідних властивостей структури дрібнозернистих бетонів до їх складу вводять пластифікуючі добавки. Найбільш поширена у використанні – пластифікуюча добавка нафталін-формальдегідного типу С-3 (СП-1) [90]. До дрібнозернистих бетонів така добавка додається з метою: зменшення витрати цементу, розширення можливості заміни бетону на крупному заповнювачі дрібнозернистим бетоном, а також розжиження бетонних сумішей та полегшення їх укладання у конструкції, зокрема тонкостінні густоармовані.

Компромісним рішенням для досягнення необхідних властивостей структури виступає сумісне застосування високоактивних мінеральних добавок та суперпластифікаторів нафталін-формальдегідного типу [91]. Так, в Норвегії з 1972 р. почали широко використовувати мінеральну добавку з високою пуцолановою активністю – мікрокремнезем (далі МК). Вказана добавка представляє собою двоокис кремнію ( $\text{SiO}_2$ ) в аморфному реакційноздатному стані – порошок (побічний продукт виробництва феросиліцію) з зернами сферичної форми діаметром 0,1 мкм і питомою поверхнею близько 20 м<sup>2</sup>/кг. Зерна мікрокремнезему мають розмір в 100 разів менше часток цементу, завдяки цьому здатні заповнювати вільний простір між окремими зернами цементу і тому значною мірою підвищувати щільність цементної матриці [92]. До того ж, унікальна питома поверхня у поєднанні з аморфізованою структурою часток, наявністю таких домішок як карбід кремнію, які володіють високою поверхневою енергією, обумовлюють високу структуруючу та реакційну здатність цих матеріалів у порівнянні з іншими наповнювачами цементних систем. Вміст МК у бетонах рекомендується у кількості 20...50кг/м<sup>3</sup> [93].

Як зазначалось вище, довговічність бетону знижується по мірі збільшення кількості капілярних пор. Так, в роботі [94] стверджують, що мікрокремнезем є ефективною добавкою, що зменшує зміст капілярних пор у цементному камені. Порівняння з дуже інертним наповнювачем – вугільним порошком – показало,

що в даному випадку не ефект заповнення, а пуцоланова реакція викликає досягнення такого результату.

Також встановлено, що зона контакту між заповнювачем і цементним каменем – слабка ланка у бетоні [95]. У граничному шарі зерен заповнювача щільність структури менша, ніж в іншій структурі бетону внаслідок неповного заповнення міжзернового простору. Загальна пористість контактної зони в 3,5 рази вище за пористість цементного каменю. У результаті цього міцність на розтяг між цементним каменем і заповнювачем досягає тільки 70% міцності цементного каменю. Мікрокремнезем ущільнює зону контакту. Проте, мікрокремнезем тільки в малому ступені зменшує загальну мікропористість цементного каменю. Вирішальним чинником його довговічності є оптимальне співвідношення між капілярною і гелевою пористістю.

Таким чином, підтверджено, що застосування мікрокремнезему у поєднанні з суперпластифікаторами впливає на підвищення міцності, довговічності та легкоукладальності, зменшення проникності бетону по відношенню до морської води [96-98]. Саме це дозволило розробити серію модифікаторів, що є композиційними матеріалами на органіномінеральній основі, мінеральна частина яких складається з мікрокремнезему, а органічна представлена хімічними реагентами – суперпластифікатором або його сумішшю з регулятором твердіння. Дослідженнями з використання комплексу добавок мікрокремнезему і суперпластифікатора показано, що низька плюсова температура твердіння ( $+3.5^{\circ}\text{C}$ ) уповільнює початкові стадії твердіння, але несуттєво відбивається на міцності бетону у віці 28 діб. При цьому за нормальних умов твердіння ( $+20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) досить висока міцність бетону може бути досягнута за першу добу, в свою чергу підвищена температура ( $+40\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) сприяє прискореному набору ранньої міцності [97].

Питання ефективного використання аморфного мікрокремнезему у бетоні досліджено в роботі [98]. Мікрокремнезем в якості добавки застосовувався для запобігання лужній реакції заповнювачів. Відмічено декілька типів продуктів гідратації мікрокремнезему, які ефективно чи деструктивно впливають на структуроутворення бетону. Отримання високоміцних та довговічних бетонів із

застосуванням аморфного мікрокремнезему вимагає вивчення умов протікання певних реакцій тріщиноутворення внаслідок тепловиділення чи усадкових явищ; вологість довкілля; доступ можливих реагентів ззовні.

Постає наступна технологічна проблема збереження властивостей рухомості та життєздатності бетонної суміші при транспортуванні та в процесі укладання при низькотемпературних умовах зовнішнього середовища експлуатації портових гідротехнічних споруд. Виникає потреба у застосуванні протиморозних добавок, в якості яких на початку 50-х років ХХ століття застосовували хлористий кальцій і його суміш з хлористим натрієм [98]. Однак серйозною перешкодою до застосування хлористого кальцію і натрію в залізобетоні є корозія арматури, що викликається іонами хлору. В результаті роботи з пошуку безхлоридних добавок було запропоновано безліч протиморозних добавок, в основному солей натрію і кальцію. Принцип дії протиморозних добавок полягає в тому, що при їх введенні до складу бетонної суміші знижується температура замерзання води. Завдяки збереженню рідкої фази мінерали портландцементу реагують з водою, забезпечуючи тим самим твердіння бетону на морозі. Багато протиморозних добавок мають обмежену сферу застосування в силу їх негативного впливу на стан арматури або бетону. Наприклад, солі кальцію зменшують сульфатостійкість бетону, перевищення вмісту солей лужних металів сприяє лужній корозії бетону. Проектуючи склад бетону з протиморозні добавками, також слід враховувати можливе зниження міцності бетону в проектному віці.

Досить цікавими є результати виконаних у Норвегії досліджень, а саме вивчення особливостей використання нітрату кальцію як добавки у бетони для прискорення строків тужавлення з метою довгострокового набору міцності [99-100]. При цьому вимірювання усадки, розтікання, об'ємної щільності і вмісту повітря проводилося з дотриманням вимог Норвезьких Стандартів NS 3662 (ISO 4109), NS 3664 (ISO 9812), NS 3660 (ISO 6276) і NS 3659 (ISO 4848), відповідно. Міцність при стиску визначалася після зберігання зразків при  $+20\pm 2^\circ\text{C}$  на повітрі при відносній вологості 100%.

Рекомендації з використання добавки нітрату кальцію наведені у нормативних вимогах та рекомендаціях з використання бетонів з протиморозними добавками [48]. При неможливості обігріву свіжовкладеного бетону при проведенні будівельних робіт в умовах експлуатації портових гідротехнічних споруд використання протиморозних добавок, зокрема нітрату кальцію, забезпечує твердіння бетону на морозі.

Слід зазначити, що протиморозні добавки, які використовувались у гідротехнічному будівництві, умовно поділено на дві групи. До першої відносяться речовини, що знижують температуру замерзання рідкої фази бетону та являють собою або прискорювач твердіння слабкої дії, або уповільнювач слабкої дії, тобто практично не впливають на швидкість структуроутворення. До цієї групи відносяться хлорид та нітрат натрію, а також сечовина. У зв'язку з фізичними особливостями своєї дії бетон з добавками цієї групи повільно набирає міцність у ранньому віці, що найчастіше небажано при виконанні будівельних робіт на портовому об'єкті.

Тому для дослідження представляють більший інтерес протиморозні добавки другої групи, які сильно прискорюють тужавлення та твердіння, а їх розчини мають достатньо низьку евтектичну температуру. До цих добавок належить нітрат кальцію ( $-28,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) [99]. Прискорення твердіння бетону викликається головним чином тим явищем, що добавки змінюють розчинність силікатних складників цементу та утворюють з продуктами його гідратації подвійні та основні солі [48].

Таким чином, спільне використання мікрокремнезему, суперпластифікатору та нітрату кальцію при введенні до складу піщаного (дрібнозернистого з заповнювачем фракції до 5 мм) бетону може забезпечувати розрахункову (проектну) міцність бетону гідротехнічних споруд при його твердінні в низьких температурах, а також зменшувати проникність та збільшувати структурну міцність (ущільнювати зону контакту цементного каменю і заповнювача). При підтвердженні цих припущень в процесі проведення лабораторних досліджень властивостей дрібнозернистих бетонів з розглянутими видами модифікаторів можна буде стверджувати, що, у

кінцевому рахунку, ці технологічні прийоми призведуть до забезпечення необхідних якісних властивостей, а саме: міцності при стиску та на розтяг при згині, морозостійкості, водонепроникності та стійкості до стирання.

Згідно до завдань дослідження також постає питання підбору ефективних модифікаторів до дрібнозернистого бетону з заповнювачем фракції до 10 мм. Виходячи з традиційного підходу до забезпечення підвищених вимог за міцністю при стиску, на розтяг при згині, морозостійкістю та водонепроникністю бетону гідротехнічних споруд, огляд наукових праць [101-103] вказує на актуальність використання сучасних комплексних добавок для створення високоміцних бетонів (High Performance Concrete) [101,102]. Насамперед досвід підрядних організацій з виконання ремонтно-відновлювальних робіт у цивільному та промисловому будівництві підтверджує перевагу суперпластифікаторів полікарбоксилатного типу перед суперпластифікаторами нафталін-формальдегідного типу. При використанні суперпластифікаторів полікарбоксилатного типу збільшується осадка конуса бетонної суміші (до 25 см і більше при відносно низькій водопотребі). Бетонні суміші з цією добавкою відрізняються тривалою життєздатністю, що особливо важливо при монолітному будівництві і тривалому транспортуванні бетонної суміші [101]. Крім того, слід відмітити їх здатність прискорювати тужавлення суміші при низьких температурах [102]. Висока міцність бетону досягається шляхом зниження водоцементного відношення. Компоненти добавки активують процеси гідратації цементу, що призводить до прискореного утворення цементного гелю. Внаслідок інтенсифікації росту новоутворень і збільшення дисперсності продуктів гідратації зростає загальна мікропористість без зміни кількості залученого повітря.

Результати дослідження можливостей добавок нового покоління – гіперпластифікаторів (карбоксилати, полікарбоксилати, поліакрилові ефіри), які дозволяють знизити В/Ц бетонної суміші до 40%, наведені в роботах [104,105]. Розглянуто експериментально-теоретичні проблеми сумісності системи «цемент – добавка». Термін сумісності розглядається як здатність забезпечення стабільності досліджуваних властивостей бетонної суміші впродовж

розрахункового часу. Показано, що технологічний ефект від дії добавок проявляється на ранніх стадіях гідратації цементу в результаті їх впливу на адсорбцію тощо. Відповідні експериментальні дослідження виконано з метою можливості підвищення ефективності добавок шляхом їх раціонального підбору, врахування процесів, що протікають при тужавленні та твердненні цементу. В результаті запропоновано класифікацію функціонального призначення добавок з термокінетичної точки зору, розроблено методiku оцінки сумісності системи «цемент – добавка» з необхідним розрахунковим обґрунтуванням, в тому числі на базі сучасного програмного забезпечення.

Результати експериментальних досліджень щодо вибору ефективних протиморозних добавок для бетонів наведені в роботі Л.О. Шейніча [106]. Розглянуто комплексну добавку з декількох компонентів – прискорювач твердіння бетону, електроліти і суперпластифікатори. В результаті отримані бетони з високою міцністю при стиску в умовах твердіння при низьких температурах  $-5\dots-15^{\circ}\text{C}$ , оптимальна кількість протиморозної добавки складає: для бетонів на портландцементі (ПЦ І М500) та шлакопортландцементі (ШПЦ Ш/А М400) від 8 до 12% від маси цементу. Міцність при стиску бетону на шлакопортландцементі за умов твердіння 28 діб при  $-5^{\circ}\text{C}$  та 28 діб за нормальних умов твердіння склала 26,6...30,6 МПа. Для портландцементу за умов твердіння 28 діб при  $-15^{\circ}\text{C}$  та 28 діб за нормальних умов твердіння склала 22,9...40,5 МПа [106].

Одним із сучасних шляхів протидії появі та розвитку на початкових стадіях мікротріщин є введення до складу бетону дисперсної арматури за допомогою полімерної фібри. Результат – створення в тілі бетону просторової сітки з коротких тонких переплетених волокон з рівномірним розсіянням – понад 7 млн.волокон в  $1\text{ м}^3$ . Дослідженнями [107-109] було доведено, що дисперсне армування бетонів і розчинів дозволяє звести до мінімуму традиційні недоліки бетону – підвищену усадку, низьку еластичність, крихкість та підвищене тріщиноутворення. Разом з тим, поліпропіленова фібра дещо погіршує консистенцію бетонної суміші (в основному, через формування об'ємної сітки з мільйонів волокон, яка запобігаючи розшаруванню, структурує



бетонну суміш при транспортуванні, укладанні та ущільненні) [107]. Доведено у дисертаційних дослідженнях Гапоненко К.О., що при використанні фібробетонів з волокнами Wauson, бетон має кращі фізико-механічні показники, ніж склади бетону з фіброю Fibermesh. При введенні волокон полімерної фібри підвищується водопотреба бетонних сумішей. Ситуація може бути вирішена за рахунок застосування пластифікатора і оптимізації складу фібробетонів, що забезпечить В/Ц бетонної суміші не вище 0.30 при рухомості суміші від 16 до 18 см. Також встановлено, що при витраті полімерної фібри у кількості 1..1,2 кг на 1м<sup>3</sup> бетону, міцність на розтяг при згині може бути суттєво підвищена [110-114].

Важливе питання вибору технології приготування дисперсноармованого композиту розглянуто в роботах [115,116]. Найбільш складною в технологічному відношенні є проблема введення фібри в необхідній кількості в розчинову або бетонну суміші з одночасним забезпеченням певної рівномірності та її розподілу. Для приготування фіб्रोармованих бетонних сумішей запропоновано використовувати змішувачі примусової дії (спіральновихрові, турбулентні). При незначних об'ємах робіт, пов'язаних із застосуванням дисперсного волокна, рекомендується спочатку змішати насуху цемент та пісок (за необхідністю із заповнювачем), потім ввести потрібну кількість фібри. Після ретельного перемішування в суміш додається вода з добавками, перемішування триває до отримання однорідного складу бетонної суміші.

В дослідженнях Л.Й. Дворкіна, О.Л. Дворкіна, А.В. Мішутіна [117] стверджується, що довговічність бетону забезпечується при відповідності його складу та структури умовам експлуатації у морському середовищі, а саме стійкість бетону характеризується його здатністю зберігати задані показники якості та працездатність при впливі агресивних факторів навколишнього середовища, з яких найбільш вагомим впливом є коливання температури, насичення пор водою з процесами замерзання/відтавання та наступним деформуванням тощо.

Щодо технології ремонту і будівництва морських портових гідротехнічних споруд можна стверджувати, що на сьогодні недостатньо розроблені основи використання модифікованих бетонів, особливо в частині адаптації та методики регулювання складів, структури і властивостей суміші та бетону з урахуванням впливу технологічних, кліматичних та експлуатаційних чинників. До того ж, фактично не розглядаються економічні проблеми, що можуть з'явитись при використанні бетонів не достатньої довговічності у портовому гідротехнічному будівництві [21,118].

Доказовий підхід до вибору комплексів модифікаторів дрібнозернистих бетонів при ремонтно-відновлювальних роботах можливо здійснити лише при розгорнутому техніко-економічному обґрунтуванні доцільності введення відповідних добавок. В свою чергу першим етапом реалізації такого обґрунтування постає техніко-економічна ефективність оптимальних складів, яка, перш за все, допоможе прорахувати прогнозування строку експлуатації конструкцій портових гідротехнічних споруд без руйнування бетону, що гарантує підвищену довговічність відремонтованих конструкцій, збільшення тривалості міжремонтного періоду та прискорення введення об'єкту в експлуатацію.

Питання комп'ютерного моделювання при відновленні експлуатаційних властивостей бетонних конструкцій розглянуто в роботах [119-127]. Представлено експериментально-статистичну модель (ЕС-модель) рецептурно-технологічного типу, що дозволяє отримувати необхідні дані щодо експлуатаційної надійності гідротехнічних споруд практично у будь-який момент часу їх експлуатації. Досліджуються показники міцності бетону при стиску, водонепроникність та інші показники, що комплексно характеризують одночасно як експлуатаційні властивості конструкції, так і безпосередньо структуру бетонної матриці конструкції. В результаті розроблена система планово-запобіжних ремонтів (з можливістю її оперативного коригування), використовуючи в якості варійованих факторів реноваційних ЕС-моделей фактичні дані за виконаними ремонтами (з урахуванням технологічних дій реновації бетону).

Важливою експлуатаційною проблемою руйнування бетону в умовах морського середовища є порушення його структури, мікротріщини, що утворюються на ранніх (до 6 годин) стадіях твердіння. Фахівцями ОДАБА (Мішутін А.В., Вировий В.М., Дорофєєв В.С., Кровяков С.О. та інші) встановлено, що мікротріщини є результатом усадкових деформацій бетону [128-134]. Причинами такого явища вважаються в основному власні об'ємні деформації конструкції в цілому і її окремих компонентів, а також відмінність температурних і вологісних деформацій, корозійна дія середовища експлуатації [132,133].

Дослідження механізмів морозного руйнування будівельних композитів проаналізовано в роботі [131]. Морозне руйнування будівельних композитів поліструктурної будови розглянуто на основі аналізу наявності технологічних тріщин бетону, температурного переходу рідкої фази в твердий стан тощо. У результаті обрана модель технологічної тріщини, розглянуті фактори, що впливають на ширину її розкриття, проаналізовані механізми росту тріщини при поетапному замерзанні води тощо. Для подальших досліджень представляє інтерес розроблена концепція шляхів підвищення морозостійкості будівельних композитів, яка ґрунтується на дослідженні змін виду та характеру розподілу технологічних тріщин з метою запобігання їх швидкому росту до розміру граничних (руйнуючих) значень.

При відновленні бетону пошкоджених конструкцій важливе забезпечення міцності зчеплення (адгезії) «нового» та «старого» бетонів. Дослідженням цієї проблеми займалися ЦНДІПБ, Московський інститут інженерів водного господарства, інститут «Оргенергобуд», ВНДІГ ім. Ведєнєєва, НДІ Мосбуда, ЦНДІ МПБ, Гідропроєкт ім. С.Я.Жука, НДІЗБ, ВОДГЕО [135].

Отримані результати із забезпечення міцності зчеплення (адгезії) представляють певний інтерес при використанні модифікованого бетону для ремонтних робіт конструкцій морських портових гідротехнічних споруд, а саме відновлення міцнісних показників пошкодженого бетону нижньої поверхні верхньої надбудови та ін.

Важливим фактором довговічності бетону конструкцій морських портових

гідротехнічних споруд є стійкість до стирання. В загальному випадку, стиранність розглядається як здатність матеріалу змінюватися в об'ємі і масі під дією стираючих зусиль. Абразивне руйнування відбувається за рахунок стираючого й ударного впливу (як правило дія льоду та наносів, зважених у воді твердих часток) [136-138]. Дослідженнями [139-141] показано, що стійкість бетону до абразивного впливу підвищується зі зниженням В/Ц.

Таким чином, аналіз результатів наукових досліджень з технології отримання модифікованих дрібнозернистих бетонів показує, що при розробці оптимальних складів, вивчення їх фізико-механічних властивостей та при подальшому використанні у морській гідротехніці обґрунтованим є вибір наступних модифікаторів:

- для піщаного бетону: суперпластифікатор нафталін-формальдегідного типу, активна мінеральна добавка, протиморозна добавка нітрат кальцію (прискорювач твердіння), дисперсне армування поліпропіленовою фіброю;
- для дрібнозернистого бетону: суперпластифікатор полікарбосилатного типу, дисперсне армування поліпропіленовою фіброю.

### **1.3. Досвід використання модифікованих бетонів у практиці будівництва**

Аналіз теоретичних та лабораторних досліджень шляхів та методів модифікування бетонів з метою створення складів бетону, більш стійких до експлуатаційних та природно-кліматичних впливів, дав можливість для обґрунтованого підходу до обрання виробників хімічних добавок, активних мінеральних добавок та дисперсних наповнювачів для дослідження щодо конструкцій морських портових гідротехнічних споруд. Згідно до мети та завдань даного дослідження розглядаються фірми-виробники, що мають значний світовий досвід впровадження у цивільному та промисловому будівництві, мають ефективні технології ремонтно-відновлювальних робіт та сертифіковані для використання в Україні.

ТОВ «МАПЕІ УКРАЇНА» при формуванні бетонних складів використовує такі добавки (виробництво Італія): прискорювачі/уповільнювачі тужавлення, пластифікатори на основі лігносульфонатів і полікарбоксилатов (супер/гіпер), мінеральні наповнювачі пуцоланової дії (мікрокремнезем), добавки розширюваної дії, інгібітори корозії арматури, дисперсне армування металевою або полімерною фіброю. Застосовуються високоміцні, сульфатостійкі та напружуючі цементы.

В результаті отримано тиксотропні ремонтні склади з нормальним та прискореним тужавленням, високою та нормальною рухомістю, з компенсованою усадкою (для забезпечення підвищеної тріщиностійкості конструкцій). У розроблених регламентах і технологічних картах приведено розділення готових тиксотропних ремонтних складів за такими категоріями [142-144]:

- тип матеріалу: нормально і швидко твердіючі розчини;
- тип ремонту: ремонт захисного шару і несучих конструкцій;
- спосіб нанесення: ручний, штукатурною машиною безперервної дії і штукатурною машиною з агрегатом попереднього змішування.

Отримані результати, в основному, орієнтовані на цивільне та промислове будівництво. В той же час, є певні напрацювання стосовно річкового гідротехнічного будівництва (стіни гребель, шви, напірні і низові грані, водоскиди).

ТОВ «СІКА УКРАЇНА» використовує добавки переважно виробництва Швейцарії: уповільнювачі тужавлення на основі нітратів, алюмінатів і модифікованих фосфатів, прискорювачі і пластифікатори на основі полікарбоксилатів і лігносульфонатів, повітровтягувальні та стабілізуючі добавки [145]. В результаті ремонтні склади бетону мають такі характеристики: підвищена легкоукладальність та міцність в ранньому віці; зменшена усадка та повзучість; прискорена швидкість гідратації і виділення тепла цементу; просторовий поділ дрібних частинок цементу і заповнювача; поліпшене диспергування і змачуваність цементу; зменшення тертя між компонентами бетонної суміші; значне скорочення кількості води замішування; висока

тривалість дії суперпластифікатора; збільшена однорідність бетонної суміші; знижені водовиділення і схильність до сегрегації. Забезпечується також запобігання появи усадочних тріщин і плям на поверхні затверділих бетонів, зменшення швидкості їх карбонізації.

Компанія ПАЛЬМІРА використовує сухі будівельні суміші торгової марки Five Star (виробництво США) на основі цементів, фракціонованого дрібного заповнювача (піску), волокнистого наповнювача, комплексних полімерних та мінеральних добавок. В результаті має місце прискорення/уповільнення тужавлення, підвищені життєздатність суміші і тріщиностійкість бетону, висока рання міцність бетону (на 3 і 6 годину твердіння близько 17МПа), можливість ремонту горизонтальних і профільованих вертикальних поверхонь (без додаткового догляду після нанесення), стійкість до сульфатів та хлоридів. Слід зазначити, що матеріали даної серії наносяться переважно ручним способом.

«ХЕНКЕЛЬ БАУТЕХНІК УКРАЇНА» (продукція Ceresit, Німеччина) пропонують для відновлення пошкоджень бетону готові ремонтні суміші на основі цементу на дрібному і крупному заповнювачах з мінеральними наповнювачами, інгібіторами корозії арматури, органічними модифікаторами і армуючими волокнами. Разом з тим, дана лінія матеріалів не передбачає можливість їх використання при температурах нижче + 5°C.

При цьому має місце швидке твердіння суміші, забезпечується мікродисперсне армування волокнами, висока адгезія до «старого» бетону, значна міцність при стиску, водонепроникність і морозостійкість бетону, підвищена тріщиностійкість, стійкість до впливу солей.

Компанія CORAL (Україна) виробляє поліфункціональні модифікатори для бетону і цементу. Згідно нормативних вимог [146-148] використовуються добавки: пластифікатори, суперпластифікатори, прискорювачі та уповільнювачі тужавлення, протиморозні. Добавки адаптовані до вітчизняних заповнювачів і цементів. При цьому:

- бетонна суміш набуває пластифікуючу і водоредукуючу дію, а також ефект уповільнення гідратації цементу в ранні терміни і прискорення твердіння бетону;

- забезпечується висока рання міцність бетону, як в нормальних умовах тверднення бетону, так і в умовах прогріву бетонних виробів;

- покращується якість поверхні свіжоукладеного бетону (без додаткового догляду після нанесення).

Модифіковані бетони, у яких використовуються модифікатори виробництва ТОВ «Мапеі Україна», ТОВ «Сіка Україна», ТОВ «Пальміра», «Хенкель Баутехнік Україна (продукція Ceresit)», «Coral», потребують вдосконалення при застосуванні їх в ремонтно-відновлювальних роботах морських портових споруд з урахуванням фактичної ступені їх пошкодженості з урахуванням результатів додаткових досліджень.

При цьому згідно до плану експериментальних досліджень перевагу надано поліфункціональному модифікатору комплексної дії як продукції вітчизняного виробництва (з досвіду компанії Coral).

На нашу думку, техніко-економічні показники гідротехнічного будівництва за рахунок використання модифікованого дрібнозернистого бетону з переліченими добавками, наповнювачами та дисперсним армуванням будуть априорі вище, ніж при застосуванні більш дорогих добавок виробництва Італії, Швейцарії, США та Німеччини (досвід «Мапеі Україна», «Сіка Україна», «Пальміра», «Хенкель Баутехнік Україна (продукція Ceresit)»).

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1**

1. Аналіз технічної літератури та виконаних натурних обстежень вказує на актуальність впровадження в практику будівництва модифікованих бетонів, які мають підвищену міцність, довговічність та інші фізико-механічні характеристики. На теперішній час розроблені різні методи модифікування бетонів, в тому числі з застосуванням суперпластифікаторів, активних мінеральних наповнювачів чи дисперсного армування полімерними волокнами. Проте, потребують подальший розвиток дослідження, які пов'язують фізико-механічні характеристики модифікованого бетону і довговічність конструкцій.

2. Існують певні рекомендації до використання модифікованих дрібнозернистих бетонів для конструкцій водогосподарських,

гідромеліоративних, гідроенергетичних та плавучих споруд. Але комплекс рішень, пов'язаних з практичним застосуванням модифікованих бетонів, відпрацьованих та освоєних для різних галузей будівництва, не можуть бути автоматично перенесені на морські гідротехнічні споруди.

3. Сформульовано *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.



## РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ І ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОНЕНТІВ МОДИФІКОВАНОГО ДРІБНОЗЕРНИСТОГО БЕТОНУ

### 2.1. Блок-схема досліджень

Структура досліджень, результати яких наведені у даній дисертації, приведена у блок-схемі на рис.2.1.

На підставі проведеного огляду наукових досліджень і результатів практичних впроваджень, для дослідження обрано чотири групи модифікаторів:

– протиморозна добавка і інгібітор корозії арматури, що дозволяє проводити бетонні роботи при від'ємних температурах – представником цієї групи обрано нітрат кальцію, основна дія якого полягає в суттєвому прискоренні набору міцності бетону при зимовому бетонуванні [81-85,149,150] і забезпеченні високої корозійної стійкості арматури [48];

– високоактивна мінеральна добавка, ультрадисперсний наповнювач – мікрокремнезем; [151]

– дисперсна арматура – поліпропіленова фібра, що дозволяє суттєво покращити деформативні властивості та тріщиностійкість бетону, в т.ч. зменшити появу усадкових тріщин при прискореному твердненні бетонної суміші під дією нітрату кальцію; [152,153]

– добавки суперпластифікатори нафталін-формальдегідного і полікарбоксилатного типів, які дозволяють забезпечити необхідну рухомість при зниженій водопотребі [154,155].

Загальна послідовність проведення дослідження складалась з декількох пов'язаних етапів.

На першому етапі, за результатами проведеного аналізу типових проектів, нормативних документів, технічної літератури та результатів інженерних обстежень конструкцій портових гідротехнічних споруд, встановлено:

– найбільш пошкоджені конструкції у різних зонах розташування (узагальнена модель пошкодженості бетону несучих конструктивних елементів);

– кількісні показники пошкодження (глибина руйнування, площа тощо) та наслідком якого фізико-хімічного процесу є зафіксовані пошкодження;

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

**Проблема** – забезпечення фізико-механічних властивостей та стійкості до температурно-вологісних впливів модифікованих бетонів для відновлення пошкоджених залізо-бетонних конструкцій.

**Методи** – 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.

**Умови лабораторних експериментів**

**Визначення впливу модифікуючих компонентів на міцність і морозостійкість піщаного бетону**

Варійовані чинники	Xi	Рівні факторів			Властивості (Y)			
		Xmin	X0	Xmax	Міцність на стиск у віці 3 та 28 діб	Міцність на розтяг при згині у віці 3 та 28 діб	Морозостійкість	Стіранність
Цемент/Пісок, співвідношення	X1	1:2	1:3	1:4				
НС, %	X2	0	1,5	3,0				
МК, %	X3	0	3,5	7,0				
Фібра, кг/м <sup>3</sup>	X4	0	0,6	1,2				

**Визначення фізико-механічних властивостей модифікованого бетону з заповнювачем 5-10мм**

Варійовані чинники	Xi	Рівні факторів		
		Xmin	X0	Xmax
CoralExpertFix, %	X1	0,6	0,8	1,0
ППП фібра Ваусон, кг/м <sup>3</sup>	X2	0	0,6	1,2
Температура, °С	X3	-15	-5	+5

Фізико-механічні властивості	
Міцність на стиск, $f_{ck,cub.3}$ (МПа) у віці 3 діб	
Міцність на стиск, $f_{ck,cub.28}$ (МПа) у віці 28 діб	
Міцність на розтяг при згині, $f_{ctk}$ (МПа) у віці 28 діб	
Стіранність, $G_1$ , г/см <sup>2</sup>	
Стійкість до температурно-вологісних впливів	
Морозостійкість, F, цикли	
Водонепроникність, W, МПа·10 <sup>-1</sup>	

**Розробка залежності «категорія дефекту – склад бетону»**

1. Розробка моделі пошкоджуваності бетону на підставі умов експлуатації конструкції, причин та розмірів дефектів.
2. Визначення сучасних вимог до бетону у відповідності до нормативних документів.
3. Розробка параметрів якості бетону найбільш пошкоджених конструкцій морських портових гідротехнічних споруд пальового типу.
4. Обґрунтування вибору модифікаторів бетону.
5. Розробка рецептурних прийомів для забезпечення параметрів якості дрібнозернистих бетонів в умовах експлуатації в агресивному середовищі.

Дослідно-промислове впровадження бетону модифікованого складу, розробленого для експлуатації в морському середовищі.

Розробка практичних рекомендацій застосування модифікованих бетонів оптимальних складів залежно від модулю пошкоджуваності: ординарного, граничного та критичного.

Рис 2.1. Блок-схема дослідження

– класифікація зафіксованих дефектів бетону із значенням глибини пошкодження;

– оцінка фактичного технічного стану пошкоджених конструкцій.

Результати даного етапу представлені у Розділі 2, п.2.2.

На другому етапі, з метою підбору ефективних модифікаторів бетону, на підставі результатів інженерних обстежень, складено системну модель «склад бетону – категорія дефекту» з наступним визначенням «модулів пошкоджуваності бетонів» та подальшою класифікацією за окремими «модулями пошкоджуваності бетону», що відрізняються кількісними показниками. В результаті вперше введені поняття ординарного, граничного і критичного «модулів пошкоджуваності бетону», дано відповідне технічне тлумачення в ув'язці з підбором оптимальних складів досліджуваних модифікованих дрібнозернистих бетонів. Результати даного етапу представлені у Розділі 2, п.2.2.

На третьому етапі проведено дослідження впливу модифікуючих компонентів (протиморозна добавка нітрату кальцію, дисперсне армування полімерною фіброю, мінеральний наповнювач мікрокремнезем, суперпластифікатор нафталін формальдегідного типу) на водопотребу та водоцементне відношення при рівній рухомості піщаної бетонної суміші за умови забезпечення проектних значень основних фізико-механічних властивостей піщаних бетонів з крупністю заповнювача до 5 мм (з урахуванням впливу температурних режимів), а також морозостійкості та водонепроникності піщаного бетону.

Застосування модифікованого піщаного бетону запропоновано розглянути з метою усунення пошкоджень глибиною до 5,0 см («модуль пошкоджуваності бетону» – ординарний). Результати даного етапу представлені у Розділі 3.

На четвертому етапі проведено дослідження впливу модифікуючих компонентів (суперпластифікатору полікарбосилатного типу та дисперсного армування полімерною фіброю) на водопотребу бетонної суміші при рівній рухомості та комплекс показників, що забезпечує проектні значення основних фізико-механічних властивостей дрібнозернистих бетонів з крупним

заповнювачем фракції до 10 мм (з урахуванням впливу температурних режимів), а також на морозостійкість та водонепроникність бетону. Додатково проведені дослідження структури модифікованого бетону методами електронної мікроскопії та рентгенофазового аналізу.

Застосування модифікованого дрібнозернистого бетону з крупним заповнювачем фракції до 10 мм, запропоновано розглянути щодо усунення пошкоджень глибиною від 5,0 до 20,0 см («модуль пошкоджуваності бетону» – граничний). Результати даного етапу представлені у Розділі 4.

На п'ятому етапі розглянута можливість впровадження отриманих результатів в практику за основними напрямками:

- розробка «модулів пошкоджуваності бетону» при оцінюванні пошкоджуваності бетону несучих конструктивних елементів;
- використання модифікованих дрібнозернистих бетонів та розробка технологічних карт для ремонту та усуненню певних пошкоджень бетону конструктивних елементів;
- підготовка методичних рекомендації щодо виконання досліджень на адгезію.

Результати даного етапу представлені у Розділі 5.

## **2.2. Розробка залежності «категорія дефекту – склад бетону»**

Проведено комплексний аналіз результатів інженерних обстежень конструкцій морських портових гідротехнічних споруд пальового типу у портах (Одеса, Ізмаїл, Іллічівськ, Поті та ін.), виконаних за участю Здобувача [7]. Перелік паспортів, звіти та фотофіксація пошкоджень бетону обстежених споруд наведені у Додатку Д. При цьому серед досліджуваних є споруди, термін служби яких наближається до проектного або їх технічний стан оцінено як «непридатний до експлуатації» значно раніше за досягнення терміну служби, визначеного проектом [1-4,5,6].

Необхідно відзначити, що гідротехнічні споруди вказаних портів експлуатуються в регіонах з різними природно-кліматичними умовами. Так, вода Ізмаїльського порту – переважно прісна, оскільки порт розташований на

р. Дунай. Разом з тим, сейсмічна активність (8-9 балів) більша в порівнянні з умовами в порту Одеса (7-8 балів, солоність морської води 26,9г NaCl + 3,4г MgCl<sub>2</sub> + 2,5г MgSO<sub>4</sub> + 1,2г CaSO<sub>4</sub>). Мінімальна температура в порту Одеса -27 °С, тоді як порт Поті розташовано у субтропічному поясі, де сніг випадає у край рідко (8-10 днів в році), висота снігового покриву до 20см, мінімальна температура -11°С. Слід враховувати, що агресивні властивості води визначає міра її мінералізації, жорсткість, а також кислотність та лужність. Морська вода може містити до 35 мг/л солей, з них: хлористого натрію 78%, хлористого магнію 11%, сірчаноокислих магнію, кальцію і калію відповідно до 4,7; 3,6; 2,5%. Вміст солей в морях України, завдяки опрісненню річковими водами, помітно знижується: в Чорному морі – 10-18 г/л, в Азовському – 9-12 г/л [156-157].

Оцінка результатів інженерних обстежень виконана за якісними та кількісними показниками, а саме: проектних характеристик кожного конструктивного елементу (габаритні розміри, зони розташування, фізико-механічні властивості бетону тощо), а також виду, розмірів та природи походження дефектів відповідно до природно-кліматичних факторів Чорноморського регіону (табл.2.1).

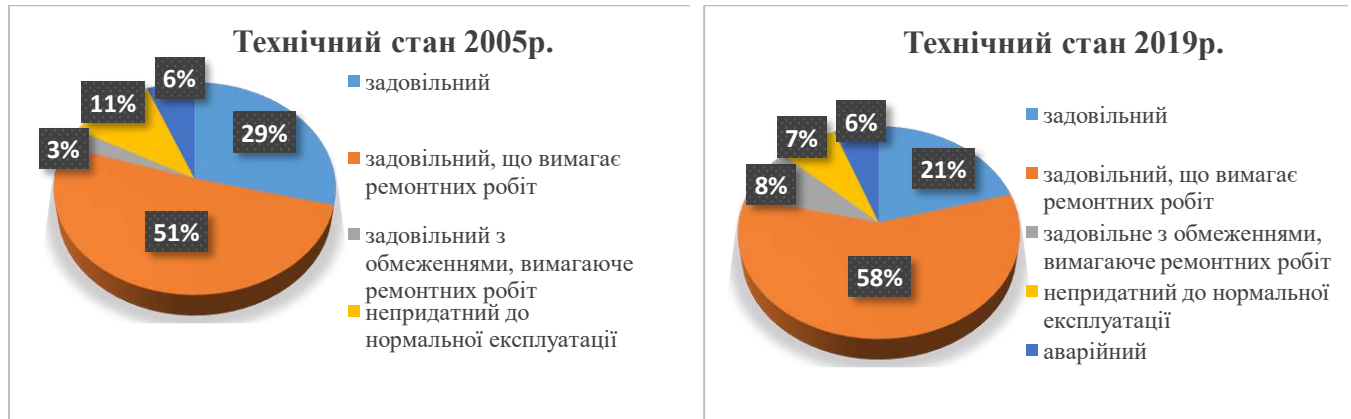
Таблиця 2.1

Перелік досліджуваних причалів пального типу  
в морських портах України (2005-2019 рр.)

Назва морського порту	Причальні споруди
Білгород-Дністровський	№8, пр.1 (з/п Бугаз)
Бердянський	№1 (діл.1), №2 (діл.2), №5 (діл.1)
Ізмаїльський	№№4, 7,8,12,13, причал портофлоту, 14
Маріупольський	№№2,3,4,14
Миколаївський	№№9,10,11,12,13,14
Одеський	№№1н, 24,25,26, 37-38 (пірс№3), 12з, 13з, 14з, 15з, 16з, 43(діл. 5), №№44,45,46,47. №№1,9,10,11(ПК0-ПК6+0,1м), №14(ПК1+5,2м-ПК28+8,6м), №18 (ПК6+8,5м-ПК16+8,5м), №20
Херсонський	№№2,34,5,6
Чорноморськ (Іллічівськ)	№№2,9,10 (діл.1,3), 11,12,14,15,16,17,18, 19,20,21,22,23
Південний (Южний)	№№1,2,3,4,39

Встановлено, що фактичний термін служби абсолютної більшості досліджуваних споруд (73%) перевищує 30 років чи наближається до граничного (50 років). Нижче приведені узагальнені дані за останні роки щодо фактичних термінів служби МПГТСЕТ в морських портах України (рис.2.2).

Разом з тим, не дивлячись на те, що обстежувані гідротехнічні споруди знаходяться у різних природно-кліматичних районах, зафіксовані дефекти бетону принципово схожі за типами, розмірами та зонами розташування.



Фактичний технічний стан причалів естакадного типу на залізобетонних палях

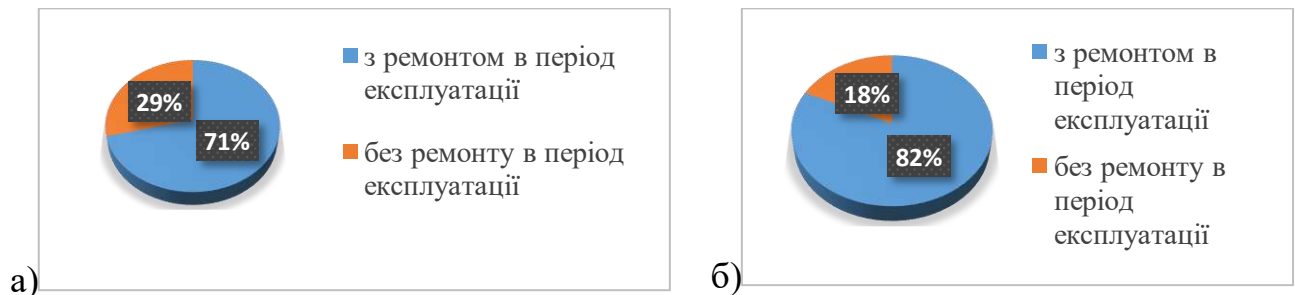


Рис. 2.2. Динаміка виконання ремонтно-відновлювальних робіт на причалах естакадного типу на залізобетонних палях: а) 2005 р.; б) 2019 р.

До того ж під час інженерних обстежень протягом останніх 40 років узагальнення та класифікація дефектів залізобетонних конструкцій морських портових гідротехнічних споруд проводилися з єдиною метою – оцінка їх технічного стану.

Виконаними дослідженнями, за результатами аналізу фактичного технічного стану бетону конструкцій морських портових гідротехнічних споруд встановлено, що ремонтні роботи в абсолютній більшості не гарантують працездатність відповідних залізобетонних конструкцій.

Таким чином, отримані результати є безумовним підтвердженням, що використані бетони (тобто без достатнього врахування специфіки умов експлуатації) не можуть гарантувати проектні значення міцності та довговічність протягом усього нормативного строку служби споруд.

На основі комплексного аналізу результатів обстеження стану бетону конструкцій морських портових гідротехнічних споруд та узагальнення зафіксованих дефектів розроблена класифікаційна модель пошкоджуваності бетону. Основні результати досліджень надані у вигляді зведених таблиць фактичного технічного стану бетону конструкцій (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Узагальнені показники пошкодження несучих конструкцій морських портових гідротехнічних споруд пального типу

Пошкоджуваність нижньої поверхні плит ростверку:			
Глибина ушкоджень бетону	до 5 см	5-20 см	більше 20 см
Кількісний показник	40%	40%	20%
Бортова балка. Зовнішні ушкодження (з боку води):			
Глибина ушкоджень бетону	до 5 см	5-15 см	більше 15 см
Кількісний показник	30%	60%	10%
Бортова балка. Місця сполучення:			
Глибина ушкоджень бетону	до 5 см	5-10 см	більше 10 см
Кількісний показник	60%	30%	10%
Призматичні палі. Зона змінного горизонту води:			
Глибина ушкоджень бетону	до 5 см	5-10 см	більше 10 см
Кількісний показник	60%	30%	10%
Призматичні палі. Вузол контакту палі з верхньою будовою:			
Глибина ушкоджень бетону	до 5 см	5-10 см	Порожнини між палею і верхньою надбудовою (10-30 см)
Кількісний показник	50%	40-45%	3-5%

*Примітка.* Вказані значення наведено за результатами комплексного аналізу результатів обстеження конструкцій морських портових гідротехнічних споруд [7].

За даними аналізу фактичного технічного стану бетону конструкцій морських портових гідротехнічних споруд найуразливішими залізобетонними конструктивними елементами є палі в змінному горизонті води, бортові балки, нижня поверхня верхньої будови і фасадна частина масивів тилового сполучення.

В результаті запропонована узагальнена кількісна класифікація характерних дефектів бетону споруд, що відрізняється більшою наочністю та практичністю у порівнянні з прийнятими нормативними показниками [5,6].

Таким чином, у доповнення до нормативних вимог [5,6], слід класифікувати пошкодження бетону конструкцій морських портових гідротехнічних споруд за глибиною (до 5,0 см, 5,0-20,0 см, більш 20,0 см). При цьому, як правило, захисний шар бетону складає до 5,0 см (відстань від «початку» робочої арматури «до води») [1-4]. Приймаючи це до уваги, введено поняття «модулів пошкоджуваності бетону» з кількісними показниками в залежності від глибини пошкодження бетону захисного шару (табл.2.3). Рекомендовано наступну градацію пошкодженості конструкцій:

- при глибині пошкоджень до 5,0 см (ординарний модуль);
- при глибині пошкоджень 5,0-20,0 см (граничний модуль);
- при глибині пошкоджень більше 20,0 см (критичний модуль).

Таблиця 2.3

## Класифікація «модулів пошкоджуваності бетону»

Основні види технічного стану споруди	Дефекти та ступень пошкодження бетону	Глибина пошкодження, $h_f$ , см	Модуль пошкоджуваності бетону	Умовний коефіцієнту збереження захисного шару, $K_{зш}$ (2.1)
Задовільне	Малозначні	до 5,0	Ординарний	$\leq 1$
Задовільне з обмеженнями	Малозначні	до 5,0	Ординарний	$\leq 1$
	Значні	5-20,0	Граничний	1-4
Непридатне	Значні	5-20,0	Граничний	1-4
Аварійне	Критичні	> 20,0	Критичний	>4

*Примітка. Читати разом з таблицею 2.2.*



Крім того, ступень пошкодженості захисного шару бетону для наочності може визначатися за допомогою умовного коефіцієнту збереження захисного шару ( $K_{зш}$ ) – відношення фактичної глибини пошкодження бетону до проектної товщини захисного шару (формула 2.1):

$$K_{зш} = \frac{h_f}{h_{зш}}, \quad (2.1.)$$

де:  $h_f$  – фактична глибина пошкодження бетону, см;

$h_{зш}$  – проектна товщина захисного шару бетону, см (для конструкцій морських портових гідротехнічних споруд пальового типу  $h_{зш}=5,0$ см)

Таким чином, з урахуванням фактичних пошкоджень бетону конструкцій морських портових гідротехнічних споруд пальового типу [92], умовний коефіцієнт збереження захисного шару  $K_{зш}$  може знаходитись в межах:

$K_{зш} \leq 1$  – ординарний модуль,

$K_{зш} = 1-4$  – граничний модуль,

$K_{зш} > 4$  – критичний модуль.

При визначенні фактичного технічного стану конструкцій слід мати на увазі:

- пошкодження за ординарним модулем впливають на довговічність конструкцій;

- за граничним – на довговічність та несучу здатність;

- за критичним – свідчать про те, що конструкція не ремонтпридатна, тобто потрібна повна заміна (підсилення/реконструкція).

За результатами натурних обстежень значної кількості конструкцій морських портових гідротехнічних споруд, що експлуатуються у Чорноморсько-Азовському та Дунайському регіонах, запропоновані вимоги до основних якісних параметрів дрібнозернистого бетону в ув'язці з розробленими модулями його пошкоджуваності (табл.2.4).

Параметри 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, МПа	>40	30-40
Міцність на розтяг при згині, МПа	≥9	6-9
Морозостійкість, цикли	≥300	200-300
Водонепроникність, МПа·10 <sup>-1</sup>	≥8	6-8
Стійкість до стирання, г/см <sup>2</sup>	<0,3	0,3-0,4

Для подальшого дослідження запропоновано диференційовано розглянути технологічні засоби модифікації бетону:

- піщаного з крупністю заповнювача до 5 мм – введення добавки суперпластифікатору нафталін-формальдегідного типу, добавки протиморозної дії, мінерального наповнювача та дисперсного армування;

- дрібнозернистого з крупністю заповнювача фракції до 10 мм – дисперсне армування та добавка комплексної дії, що включає суперпластифікатор, а також прискорювач твердіння, що виконує одночасно і протиморозну дію.

### **2.3. Характеристики компонентів, що використовувалися для досліджень властивостей модифікованого дрібнозернистого бетону**

При проведенні експериментальних лабораторних досліджень модифікованих піщаних бетонів з заповнювачем фракції до 5 мм використані такі компоненти:

1) Сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400-Д0 виробництва Івано-Франківського цементного заводу ПАТ «Івано-Франківськцемент». Хіміко-мінералогічний склад клінкеру цього цементу приведений в таблиці 2.5. Питома поверхня цементу 3340см<sup>2</sup>/г.

Застосування сульфатостійких цементів пов'язане з необхідністю забезпечення довговічності бетонів в умовах сульфатної корозії [78,79].

Хімічний і мінералогічний склад клінкеру сульфатостійкого цементу ССПЦ  
400-Д0 виробництва Івано-Франківського цементного заводу

Хімічний склад		Мінералогічний склад	
ВПП, %	0,50	C <sub>3</sub> S, %	49,40
SiO <sub>2</sub> , %	23,58	C <sub>3</sub> A, %	4,82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	4,50	C <sub>2</sub> S, %	30,55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	4,20	C <sub>4</sub> AF, %	15,20
CaO, %	64,00		
MgO, %	0,69		
SO <sub>3</sub> , %	1,13		
K <sub>2</sub> O, %	1,07		
Na <sub>2</sub> O, %	0,11		
Cl, %	0,01		
Сума, %	99,79	Сума, %	99,97

2) Пісок Нікітського кар'єру (Вознесенський район Миколаївської області) з модулем крупності 2.5. Насипна густина піску 1412 кг/м<sup>3</sup>. Витрата становила 716-723 кг/м<sup>3</sup>. Зерновий склад піску наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Зерновий склад піску Нікітського кар'єру

Показники	Розмір отворів сит, мм					Прохід крізь сито 0.16
	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	
Маса залишку, г	280	565	1180	1500	356	119
Залишки на ситах:						
часткові, %	7,0	14,13	29,5	37,5	8,9	2,97
повні, %	7,0	21,1	50,63	88,13	97,03	-

3) Мікрокремнезем Нікопольського заводу феросплавів. Ультрадисперсний матеріал, що складається з часток сферичної форми, який отримується в процесі газоочищення печей при виробництві кремнійвмісних сплавів. Основний компонент – діоксид кремнію аморфної модифікації. Розмір часток мікрокремнезему менше 1 мкм, питома поверхня від 13000 до 30000 м<sup>2</sup>/кг. Густина мікрокремнезему в неущільненому стані від 130 до 350 кг/м<sup>3</sup>, в

ушільненому – від 480 до 720 кг/м<sup>3</sup>, густина водної суспензії від 1320 до 1440 кг/м<sup>3</sup>. Хімічний склад мікрокремнезему наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

## Хімічний склад мікрокремнезему

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	C	S
90-92%	0,68%	0,69%	0,85%	1,01%	0,61%	1,23%	0,98%	0,26%

4) Добавка нітрат кальцію технічний. Згідно [150] вона відноситься до добавок, що прискорюють твердіння і до протиморозних добавок. Застосовували 4-водний азотнокислий кальцій, CaO – 23,8%, N – 12,0%, хімічна формула: Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O. Складається з безбарвних кристалів, що розчиняються у воді.

5) Поліпропіленова фібра Ваuson [152,153] виробництва Ваutech (Польща). Діаметр волокон фібри – 19 мкм, довжина – 12 мм. Густина волокон 900 кг/м<sup>3</sup>, міцність при розтягуванні 350 Н/мм<sup>2</sup>, модуль пружності 3500 Н/мм<sup>2</sup>, температура деформації 145 °С (додатково див. Розділ 1, п.1.2).

б) Суперпластифікатор С-3 (СП-1) [158] виробництва ТОВ «Поліпласт», м. Новомосковськ. Застосувався у порошкоподібному вигляді з таким складом:

сульфіровані поліконденсати – до 82-84%;

натрієвий сульфат – 8-10%;

волога, загальний об'єм не більше 10%.

При проведенні експериментальних лабораторних досліджень модифікованих дрібнозернистих бетонів з крупним заповнювачем – гранітним щебнем фракції 5-10мм були використані сульфатостійкий портландцемент, пісок та поліпропіленова фібра, аналогічно застосованим в дослідженнях модифікованих дрібнозернистих бетонів без крупного заповнювача. Крім того застосовувалися:

1) гранітний щебінь фракції 5-10мм з основними технічними параметрами, наведеними у таблиці 2.8.

## Технічна характеристика гранітного щебню фракції 5-10мм

Показник якості	Значення
Насипна густина, кг/м <sup>3</sup>	1380-1420
Вміст зерен пластинчастої та голчатої форми, %	11-14
Марка за міцністю	1000
Вміст пиловидних та глинистих домішок, %	0,70-0,80
Марка за морозостійкістю	400

2) комплексна добавка Coral ExpertFix12. Добавка Coral ExpertFix12 відноситься до добавок комплексної дії і включає суперпластифікатор полікарбосилатного типу та прискорювач твердіння. Виробляється на основі полімерів карбонових кислот та ефірів згідно [146] компанією Coral у м. Запоріжжя (див. Розділ 1, п.1.2.) [146,148].

3) поліпропіленова фібра Ваусон, аналогічна описаній вище.

Для приготування сумішей використовувалася вода, яка відповідає вимогам [159].

#### **2.4. Методика проведення досліджень властивостей модифікованих бетонів**

Лабораторні експериментальні дослідження виконувались у спеціалізованій лабораторії ОДАБА згідно діючих нормативних документів.

Для перемішування дрібнозернистої бетонної суміші використовувався гравітаційний бетонозмішувач [160,161]. Фібра вводилася у бетонозмішувач після подання в нього піску, але до введення цементу, води та добавок. Після цього суміш перемішувалась впродовж 5 хвилин для рівномірного розподілу волокон фібри. Далі в змішувач вводився цемент, після чого суміш перемішується ще 2 хвилини. Після цього додавалась вода з розчиненою добавкою. Суміш перемішувалась додатково близько 3 хвилин до досягнення гомогенізації. Таким чином, загальний час змішування складав близько 10 хвилин.

При проведенні першої серії досліджень:

- твердіння досліджуваних зразків-кубів за умовами експерименту при від'ємній температурі  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  проходило в лабораторному холодильнику;

- твердіння контрольних бетонних зразків проходило в нормальних умовах при температурі  $20 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $100\%$  вологості.

При проведенні другої серії досліджень:

- твердіння досліджуваних зразків-кубів проходило в двох лабораторних холодильниках (температура  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  відповідно) та лабораторній морозильній камері (температура  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ );

- твердіння контрольних бетонних зразків в нормальних умовах при температурі  $20 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $100\%$  вологості.

Міцність піщаного і дрібнозернистого бетону на стиск у першій та другій серіях досліджень визначалось на зразках-кубах з ребром  $7,07\text{ см}$ . Міцність зразків на розтяг при згині визначалась на зразках-балочках розміром  $4 \times 4 \times 16\text{ см}$  [162].

Морозостійкість піщаного і дрібнозернистого бетону визначалась згідно [163] на зразках-кубах з ребром  $7,07\text{ см}$ , в солоній воді при заморожуванні до  $-50 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (третій метод) [115]. Водонепроникність дрібнозернистих бетонів визначалось за методом «мокрої плями» на зразках-циліндрах товщиною  $15\text{ см}$ , діаметром  $15\text{ см}$  відповідно до [164].

Стійкість до стирання (зносостійкість) бетону визначалась на зразках-кубах на лабораторному кругу стирання ЛКІ-3, згідно [165].

Мікроскопічний аналіз структури бетонів на пористих заповнювачах проводився за допомогою металографічного оптичного мікроскопа Sigeta MM-700 в режимі кольорового зображення. Фотозйомка проводилася при збільшеннях  $\times 50$ ,  $\times 100$  і  $\times 500$  спеціальною цифровою камерою.

Також проводився аналіз структури на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106И, в режимі вторинних електронів. Для досліджень від кожного з зразків бетону були отримані фрагменти з досліджуваної поверхні зламу приблизно  $1\text{ см}^2$ . Зразки закріплювалися на двосторонній струмопровідній скоч  $3\text{ м}$  та далі на них наносилося спеціальне напилення, яке являє собою шар завтовшки приблизно  $10\text{ нм}$  і сприяє стіканню зарядів з непровідних для струму

зразків. Дослідження проводилися в режимі вторинних електронів. Сила струму електронної гармати складала 85..100 мА, напруження 220 В з чотирикратною розгорткою, вакуум всередині камери об'єктів не більше  $5 \times 10^{-4}$  мм рт.ст [166].

Рентгенофазовий аналіз проводився на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-2. Ідентифікацію сполук (фаз) проводили шляхом порівняння міжплощинних відстаней і відносних інтенсивностей на рентгенограмах з довідковими даними [167,168].

При розробці методологічної бази щодо проведення експериментальних досліджень за основу взята теорія планового експерименту [120-126]. За допомогою методів математичного планування експериментів побудований комплекс експериментально-статистичних моделей досліджуваних параметрів, виконано їх статистичних аналіз. В результаті технологічного аналізу моделей отримані необхідні розрахункові залежності і висновки.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Відповідно до гіпотези дослідження запропоновано систему параметрів якості бетону в досліджених конструкціях з урахуванням фактичного ступеню його пошкодженості. Обґрунтовано можливість управління параметрами якості бетону з прогнозованим рівнем його довговічності шляхом модифікування з застосуванням комплексу ефективних компонентів та оптимізацією складів бетонних сумішей. Розроблена залежність «категорія дефекту – склад бетону» з наступним визначенням «модулів пошкоджуваності бетонів», що відрізняються кількісними показниками пошкоджуваності захисного шару.

2. Введені поняття ординарного, граничного і критичного «модулів пошкоджуваності бетону» та умовних коефіцієнтів збереження захисного шару, дано їх відповідне технічне тлумачення та рекомендації щодо подальших досліджень модифікованого бетону та підбору його оптимальних складів.

3. Визначена методологічна база проведення комплексних досліджень впливу основних технологічних факторів на фізико-механічні властивості

модифікованих піщаних (дрібнозернистих з заповнювачем фракції до 5 мм) та дрібнозернистих з заповнювачем фракції до 10 мм бетонів.

4. Обрано ефективні вихідні матеріали та компоненти для проведення лабораторних випробувань фізико-механічних властивостей піщаних та дрібнозернистих бетонів відповідно плану дослідження.

5. Описано методику проведення лабораторних досліджень властивостей та структури бетонів.



### РОЗДІЛ 3. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МОДИФІКОВАНОГО ПІЩАНОГО БЕТОНУ

Як зазначалося вище, на 3-му етапі було досліджено вплив факторів складу модифікованого піщаного (дрібнозернистого з заповнювачем фракції до 5 мм) бетону на В/Ц бетонної суміші та основні фізико-механічні властивості бетону, а саме міцність при стиску та міцність на розтяг при згині з урахуванням умов низьких температур твердіння, а також морозостійкість, водонепроникність та стійкість до стирання.

Застосування складу модифікованого піщаного бетону, який буде отримано за результатами випробувань, пропонується розглянути для усунення пошкоджень захисного шару бетону по відношенню до арматури глибиною до 5 см («модуль пошкоджуваності бетону» – ординарний).

Рішення щодо використання піщаного бетону для відновлення пошкоджень бетону на глибину руйнування його захисного шару прийнято на основі досвіду дослідницьких робіт під керівництвом проф. А.В. Мішутіна [52-58], а також на підставі огляду літературних джерел [169]. При незначній глибині дефекту використання бетону з заповнювачем більшого розміру не технологічно. Також відомо, що збільшення крупності заповнювача у більшості випадків призводить до зниження міцності бетону на розтяг при згині. Крім того, введення заповнювача більшої фракції сприяє розшаруванню бетонної суміші при її транспортуванні та укладанні, прискорює знос бетонозмішувачів, ускладнює процес ущільнення та збільшує неоднорідність бетонної суміші, що призводить до збільшення концентрації напружень та, як наслідок, знижує тріщиностійкість матеріалу. В свою чергу зниження розмірів заповнювача з метою збільшення міцності бетону при стиску найбільш ефективно для бетонів високих класів при низьких значеннях В/Ц.

Проведений аналіз результатів інженерних обстежень технічного стану бетону морських портових гідротехнічних споруд показав, що захисний шар бетону руйнується по відношенню до арматури безпосередньо у розтягнутій зоні конструкцій (зокрема, нижня поверхня плит верхньої надбудови споруди

пального типу). Тому вважаємо доцільним дослідження саме піщаного (дрібнозернистого з заповнювачем фракції до 5 мм) бетону в якості відновлюючого матеріалу пошкоджень зазначеної глибини. Також згідно до критеріїв залежності «категорія дефекту – склад бетону» обрано відповідні модифікатори для розробки складів піщаних (дрібнозернистих) бетонів з поліпшеними фізико-механічними властивостями.

В якості модифікаторів прийняті: мікрокремнезем конденсований (МК) та протиморозна добавка нітрат кальцію (НК). Пластифікуючий компонент – суперпластифікатор нафталін-формальдегідного типу С-3 у кількості 0,8% від маси цементу (для всіх досліджуваних складів). Для умов експерименту прийнято однакову рухомість бетонної суміші (занурення конусу 4...6 см). Така рухомість забезпечує необхідну технологічність при усуненні пошкоджень конструкцій портових гідротехнічних споруд глибиною до 5 см. Обрані компоненти відповідають вимогам нормативних документів в галузі випробувань бетонів та будівельних розчинів, а також дозволені до використання у морському портовому гідротехнічному будівництві [170,171].

Лабораторний експеримент проведено у відповідності до оптимального 4-х факторного плану (таблиці 3.1 і 3.2).

Таблиця 3.1

## Умови планування експериментів

Фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральні	Кодовані	-1	0	+1	
Співвідношення між цементом і піском (Ц:П)	X <sub>1</sub>	1:2	1:3	1:4	1:1
Вміст добавки нітрату кальцію (НК), %	X <sub>2</sub>	0	1,5	3,0	1,5
Кількість активної мінеральн. добавки (МК), %	X <sub>3</sub>	0	3,5	7,0	3,5
Вміст поліпропіленової фібри «Ваусон», кг/м <sup>3</sup>	X <sub>4</sub>	0	0,6	1,2	0,6

Фізико-механічні властивості піщаного бетону визначалися у 18 контрольних точках, в яких варіювалися фактори складу в діапазоні, визначеному умовами планування експерименту (табл. 3.1).

Склади досліджуваного модифікованого піщаного бетону та витрати компонентів наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

## Склади досліджуваного модифікованого піщаного бетону

№	Склади бетону						
	X <sub>1</sub> Ц:П	X <sub>1</sub> Ц:П, кг/м <sup>3</sup>	X <sub>2</sub> НК		X <sub>3</sub> МК		X <sub>4</sub> Фібра (кг/м <sup>3</sup> )
			%	кг/м <sup>3</sup>	%	кг/м <sup>3</sup>	
1	1:3	512/1538	1,5	7,9	3,5	18,4	0,6
2	1:2	683/1367	0	0,0	7	49,0	0
3	1:2	683/1367	3	21,0	0	0,0	1,2
4	1:4	420/1680	0	0,0	0	0,0	1,2
5	1:4	420/1680	3	12,6	7	29,4	1,2
6	1:4	420/1680	3	12,6	0	0,0	0
7	1:3	512/1538	3	15,8	7	36,8	0
8	1:3	512/1538	0	0,0	0	0,0	0
9	1:3	512/1538	0	0,0	7	36,8	1,2
10	1:4	420/1680	1,5	6,3	7	29,4	0
11	1:2	683/1367	1,5	10,5	0	0,0	0
12	1:2	683/1367	1,5	10,5	7	49,0	1,2
13	1:4	420/1680	0	0,0	3,5	14,7	0
14	1:2	683/1367	3	21,0	3,5	24,5	0
15	1:2	683/1368	0	0,0	3,5	24,5	1,2
16	1:4	420/1680	0	0,0	7	29,4	0,6
17	1:2	683/1367	3	21,0	7	49,0	0,6
18	1:2	683/1367	0	0,0	0	0,0	0,6

Примітка. Мінімальна витрата цементу – 420 кг/м<sup>3</sup>, максимальна – 683 кг/м<sup>3</sup>.

Діапазон варіювання факторів обрано з урахуванням можливих реальних складів дрібнозернистого (піщаного) бетону при введенні до його складу прийнятих в дослідженнях модифікуючих добавок на основі результатів попередніх пошукових експериментів.

### 3.1. Вплив факторів складу на водоцементне відношення піщаної бетонної суміші (В/Ц)

Водоцементне відношення бетонної суміші – основний фактор його складу, з яким пов'язані основні фізико-механічні властивості. Як відомо, при визначеному значенні необхідного В/Ц та оптимальному для заданих умов вмісту добавок НК, МК і поліпропіленової фібри можна знайти співвідношення та витрати цементу і піску [62,172]. Витрата води знаходиться з урахуванням необхідної легкоукладальності, виду і дозування суперпластифікатору [43,48,90].

Результати визначених в експериментальних дослідженнях значень водопотреби та В/Ц піщаного бетону показані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

#### Водопотреба та В/Ц досліджених піщаних бетонів

№	Склади бетону				Водо- потреба, л/м <sup>3</sup>	В/Ц
	X <sub>1</sub> Ц:П	X <sub>2</sub> НК, кг/м <sup>3</sup>	X <sub>3</sub> МК, кг/м <sup>3</sup>	X <sub>4</sub> фібра, кг/м <sup>3</sup>		
1	1:3	7,9	18,4	0,6	195	0,38
2	1:2	0,0	49,0	0	226	0,33
3	1:2	21,0	0,0	1,2	197	0,29
4	1:4	0,0	0,0	1,2	150	0,36
5	1:4	12,6	29,4	1,2	169	0,40
6	1:4	12,6	0,0	0	142	0,34
7	1:3	15,8	36,8	0	186	0,36
8	1:3	0,0	0,0	0	166	0,32
9	1:3	0,0	36,8	1,2	199	0,39
10	1:4	6,3	29,4	0	149	0,36
11	1:2	10,5	0,0	0	200	0,29
12	1:2	10,5	49,0	1,2	259	0,38
13	1:4	0,0	14,7	0	137	0,33
14	1:2	21,0	24,5	0	208	0,30
15	1:2	0,0	24,5	1,2	227	0,33
16	1:4	0,0	29,4	0,6	152	0,36
17	1:2	21,0	49,0	0,6	247	0,36
18	1:2	0,0	0,0	0,6	208	0,30

Примітка. Мінімальна витрата цементу – 420кг/м<sup>3</sup>, максимальна – 683кг/м<sup>3</sup>.

За результатами визначення В/Ц бетонної суміші побудована відповідна адекватна експериментально-статистична (ЕС) модель (3.1) впливу факторів складу:

$$\begin{aligned} \text{В/Ц} = & 0.381 + 0.019x_1 - 0.019 x_1^2 + 0.006 x_1x_2 - 0.011x_1x_3 + 0.004 x_1x_4 \\ & + 0.004 x_2 - 0.014 x_2^2 + 0.004 x_2x_3 \pm 0 x_2x_4 \\ & + 0.02 x_3 \pm 0 x_3^2 + 0.004 x_3x_4 \\ & + 0.016 x_4 - 0.011x_4^2 \end{aligned} \quad (3.1)$$

За ЕС-моделлю (3.1) побудовані показані на рис.3.1 і рис.3.2 діаграми.

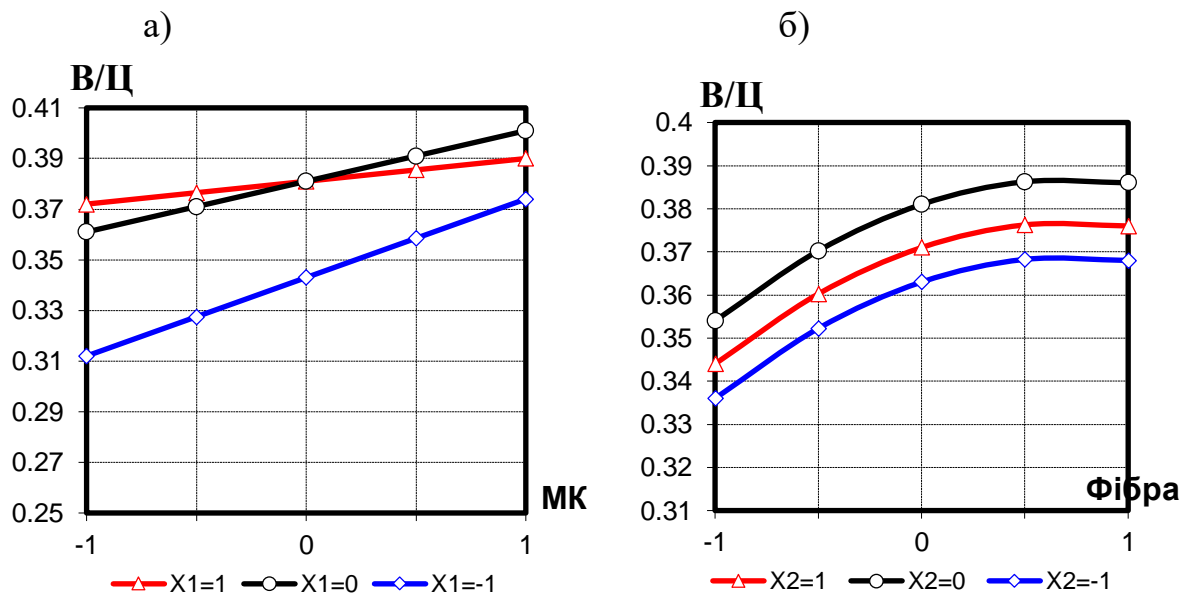
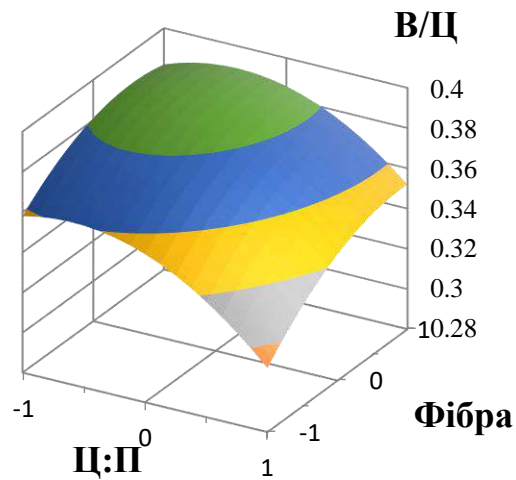


Рис.3.1. Вплив технологічних факторів на В/Ц модифікованого піщаного бетону: а) залежно від  $X_3$  ( $X_2=0$ ,  $X_4=0$ ); б) залежно від  $X_4$  ( $X_1=0$ ,  $X_3=0$ )

Аналіз моделі (3.1) та рис.3.1 і 3.2 дозволяє стверджувати, що, при забезпеченні постійної рухомості піщаної бетонної суміші, на В/Ц найбільш суттєво впливає масове співвідношення цементу і піску. При його збільшенні і відповідно збільшенні піску В/Ц зростає. При постійній витраті цементу збільшення вмісту піску також призводить до збільшення В/Ц, але значно в меншій мірі. Збільшення водопотреби і відповідне збільшення В/Ц спостерігається також 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. Вплив добавки нітрату кальцію на водопотребу бетонної суміші і В/Ц виявився очікувано незначним. Отже найменше значення В/Ц (0,29...0,32) спостерігається при співвідношенні цементу та піску 1:2.

а)



б)

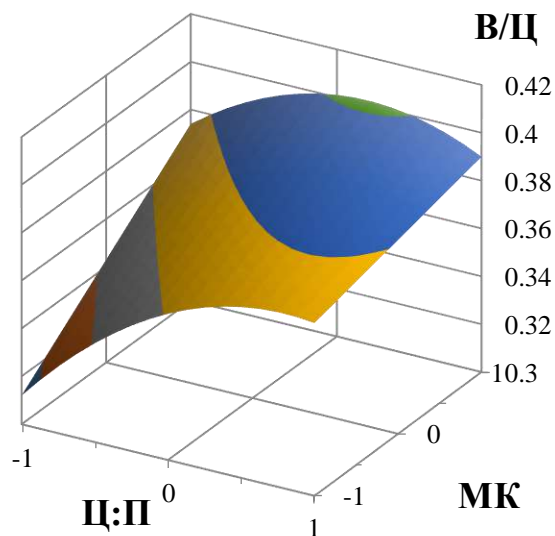


Рис. 3.2. Вплив досліджуваних факторів на В/Ц модифікованого піщаного бетону при постійній рухомості суміші: а) В/Ц бетону залежно від  $X_1$  і  $X_4$  ( $X_2=0$ ,  $X_3=0$ ); б) В/Ц бетону залежно від  $X_1$  і  $X_3$  ( $X_2=0$ ,  $X_4=0$ )

## 3.2. Вплив варійованих факторів на міцність при стиску модифікованого піщаного бетону

### 3.2.1. Міцність при стиску бетону у віці 3 дів за нормальних умов твердіння

Практичний інтерес представляють дослідження міцності модифікованого піщаного бетону при стиску у віці 3 дів («рання» міцність), зокрема за умов твердіння у нормальних умовах. Рання міцність в значній мірі визначає технологічність проведення ремонтно-відновлювальних робіт [173]. Основні експериментальні результати щодо впливу варійованих факторів на міцність при стиску модифікованого піщаного бетону наведені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Міцність при стиску модифікованого піщаного бетону у віці 3 і 28 дів при твердінні за нормальних умов та при  $t = -5^{\circ}\text{C}$

№	Склади бетону				$f_{\text{cm.cub.3}}$	$f_{\text{cm.cub.3}}$	$f_{\text{cm.cub.28}}$	$f_{\text{cm.cub.28}}$
	$X_1$ Ц:П	$X_2$ НК, кг/м <sup>3</sup>	$X_3$ МК, кг/м <sup>3</sup>	$X_4$ фібра, кг/м <sup>3</sup>	(МПа) 3 доба за н/у	(МПа) 3 доба при $-5^{\circ}$	(МПа) 28 доба за н/у	(МПа) 28 доба при $-5^{\circ}$
1	1:3	10,2	23,8	0,6	41,62	38,23	48,83	44,85
2	1:2	0	54,6	0	51,88	43,76	56,08	47,30
3	1:2	23,4	0	1,2	53,42	45,54	58,77	52,01
4	1:4	0	0	1,2	42,07	35,15	49,42	41,29
5	1:4	17,4	40,6	1,2	43,08	38,04	48,96	42,23
6	1:4	17,4	0	0	35,85	33,08	40,92	37,76
7	1:3	20,4	47,6	0	37,00	35,39	44,88	41,12
8	1:3	0	0	0	39,40	38,92	45,03	44,48
9	1:4	0	47,6	1,2	43,65	35,69	51,11	42,15
10	1:2	8,7	40,6	0	34,76	32,38	41,96	39,08
11	1:2	11,7	0	0	53,92	39,27	55,38	42,34

№	Склади бетону				$f_{cm.cub.3}$	$f_{cm.cub.3}$	$f_{cm.cub.28}$	$f_{cm.cub.28}$
	$X_1$ Ц:П	$X_2$ НК, кг/м <sup>3</sup>	$X_3$ МК, кг/м <sup>3</sup>	$X_4$ фібра, кг/м <sup>3</sup>	(МПа) 3 доба за н/у	(МПа) 3 доба при -5°	(МПа) 28 доба за н/у	(МПа) 28 доба при -5°
12	1:4	11,7	54,6	1,2	56,54	44,31	58,37	49,75
13	1:2	0	20,3	0	42,84	39,00	46,76	43,36
14	1:2	23,4	27,3	0	47,62	42,92	52,18	47,03
15	1:2	0	27,3	1,2	54,08	44,38	58,87	48,32
16	1:4	0	40,6	0,6	34,66	33,08	45,30	38,23
17	1:2	23,4	54,6	0,6	55,12	44,15	57,14	47,77
18	1:2	0	0	0,6	52,79	42,92	52,53	42,71

Сумісний вплив співвідношення цементу та піску, кількості добавки нітрату кальцію, мінерального наповнювача мікрокремнезему та дисперсного армування поліпропіленовою фіброю Ваусон на міцність при стиску піщаного (дрібнозернистого) бетону у віці 3 діб за нормальних умов твердіння описує відповідна ЕС-модель (3.2):

$$\begin{aligned}
 f_{cm.cub.3} \text{ (МПа)} = & 41.91 - 7.22x_1 + 4,96 x_1^2 \pm 0 x_1x_2 - 0.97 x_1x_3 \pm 0x_1x_4 \\
 & \pm 0 x_2 - 1.22x_2^2 + 1.03x_2x_3 + 1.41x_2x_4 \\
 & \pm 0 x_3 \pm 0x_3^2 + 2.62 x_3x_4 \\
 & + 2.55x_4 \pm 0x_4^2
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

За даною ЕС-моделлю були побудовані показані на рис.3.3-3.5 діаграми. Аналіз ЕС-моделі (3.2) та рис.3.3 показує наступний розподіл факторів за ступенем впливу: співвідношення цемент/пісок, кількість добавки нітрату кальцію, мікрокремнезему та фібри. Діаграма відносного впливу факторів на 3-добову міцність при стиску модифікованого піщаного бетону побудована за коефіцієнтом ефективності  $K_e$ , який знаходиться з моделі як відношення коефіцієнтів при відповідному факторі до вільного члена рівняння.



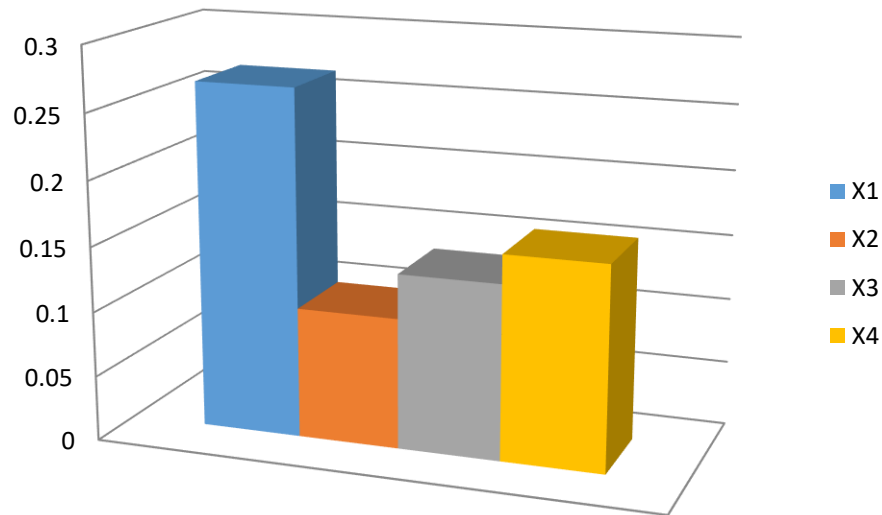
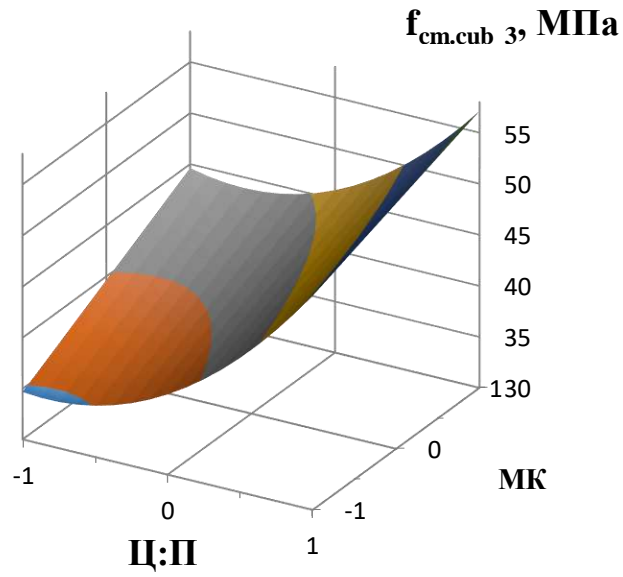


Рис. 3.3. Діаграма відносного впливу факторів на міцність при стиску модифікованого піщаного бетону через 3 доби нормального твердіння

Отриману послідовність впливу досліджених факторів на ранню міцність бетону можна вважати достатньо прогнозованою. Вирішальне значення цементно-піщаного відношення обумовлено однозначним зв'язком цього параметру при постійній рухомості суміші з водоцементним відношенням. На перший план виступає також вплив добавки нітрату кальцію як прискорювача твердіння. Через 3 доби проявляється також позитивний вплив мікрокремнезему (рис.3.4-3.5). Це можна пояснити його взаємодією з гідроксидом кальцію, який виділяється при гідролізі основного клінкерного мінералу аліту. Про це опосередковано свідчить і коефіцієнт взаємодії факторів  $X_2$  та  $X_3$  в моделі (3.2). Чим більший вміст прискорювача твердіння в бетонній суміші, тим сильніший ефект активного мінерального наповнювача – мікрокремнезему. Вплив поліпропіленової фібри на ранню міцність бетону при стиску є незначним.

Найбільшої міцності бетону при стиску 40-50МПа у віці 3 діб за нормальних умов твердіння модифікованого піщаного бетону досягнуто при витратах цементу 600..680кг/м<sup>3</sup>, поліпропіленової фібри 0,6..1,2 кг/м<sup>3</sup>, добавки нітрату кальцію 17,4..20,4кг/м<sup>3</sup> та мікрокремнезему 45..54 кг/м<sup>3</sup>. Отримані значення міцності модифікованого піщаного бетону при стиску є цілком достатніми для подальшого зняття опалубки при проведенні будівельних робіт.

а)



б)

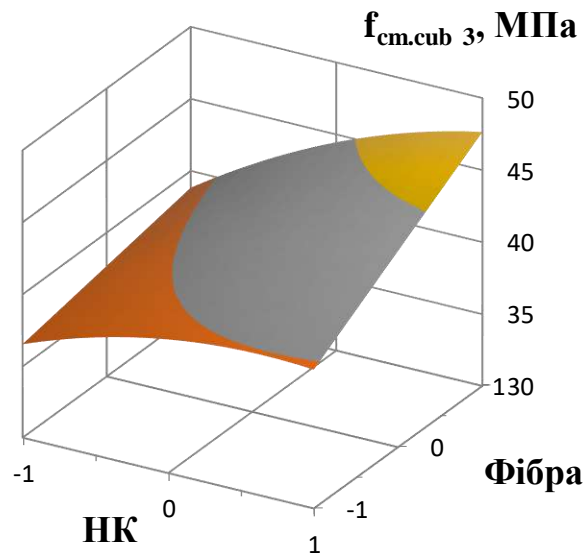


Рис.3.4. Міцність при стиску модифікованого піщаного бетону через 3 доби нормального твердіння: а) в залежності від  $X_1$  і  $X_3$  ( $X_2=0$ ,  $X_4=0$ ); б) в залежності від  $X_2$  і  $X_4$  ( $X_1=0$ ,  $X_3=0$ )

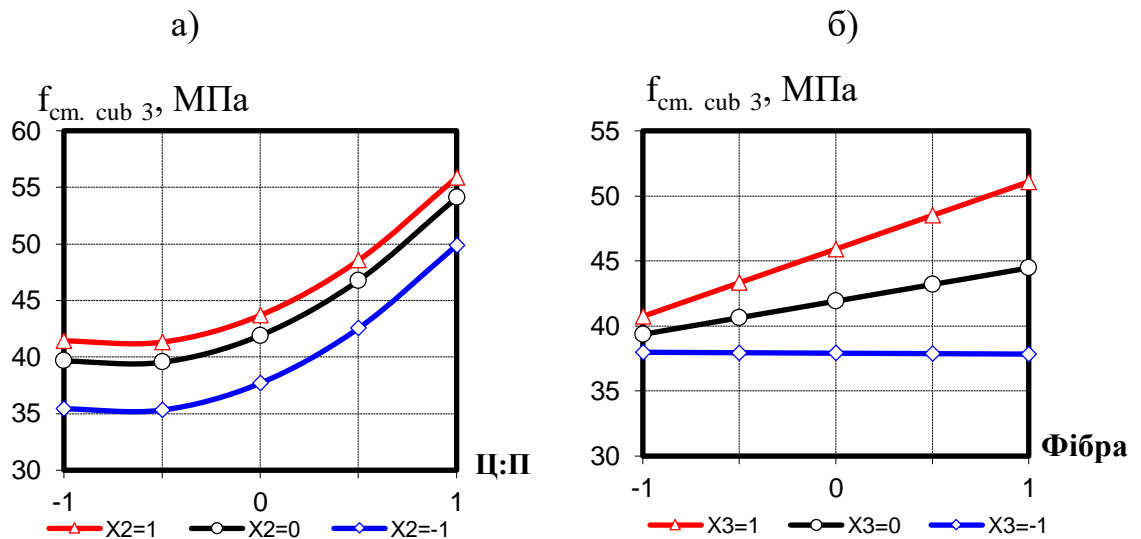


Рис.3.5. Вплив окремих технологічних факторів на міцність при стиску модифікованого піщаного бетону через 3 доби нормального твердіння: а) залежно від  $X_1$  ( $X_3=0$ ,  $X_4=0$ ); б) залежно від  $X_4$  ( $X_1=0$ ,  $X_3=0$ )

### 3.2.2. Міцність при стиску бетону у віці 3 діб при твердінні при $t = -5^\circ\text{C}$

Будівельні та ремонтно-відновлювальні роботи конструкцій морських портових гідротехнічних споруд виконуються як при плюсових, так і при знакозмінних температурах оточуючого середовища. Практичний інтерес дослідження міцності бетону при стиску у віці 3 діб («рання» міцність), за умов твердіння при температурі  $-5^\circ\text{C}$ , полягає в прискоренні робіт з опалубкою, скороченні загального строку проведення будівельних робіт на об'єкті та запобіганні руйнівній дії низьких температур на свіжовкладений бетон.

Сумісний вплив співвідношення цемент:пісок, кількості добавки нітрату кальцію, мінерального наповнювача мікрокремнезему та дисперсного армування поліпропіленовою фіброю на міцність піщаного бетону при стиску описує ЕС-модель (3.3):

$$\begin{aligned}
 f_{cm, cub 3} \text{ (МПа)} = & 36.19 - 3.98x_1 + 1.71 x_1^2 \pm 0 x_1x_2 - 0.80 x_1x_3 - 0.38 x_1x_4 \\
 & + 0.26 x_2 \pm 0 x_2^2 + 0.65 x_2x_3 + 2.03 x_2x_4 \\
 & \pm 0 x_3 - 2.49 x_3^2 \pm 0 x_3x_4 \\
 & + 1.01 x_4 + 0.40 x_4^2
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

На рис. 3.6. представлено відповідні графічні залежності впливу факторів складу на міцність при стиску піщаного бетону за умов його твердіння при температурі  $-5^{\circ}\text{C}$ , побудовані за ЕС-моделлю (3.3).

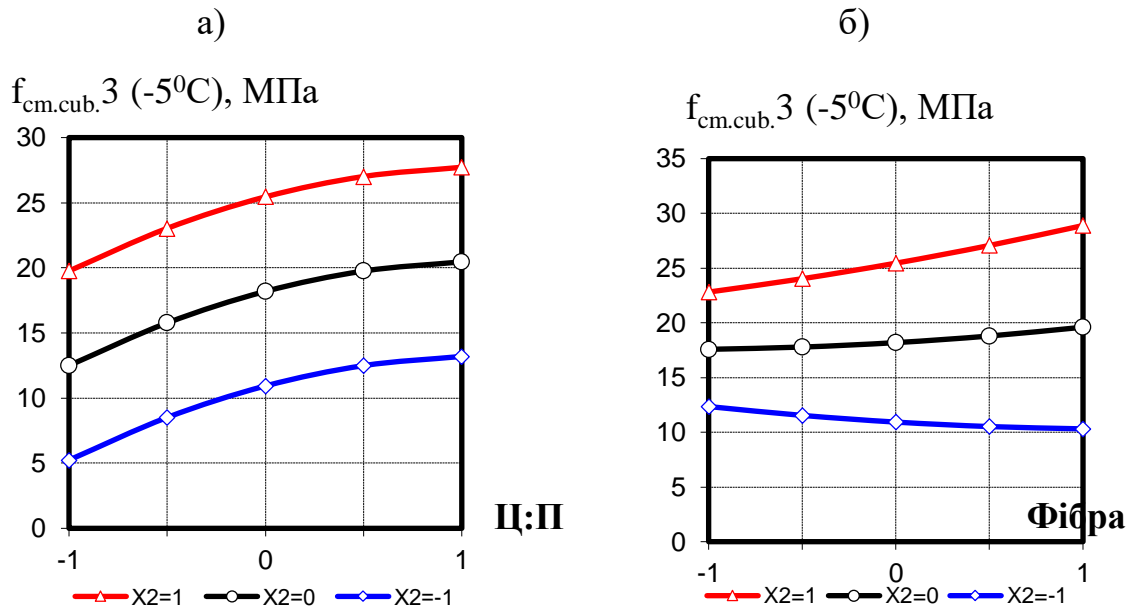


Рис.3.6. Вплив досліджених факторів на міцність піщаного бетону при стиску у віці 3 діб при твердінні за температури  $-5^{\circ}\text{C}$ : а) залежно від  $X_1$  ( $X_3=0$ ,  $X_4=0$ ); б) залежно від  $X_4$  ( $X_1=0$ ,  $X_3=0$ )

Аналіз отриманої моделі (3.3) та її наведених на рис 3.6 відображень свідчить, що при низьких температурах твердіння вплив на міцність водоцементного відношення (через співвідношення Ц:П) поступається впливу протиморозної добавки нітрату кальцію. Вплив добавки мікрокремнезему при від'ємній температурі стає значно нижчим, ніж за нормальних умов твердіння. Отримані значення міцності при стиску у віці 3 діб за умов твердіння при температурі  $-5^{\circ}\text{C}$  модифікованого піщаного бетону складає лише до 20% менше за міцність, отриману за нормальних умов твердіння.

Таким чином, для забезпечення високої ранньої міцності як за нормальних температур твердіння, так і при від'ємних, можна рекомендувати склади модифікованого піщаного бетону з наступними витратами компонентів: цементу  $500..00 \text{ кг/м}^3$ , піску  $1320..1400 \text{ кг/м}^3$ , поліпропіленової фібри  $0,6..1,2 \text{ кг/м}^3$ , нітрату кальцію  $17,4..20,4 \text{ кг/м}^3$  та мікрокремнезему  $47..54 \text{ кг/м}^3$ .

3.2.3. Міцність при стиску бетону у віці 28 діб за нормальних умов твердіння та при  $t = -5^{\circ}\text{C}$

Міцність бетону у віці 28 діб («марочна») є унормованою практично при всіх видах будівельних робіт, зокрема при проведенні ремонтно-відновлювальних робіт конструкцій морських гідротехнічних споруд. Сумісний вплив варійованих факторів на міцність при стиску піщаного бетону у віці 28 діб за нормальних умов твердіння і твердінні при  $-5^{\circ}\text{C}$  описують відповідні ЕС-моделі (3.4 і 3.5):

за нормальних умов твердіння:

$$\begin{aligned} f_{\text{cm.cub.28}} \text{ (МПа)} = & 55.65 - 4.99x_1 + 2.70 x_1^2 - 0.53 x_1x_2 - 0.69 x_1x_3 + 0.60x_1x_4 \\ & \pm 0 x_2 \pm 0 x_2^2 \pm 0 x_2x_3 + 1.16x_2x_4 \\ & \pm 0 x_3 - 1.25 x_3^2 \pm 0 x_3x_4 \\ & + 2.85 x_4 - 1.00 x_4^2 \end{aligned} \quad (3.4)$$

при твердінні при  $-5^{\circ}\text{C}$ :

$$\begin{aligned} f_{\text{cm.cub.28}^*} \text{ (МПа)} = & 48.65 + 4.28 x_1 - 2.7 x_1^2 - 0.48 x_1x_2 - 0.63x_1x_3 + 0.53 x_1x_4 \\ & + 2.35 x_2 \pm 0 x_2^2 \pm 0 x_2x_3 + 1.08 x_2x_4 \\ & + 4,8 x_3 - 1.12 x_3^2 - 0.53 x_3x_4 \\ & + 2.62 x_4 + x_4^2 \end{aligned} \quad (3.5)$$

За результатами дослідження міцності при стиску у віці 28 діб за нормальних умов твердіння можна зробити наступний висновок: найбільшої міцності (50..60МПа) досягнуто при витратах цементу 600..680  $\text{кг}/\text{м}^3$ , піску 1320..1400 $\text{кг}/\text{м}^3$ , поліпропіленової фібри 0,6..1,2 $\text{кг}/\text{м}^3$ , добавки нітрату кальцію 17,4..20,4 $\text{кг}/\text{м}^3$  та мікрокремнезему 47,6..54,6 $\text{кг}/\text{м}^3$  (рис.3.7). Отримані значення міцності при стиску бетону відповідають проектним значенням міцності при стиску бетону ( $\geq 40\text{МПа}$ ) конструкцій портових гідротехнічних споруд при ординарному «модулі пошкоджуваності бетону».

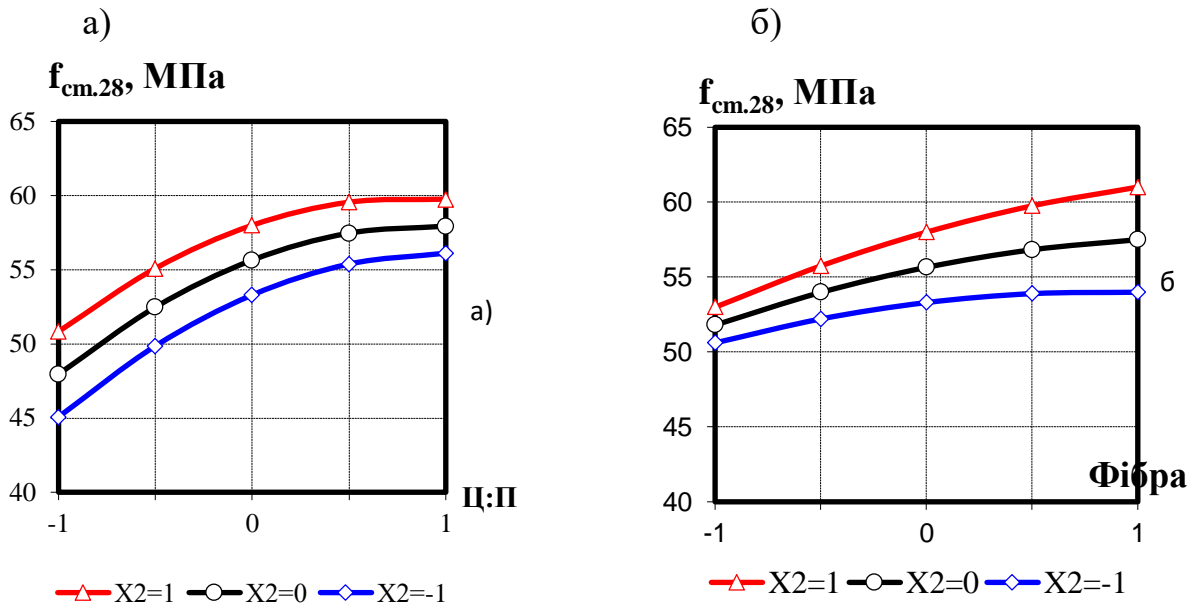


Рис. 3.7. Вплив окремих факторів на 28-добову міцність при стиску модифікованого піщаного бетону за умов нормального твердіння: а) залежно від  $X_1$  ( $X_3=0$ ,  $X_4=0$ ); б) залежно від  $X_4$  ( $X_1=0$ ,  $X_3=0$ )

Отримані значення міцності при стиску у віці 28 діб при твердінні при  $-5^\circ\text{C}$  на 10-20% менш за міцність за нормальними умовами твердіння, проте вони також відповідають проектним значенням міцності при стиску (до 40МПа) бетону (рис.3.8-3.9).

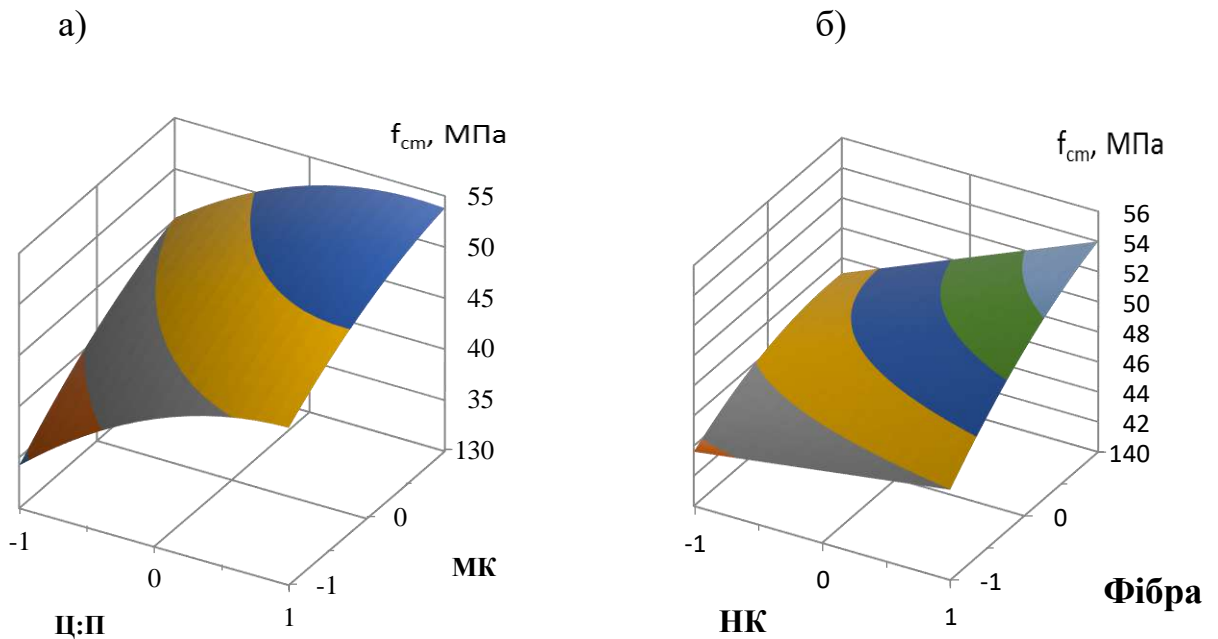


Рис.3.8. Міцність при стиску модифікованого піщаного бетону при твердінні при  $-5^\circ\text{C}$  у віці 28 діб: а) залежно від  $X_1$  і  $X_2$  ( $X_3=0$ ,  $X_4=0$ ); б) залежно від  $X_2$  і  $X_4$  ( $X_1=0$ ,  $X_3=0$ )

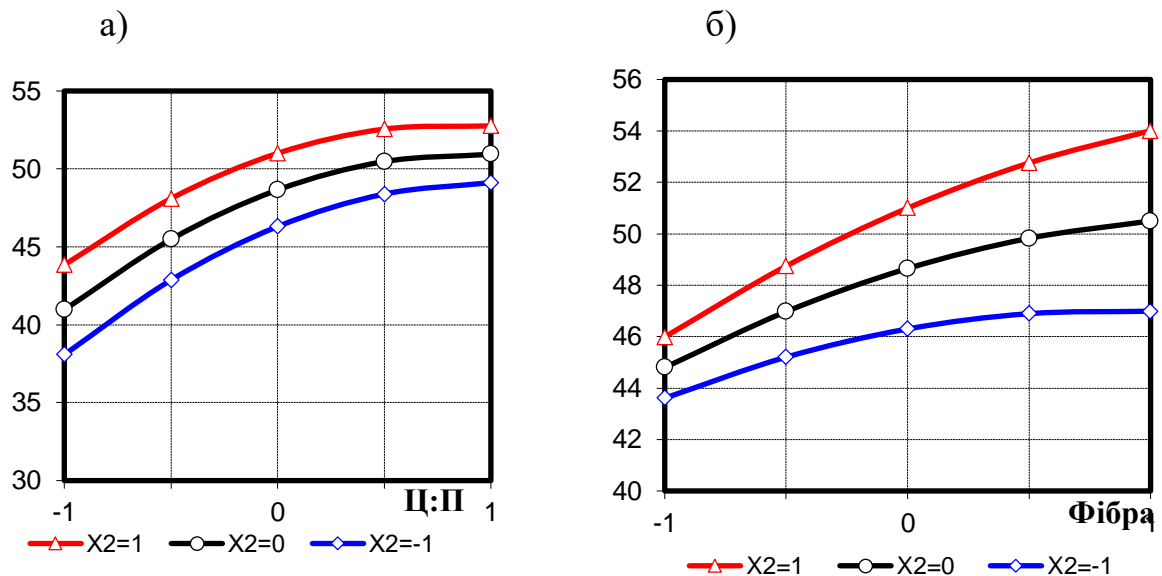


Рис. 3.9. Вплив окремих факторів на міцність при стиску модифікованого піщаного бетону за умов твердіння при  $-5^{\circ}\text{C}$  у віці 28 діб: а) залежно від  $X_1$  ( $X_3=0$ ,  $X_4=0$ ); б) залежно від  $X_4$  ( $X_1=0$ ,  $X_3=0$ )

Як можна було очікувати, для 28-добової міцності як при нормальному твердінні, так і при температурі  $-5^{\circ}\text{C}$  переважне значення має водоцементне відношення і, як наслідок, масове відношення цементу до піску. Наявність суперпластифікатору С-3 дозволила забезпечити В/Ц бетонної суміші в межах 0,28-0,38 (таблиця 3.1) і відповідно високу міцність при стиску.

Позитивний вплив на міцність зберігає мікрокремнезем, який, взаємодіючи з продуктом гідролізу клінкерних мінералів  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , збільшує об'єм цементних утворень і ступень гідратації. При нормальному твердінні вплив прискорювача твердіння нітрату кальцію до віку бетону 28 діб практично не відзначається. При твердінні в умовах від'ємної температури нітрат кальцію зберігає (поряд з В/Ц) свою лідируючу роль. Попереджаючи утворення льоду і зберігаючи воду у рідкому стані, нітрат кальцію дозволяє включитись також мікрокремнезему в процес гідратації і набору міцності.

Також встановлено, що як і рання міцність піщаного бетону при стику, міцність в 28-добовому віці практично не змінюється від додавання поліпропіленової фібри.

За літературними даними 28-добова міцність при стиску бетону з добавкою нітрату кальцію при  $-5^{\circ}\text{C}$  досягає 70% міцності бетону за нормальних умов твердіння [95]. За результатами виконаних досліджень встановлено, що завдяки додатковій активній ролі мікрокремнезему, 28-добова міцність піщаного бетону, що твердів при  $-5^{\circ}\text{C}$ , досягла до 80% міцності бетону нормального твердіння. Це дозволяє ефективно використовувати дані піщані бетони для ремонтно-відновлювальних робіт при низьких температурах.

### **3.3. Вплив складу модифікованого піщаного бетону на величину його міцності на розтяг при згині**

#### *3.3.1. Міцність на розтяг при згині бетону у віці 3 діб при твердінні за нормальних умов і при $-5^{\circ}\text{C}$*

Для конструкцій морських портових гідротехнічних споруд міцність 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. Крім того, як відомо, співвідношення міцності бетону на розтяг при згині до міцності на стиск є одним з важливих критеріїв його тріщиностійкості [42,73].

У таблиці 3.5 наведені дані про міцність на розтяг при згині піщаних бетонів у 18 контрольних точках у віці 3 та 28 діб, в яких варіювалися співвідношення Ц:П, кількість добавки нітрату кальцію, активної мінеральної добавки мікрокремнезему та вміст поліпропіленової фібри Ваусон в діапазоні, визначеному умовами експерименту. Твердіння зразків, як було зазначено вище, проходило як за нормальних умов ( $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ), так й при температурі  $-5^{\circ}\text{C}$ .

Вплив варійованих факторів на міцність на розтяг при згині дослідженого піщаного бетону у віці 3 діб за нормальних умов твердіння описує ЕС-модель (3.6):

$$\begin{aligned}
 f_{c,tf,3}(\text{МПа}) = & 5.64 - 1.01 x_1 + 0.77 x_1^2 - 0.14 x_1 x_2 \pm 0 x_1 x_3 \pm 0 x_1 x_4 \\
 & \pm 0 x_2 - 0.59 x_2^2 + 0.26 x_2 x_3 - 0.21 x_2 x_4 \\
 & + 0.10 x_3 + 0.67 x_3^2 + 0.11 x_3 x_4 \\
 & + 0.57 x_4 \pm 0 x_4^2
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$



Таблиця 3.5

Міцність модифікованого піщаного бетону на розтяг при згині  
на 3 та 28 добу при твердінні за нормальних умов та при  $t=-5^{\circ}\text{C}$

№	Рівні факторів				$f_{c,tf}$ (МПа) 3 доба при н/у	$f_{c,tf}$ (МПа) 3 доба при $-5^{\circ}\text{C}$	$f_{c,tf}$ (МПа) 28 доба при н/у	$f_{c,tf}$ (МПа) 28 доба при $-5^{\circ}\text{C}$
	$X_1$ Ц:П	$X_2$ НК, кг/м <sup>3</sup>	$X_3$ МК, кг/м <sup>3</sup>	$X_4$ фібра, кг/м <sup>3</sup>				
1	1:3	10,2	23,8	0,6	5,84	4,36	10,7	5,34
2	1:2	0	54,6	0	5,65	4,75	7,3	5,90
3	1:2	23,4	0	1,2	6,86	5,70	9,1	6,88
4	1:4	0	0	1,2	5,74	4,11	10,6	5,36
5	1:4	17,4	40,6	1,2	5,45	5,78	12,1	6,40
6	1:4	17,4	0	0	4,25	3,05	10,6	4,46
7	1:3	20,4	47,6	0	4,92	3,16	11,1	4,35
8	1:3	0	0	0	4,31	3,85	9,4	4,64
9	1:4	0	47,6	1,2	5,84	4,60	11,1	5,58
10	1:2	8,7	40,6	0	4,73	4,40	10,4	5,78
11	1:2	11,7	0	0	6,98	5,34	8,2	6,53
12	1:4	11,7	54,6	1,2	7,96	6,24	10,2	7,91
13	1:2	0	20,3	0	4,40	3,31	9,3	4,78
14	1:2	23,4	27,3	0	6,26	5,74	8,8	6,91
15	1:2	0	27,3	1,2	7,56	6,42	9,1	7,17
16	1:4	0	40,6	0,6	4,56	4,20	9,8	5,70
17	1:2	23,4	54,6	0,6	7,82	5,97	9,5	7,05
18	1:2	0	0	0,6	6,72	6,10	7,8	7,23

Мінімальна витрата цементу – 420 кг/м<sup>3</sup>, максимальна – 683 кг/м<sup>3</sup>.

Вплив варійованих факторів на міцність на розтяг при згині піщаного бетону у віці 3 діб за умов твердіння при  $-5^{\circ}\text{C}$  описує відповідна ЕС-модель (3.7):

$$\begin{aligned}
 f_{ctk,3*}(\text{МПа}) = & 4.10 - 0.82x_1 + 1.04 x_1^2 \pm 0 x_1x_2 + 0.32 x_1x_3 \pm 0 x_1x_4 \\
 & \pm 0 x_2 \pm 0 x_2^2 + 0.28 x_2x_3 \pm 0 x_2x_4 \\
 & + 0.24 x_3 - 0.23 x_3^2 \pm 0 x_3x_4 \\
 & + 0.50 x_4 \pm 0x_4^2
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

Аналіз ЕС-моделі (3.6) показує наступний розподіл факторів за ступенем зменшення впливу на міцність на розтяг при згині у віці 3 діб за умов твердіння в нормальних температурних умовах: співвідношення Ц:П, поліпропіленова фібра Ваусон, мінеральний наповнювач мікрокремнезем та нітрат кальцію. Вплив співвідношення Ц:П і відповідно В/Ц на міцність на розтяг при згині виявився менш відчутним ніж на міцність при стиску. Це закономірно пояснюється зміною пружно-пластичних властивостей піщаного бетону в процесі твердіння.

За ЕС-моделлю (3.6) побудовані показані на рис.3.10 графічні залежності, побудовані за (3.7) – показані на рис.3.11.

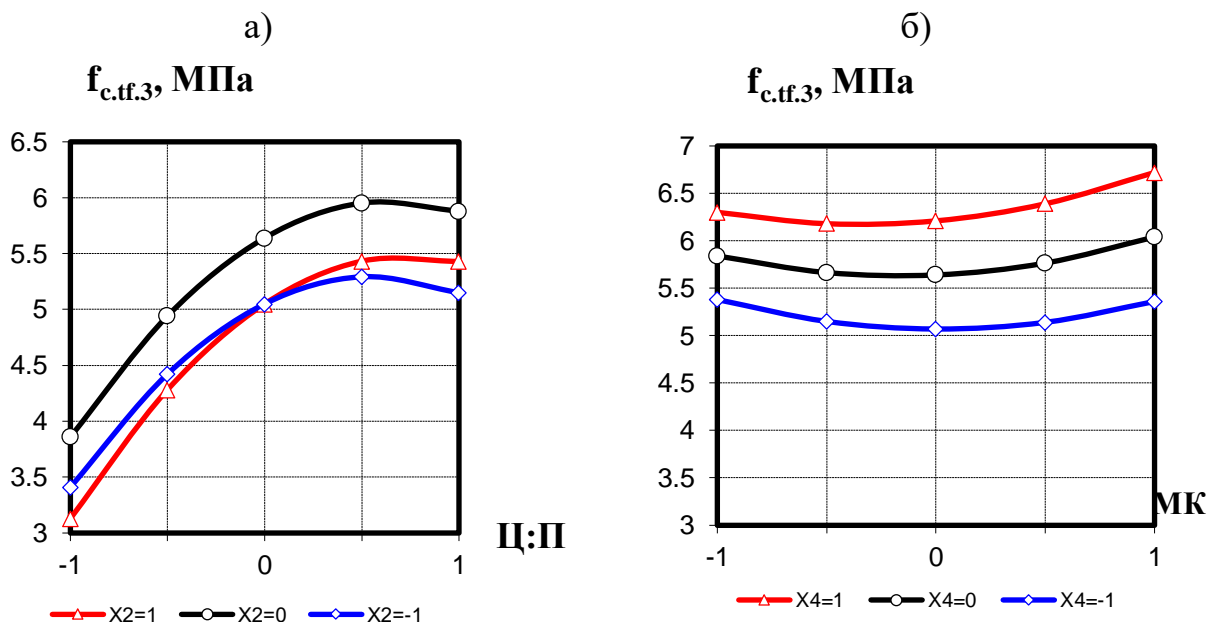


Рис.3.10. Вплив окремих факторів складу на міцність на розтяг при згині модифікованого піщаного бетону у віці 3 діб за нормальних умов твердіння: а) залежно від  $X_1$  ( $X_3=0$ ,  $X_4=0$ ); б) залежно від  $X_3$  ( $X_1=0$ ,  $X_2=0$ )

При від'ємній температурі порядок впливу факторів на міцність при згині змінюється. Вони розташовуються в ряду за зменшенням: співвідношення цемент:пісок, яке відображає необхідне В/Ц, поліпропіленова фібра, нітрат кальцію, мікрокремнезем.

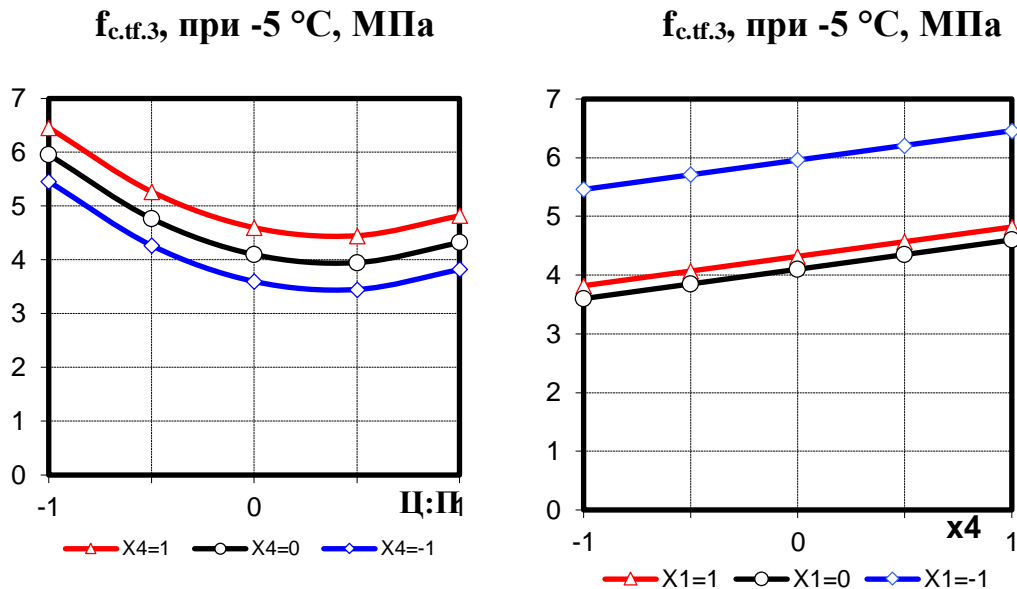


Рис.3.11. Вплив окремих факторів складу на міцність на розтяг при згині модифікованого піщаного бетону у віці 3 днів при твердінні при  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ :  
 а) залежно від  $x_1$  ( $x_2=0$ ,  $x_3=0$ ); б) залежно від  $x_4$  ( $x_2=0$ ,  $x_3=0$ )

Введення поліпропіленової фібри коригує пружно-пластичну характеристику бетону, стримує розвиток утворених при навантаженні тріщин. Вплив добавки нітрату кальцію проявляється при нормальних умовах твердіння слабкіше, але його вплив зростає при від'ємній температурі, коли він виконує функції протиморозної добавки.

Співвідношення міцності на розтяг при згині до міцності на стиск для модифікованого піщаного бетону в 3-х добовому віці складає в середньому 0,20 при нормальному твердінні і 0,15 при  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для немодифікованого бетону таке співвідношення при нормальному твердінні близько до 0,1, при від'ємній температурі за умови введення протиморозних добавок – 0,05...0,08. Це відношення, безумовно, буде залежати від виду модифікаторів і особливо концентрації та розподілу в бетонній суміші фібри. Впливає також дисперсність та однорідність як цементуючої матриці, так і заповнювача. Найбільш високе співвідношення міцності на розтяг при згині до міцності на стиск досягається при застосуванні реакційно-порошкового фібробетону і полімербетону. Проте застосування таких видів бетонів при зведенні морських портових гідротехнічних споруд стримується їх високою вартістю.

На 3 добу твердіння можна отримати міцність близько до 6,5МПа при витратах цементу 600...680 кг/м<sup>3</sup>, піску 1320...1400 кг/м<sup>3</sup>, поліпропіленової фібри 0,6...1,2 кг/м<sup>3</sup>, добавки нітрату кальцію 17,4...20,4 кг/м<sup>3</sup> та мікрокремнезему 47...54 кг/м<sup>3</sup>.

На 3 добу твердіння за умов твердіння при температурі -5 °С можна отримати бетони міцністю близько 4,5...5,5 МПа, що складає на 8-12% менше за міцність, отриману за нормальних умов твердіння дрібнозернистого бетону.

Отримані таким чином значення міцності модифікованого піщаного бетону в 3-х добовому віці є цілком достатніми для подальшого зняття опалубки при проведенні будівельних робіт.

### *3.3.2. Міцність на розтяг при згині бетону у віці 28 діб за нормальних умов твердіння і при температурі -5°С*

Вплив співвідношення цемент:пісок, кількості добавки нітрату кальцію, мінерального наповнювача мікрокремнезему та дисперсного армування полімерною фіброю Ваусон на міцність на розтяг при згині у віці 28 діб за нормальних умов твердіння і при -5°С описують відповідні ЕС-моделі (3.8 і 3.9):

*за нормальних умов твердіння:*

$$\begin{aligned}
 f_{c,tf,28}(\text{МПа}) = & 10.65 - 0.93 x_1 + 0.94 x_1^2 \pm 0 x_1x_2 - 0.06 x_1x_3 - 0.07 x_1x_4 \\
 & + 0.05 x_2 - 0.32 x_2^2 + 0.20 x_2x_3 - 0.20 x_2x_4 \\
 & + 0.07 x_3 \pm 0 x_3^2 + 0.16 x_3x_4 \\
 & + 0.60 x_4 + 0.28 x_4^2
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

*за умов твердіння при -5°С:*

$$\begin{aligned}
 f_{c,tf,28^*}(\text{МПа}) = & 7.23 - 0.75x_1 + 1.25 x_1^2 \pm 0 x_1x_2 + 0.21 x_1x_3 \pm 0 x_1x_4 \\
 & \pm 0 x_2 - 0.37 x_2^2 + 0.17 x_2x_3 \pm 0 x_2x_4 \\
 & + 0.22 x_3 \pm 0 x_3^2 + 0.16 x_3x_4 \\
 & + 0.44 x_4 \pm 0x_4^2
 \end{aligned} \tag{3.9}$$

Аналіз ЕС-моделі (3.8) показує, що на міцність на розтяг при згині піщаного бетону у віці 28 діб при твердінні за нормальних температурних умов,

в найменшій мірі впливає кількість добавки нітрату кальцію. Ця добавка як прискорювач твердіння більш активно проявляє свою дію в ранні строки твердіння. При цьому, як вказано вище, її дія більшою мірою впливає на міцність при стиску піщаного бетону. Загальний порядок впливу варійованих факторів на 28-добову міцність на розтяг при згині не змінюється в порівнянні з їх впливом на більш ранню міцність.

Аналіз відповідних графічних залежностей, побудованих за ЕС-моделлю (3.8) (рис.3.12) показав, що зберігається певний вплив добавки мікрокремнезему, яка, як відомо [42,73], збільшує в цементуючій матриці вміст низькоосновних гідросилікатів, що позитивно відображається на міцності на розтяг при згині піщаного бетону.

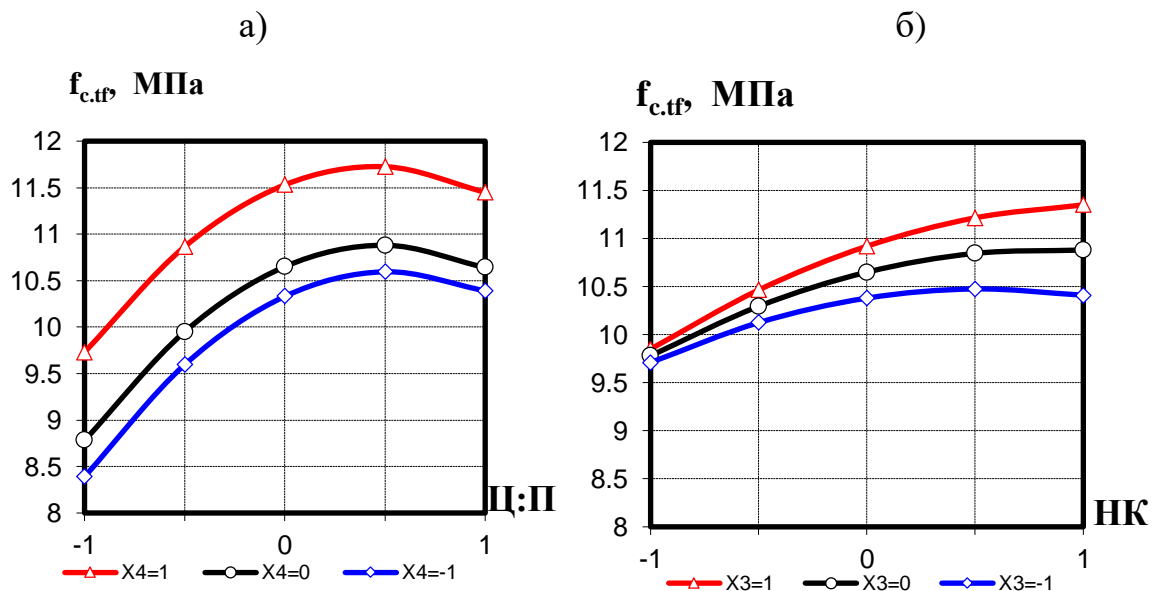
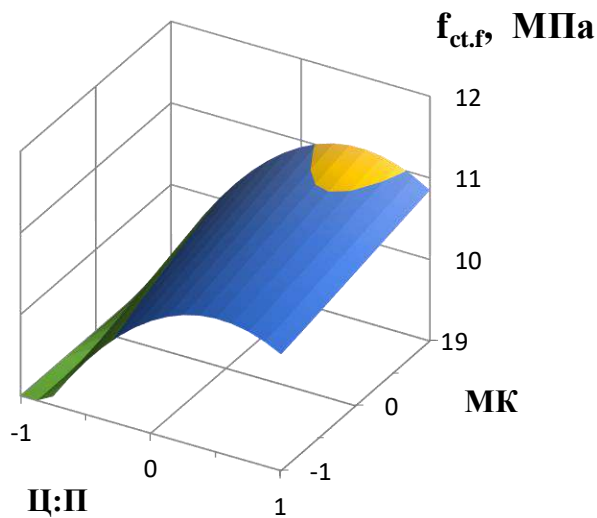


Рис.3.12. Вплив технологічних факторів на міцність на розтяг при згині модифікованого піщаного бетону у віці 28 діб за нормальних умов твердіння: а) залежно від  $X_1$  ( $X_2=0$ ,  $X_3=0$ ); б) залежно від  $X_2$  ( $X_1=0$ ,  $X_4=0$ )

Як показав аналіз графічних залежностей (рис.3.13-3.15), побудованих за ЕС-моделями (3.8) і (3.9), у віці 28 діб міцність на розтяг при згині модифікованого піщаного бетону 9,0...12,0 МПа, що відповідає необхідним проектним значенням цього параметру. При температурі  $-5$  °С у віці 28 діб можна досягти значення міцності на розтяг при згині модифікованого піщаного бетону порядку 6,0...8,0 МПа за умов дотримання вказаного вище складу. Отримані значення міцності на розтяг при згині піщаного бетону у віці 28 діб

при твердінні при температурі  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  на 16-18% менше за міцність, отриману за нормальних умов твердіння. Такий комплекс модифікаторів бетону гарантує набирання необхідної проектної (розрахункової) міцності при температурі до  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Це, як вказано вище, дозволяє вести ремонтно-відновлювальні роботи при низьких температурах забезпечуючи при цьому необхідні рівні фізико-механічних показників для відновлювання конструкцій портових гідротехнічних споруд (модуль пошкоджуваності – «ординарний»).

а)



б)

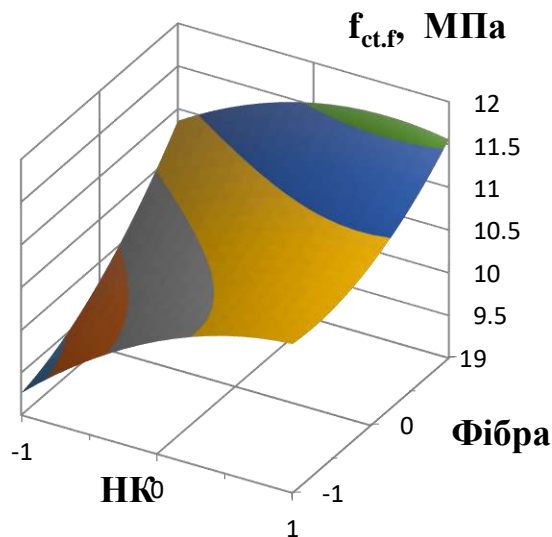


Рис.3.13. Вплив окремих факторів на міцність на розтяг при згині модифікованого піщаного бетону у віці 28 днів за нормальних умов твердіння: а) залежно від  $X_1$  і  $X_3$  ( $X_2=0$ ,  $X_4=0$ ); б) залежно від  $X_2$  і  $X_4$  ( $X_1=0$ ,  $X_3=0$ ).

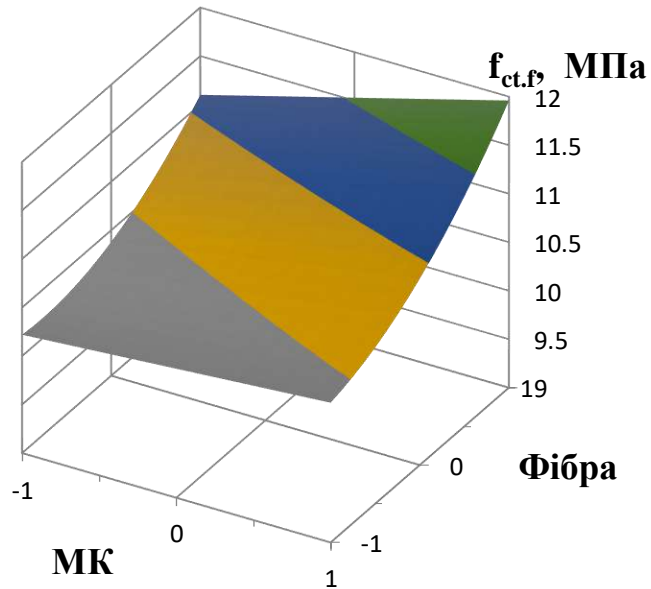


Рис. 3.14. Вплив факторів  $X_3$  та  $X_4$  на міцність на розтяг при згині модифікованого піщаного бетону у віці 28 діб при твердінні при  $-5^{\circ}\text{C}$  ( $X_2=0$ ,  $X_3=0$ ).

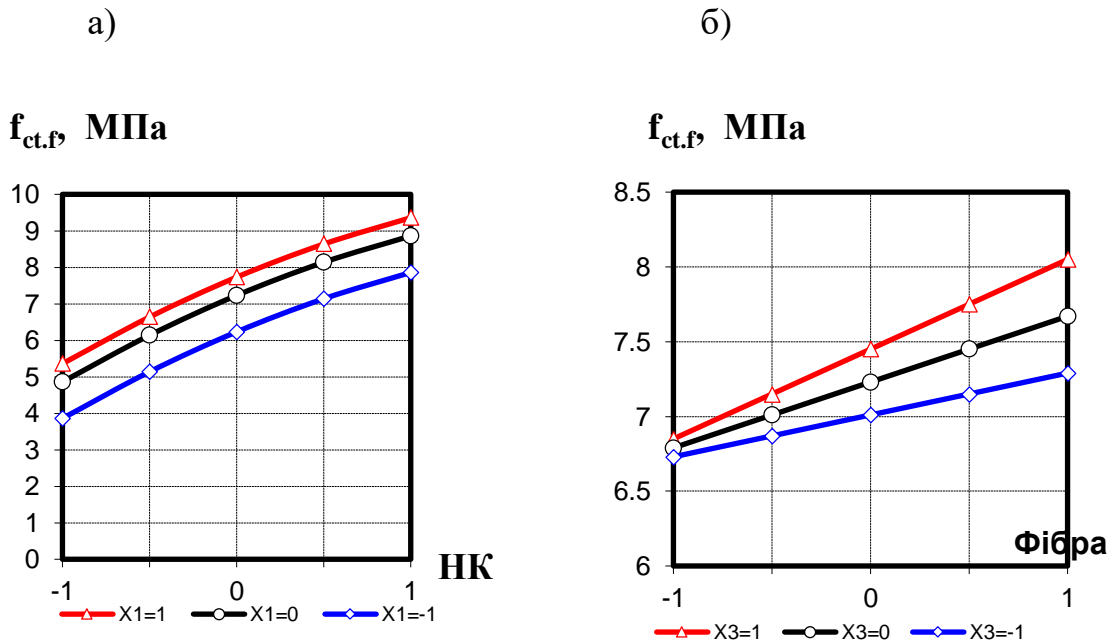


Рис. 3.15. Вплив технологічних факторів на міцність на розтяг при згині модифікованого піщаного бетону у віці 28 діб при  $-5^{\circ}\text{C}$ : а) залежно від  $X_2$  ( $X_3=0$ ,  $X_4=0$ ), б) залежно від  $X_4$  ( $X_1=0$ ,  $X_2=0$ )

### 3.4. Дослідження морозостійкості, водонепроникності та стійкості до стирання модифікованого піщаного бетону

#### 3.4.1. Морозостійкість бетону

Руйнування бетону конструкцій портових гідротехнічних споруд при циклічній дії різних знакозмінних температур пов'язано з комплексом фізичних корозійних процесів, що викликають деформації та механічні ушкодження бетону, а саме: зниження структурної міцності, збільшення кількості відкритих пор, поява усадкових деформацій тощо. У виконаних експериментах досліджувався комплексний вплив на морозостійкість співвідношення Ц:П, кількості добавок НК та МК, а також поліпропіленової фібри. Результати випробувань наведені у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Морозостійкість, водонепроникність та стиранність досліджених піщаних бетонів

№	Рівні факторів				Морозостійкість, цикли	Водонепроникність, МПа·10 <sup>-1</sup>	Стиранність, г/см <sup>2</sup>
	X <sub>1</sub> Ц:П	X <sub>2</sub> НК, кг/м <sup>3</sup>	X <sub>3</sub> МК, кг/м <sup>3</sup>	X <sub>4</sub> ПП фібра, кг/м <sup>3</sup>			
1	1:3	10,2	23,8	0,6	350	10	0,30
2	1:2	0	54,6	0	350	10	0,41
3	1:2	23,4	0	1,2	250	6	0,41
4	1:4	0	0	1,2	200	6	0,31
5	1:4	17,4	40,6	1,2	300	10	0,27
6	1:4	17,4	0	0	200	6	0,17
7	1:3	20,4	47,6	0	350	10	0,14
8	1:3	0	0	0	250	8	0,28
9	1:4	0	47,6	1,2	350	10	0,24
10	1:2	8,7	40,6	0	300	6	0,20
11	1:2	11,7	0	0	300	8	0,30
12	1:4	11,7	54,6	1,2	400	12	0,36
13	1:2	0	20,3	0	200	6	0,31
14	1:2	23,4	27,3	0	400	12	0,27
15	1:2	0	27,3	1,2	400	12	0,45
16	1:4	0	40,6	0,6	250	8	0,23
17	1:2	23,4	54,6	0,6	350	10	0,29
18	1:2	0	0	0,6	200	6	0,41

Мінімальна витрата цементу – 420кг/м<sup>3</sup>, максимальна – 683кг/м<sup>3</sup>.



Відповідна ЕС-модель, що описує вплив варійованих факторів на морозостійкість піщаного бетону має вигляд (3.10):

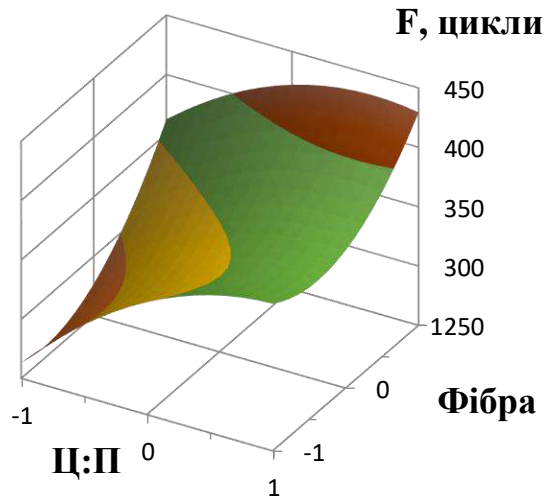
$$\begin{aligned}
 F(\text{цикли}) = & 348.7 - 44.6 x_1 - 26.2 x_1^2 \pm 0 x_1 x_2 \pm 0 x_1 x_3 - 11.0 x_1 x_4 \\
 & + 9.7 x_2 + 34.0 x_2^2 \pm 0 x_2 x_3 - 16.6 x_2 x_4 \\
 & + 50.2 x_3 - 48.4 x_3^2 \pm 0 x_3 x_4 \\
 & + 8.4 x_4 + 36.05 x_4^2
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

Згідно до ЕС-моделі (3.10), розподіл факторів за зменшенням ступеню впливу на рівень  $F$  наступний: співвідношення цемент:пісок, кількість мікрокремнезему, нітрату кальцію, поліпропіленової фібри. При чому коефіцієнти при факторах  $X_2$  та  $X_4$  значно менші в порівнянні до коефіцієнтів при факторах  $X_1$  та  $X_3$  відповідно.

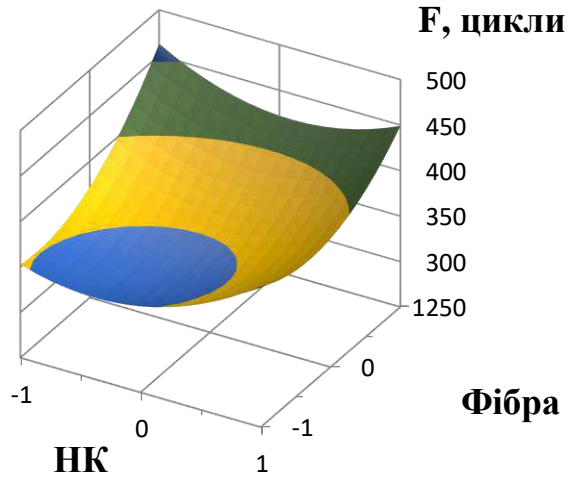
На рис.3.16 наведені графіки, побудовані за отриманою моделлю (3.10), які відображають вплив на морозостійкість варійованих факторів складу бетону. Найбільший вплив співвідношення цемент/пісок та кількості мікрокремнезему можна пояснити тим, що при максимальній витраті цементу і відповідно мінімальному В/Ц та активного мінерального наповнювача утворюється щільна цементна матриця. При витратах мікрокремнезему, близьких до максимального, також спостерігається суттєве зменшення розмірів та кількості відкритих пор. Саме це робить модифікований піщаний бетон достатньо стійким до морозного руйнування. Введення до складу бетону добавки суперпластифікатору можна розглядати як певну альтернативу введенню повітровтягуючої добавки, проте деякі дослідження допускають для посилення загального ефекту її застосування в комплексі з мікрокремнеземом [94]. Слід зазначити також позитивну роль фібри, яка нівелює напруження, що виникають при поперемінному заморожуванні та відтаванні.

Таким чином, найбільшої морозостійкості F400 і вище модифікованого піщаного бетону можна досягти при складах, що вказані вище, які забезпечують його максимальні міцнісні властивості.

а)



б)



в)

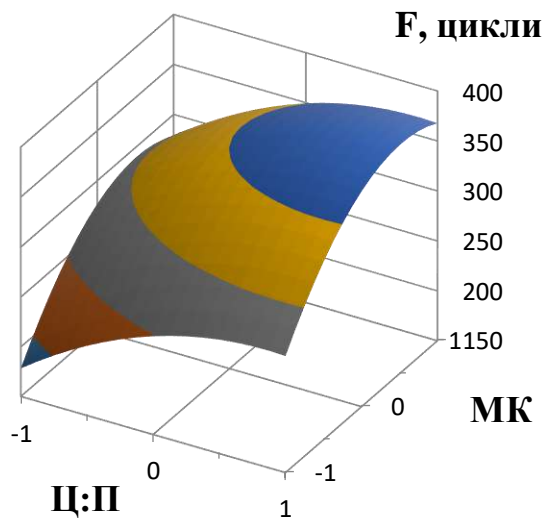


Рис.3.16. Вплив окремих факторів на морозостійкість модифікованого піщаного бетону: а) залежно від  $X_1$  і  $X_4$  ( $X_2=0$ ,  $X_3=0$ ); б) залежно від  $X_2$  і  $X_4$  ( $X_1=0$ ,  $X_3=0$ ); в) залежно від  $X_1$  і  $X_3$  ( $X_2=0$ ,  $X_4=0$ )

### 3.4.2. Водонепроникність бетону

Дослідження водонепроникності розглядається як один з основних параметрів довговічності бетону конструкцій гідротехнічних портових споруд. Саме для морського середовища експлуатації портових гідротехнічних споруд достатньо висока водонепроникність гарантує збереження захисного шару бетону конструкцій.

Водонепроникність піщаного бетону визначалась за нормальних умов твердіння бетону ( $20\pm 2^\circ\text{C}$ ). Відповідно у таблиці 3.6 наведені результати випробувань на водонепроникність у 18 контрольних точках, в яких варіювалися фактори складу в діапазоні, визначеному умовами експерименту. Досліджувані фактори: співвідношення цемент:пісок, кількість добавки нітрату кальцію, активної мінеральної добавки мікрокремнезем та кількість поліпропіленової фібри Ваусон.

Модель, що описує вплив факторів складу бетону на його водонепроникність має вигляд (3.11):

$$\begin{aligned}
 W \text{ (МПа}\cdot 10^{-1}) &= 9.69 - 1.25 x_1 - 0.64 x_1^2 \pm 0 x_1x_2 \pm 0 x_1x_3 + 0.63 x_1x_4 \\
 &\pm 0 x_2 \pm 0 x_2^2 \pm 0 x_2x_3 - 0.47 x_2x_4 \\
 &+ 1.56 x_3 - 1.88 x_3^2 + 0.78 x_3x_4 \\
 &+ 0.36 x_4 + 0.82 x_4^2
 \end{aligned} \tag{3.11}$$

Аналіз ЕС-моделі (3.11) показує, що на водонепроникність піщаного бетону (при твердінні протягом 28 діб за нормальних температурних умов) найменший вплив надав фактор  $X_2$  (нітрат кальцію).

Вплив окремих факторів на водонепроникність модифікованих піщаних бетонів наведено на рис.3.17. Аналіз графічних залежностей свідчить про позитивний вплив запропонованого комплексу модифікаторів (суперпластифікатору і мікрокремнезему), що сприяють зменшенню відкритих пор, які є шляхами фільтрації води, і збільшенню щільності бетону. Також суттєвий вплив оказує співвідношення цемент:пісок, в першу чергу через зміну водоцементного відношення, яке зменшується зі збільшенням витрати цементу

при незмінній рухомості бетонної суміші. Кількість фібри несуттєво впливає на рівень водонепроникності дослідженого піщаного бетону.

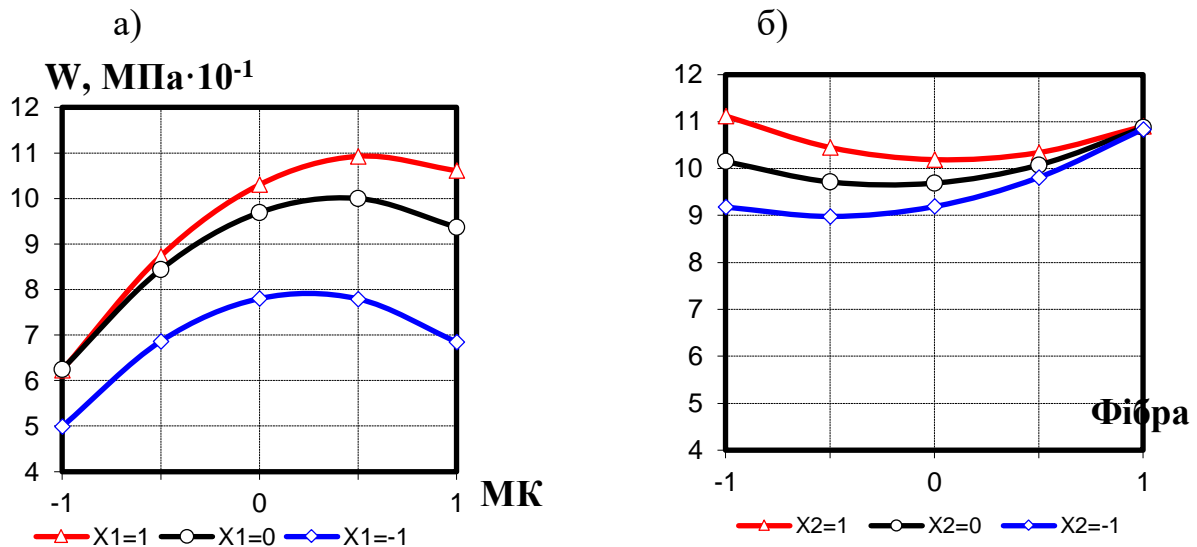


Рис.3.17. Вплив варійованих факторів на водонепроникність модифікованого піщаного бетону: а) залежно від  $X_3$  ( $X_2=0$ ,  $X_4=0$ ), б) залежно від  $X_4$  ( $X_1=0$ ,  $X_3=0$ ).

### 3.4.3. Стійкість бетону до стирання

Конструкції портових гідротехнічних споруд під час експлуатації піддаються абразивним впливам льоду (в зимовий період) та твердих частинок, що знаходяться у морській воді. Також абразивний вплив на причальні споруди через буферні пристрої надають пришвартовані судна. Відповідно показник зносостійкості (стиранності) є важливим з позиції довговічності бетону конструкцій портових гідротехнічних споруд.

Стійкість до стирання модифікованих піщаних бетонів розглянута для зразків, твердіння яких відбувалося у нормальних умовах ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ).

У таблиці 3.6 наведені результати випробувань на стиранність модифікованого піщаного бетону у 18 контрольних точках, в яких досліджувався вплив співвідношення цементу та піску, кількості добавки нітрату кальцію, мікрокремнезему та полімерної фібри у віці 28 діб за нормальних умов твердіння. Модель, що описує вплив факторів складу бетону на його стираність у віці 28 діб має вигляд (3.12):

$$\begin{aligned}
 G_1 \text{ (г/см}^2\text{)} = & 0.3 - 0.05x_1 + 0.05 x_1^2 + 0.02 x_1x_2 - 0.01 x_1x_3 \pm 0 x_1x_4 \\
 & - 0.03 x_2 \pm 0 x_2^2 \pm 0 x_2x_3 + 0.02 x_2x_4 \\
 & - 0.02 x_3 - 0.05 x_3^2 - 0.02 x_3x_4 \\
 & + 0.04 x_4 \pm 0 x_4^2
 \end{aligned} \tag{3.12}$$

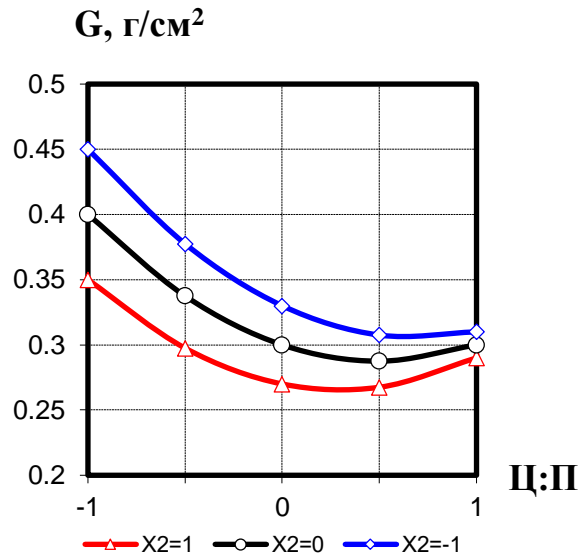
Вплив окремих факторів на стиранність модифікованого піщаного бетону за результатами аналізу ЕС-моделі (3.12) наведена на рис. 3.18.

Аналіз наведених діаграм свідчить, що як і можна було очікувати, розглянуті фактори  $X_1$ - $X_3$  впливають на стиранність практично в тому ж порядку, як вони впливають на міцність при стиску бетону. При цьому завдяки використанню поліпропіленової фібри (фактор  $X_4$ ) стиранність досліджених піщаних бетонів знижується на величину до 0,08 г/см<sup>2</sup>, тобто на 20..30%. Таким чином використання дисперсного армування є дієвим шляхом підвищення довговічності бетону портових гідротехнічних споруд.

На основі комплексного аналізу наведених у даному розділі математичних ЕС-моделей були розроблені ефективні склади модифікованого піщаного (дрібнозернистого) бетону для морських портових гідротехнічних споруд. Рекомендовані витрати компонентів бетону:

- цемент: від 420 до 680 кг/м<sup>3</sup> в залежності від необхідної за проектом міцності бетону;
- пісок: від 1370 до 1540 кг/м<sup>3</sup> в залежності від витрати цементу;
- мікрокремнезем: від 21 до 40 кг/м<sup>3</sup> в залежності від витрати цементу (5..6% від маси цементу);
- суперпластифікатор С-3 (СП-1): від 3,4 до 5,4 кг/м<sup>3</sup> в залежності від витрати цементу (0,8% від маси цементу);
- поліпропіленова фібра Ваузон: 0,9..1,2 кг/м<sup>3</sup>;
- вода: від 115 до 157 л/м<sup>3</sup> в залежності від витрати цементу.

а)



б)

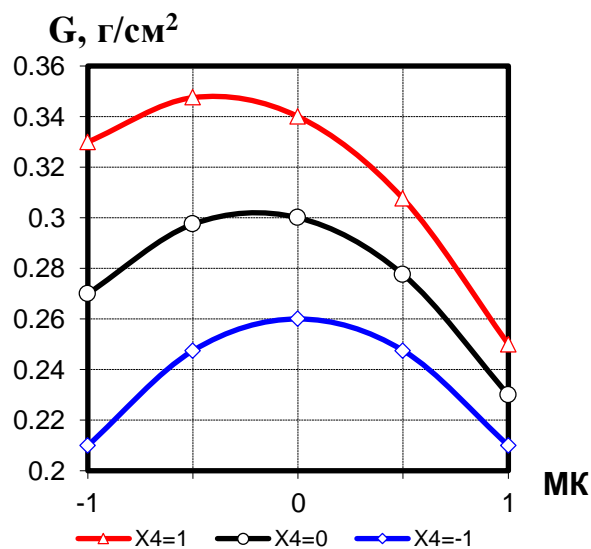


Рис.3.18. Вплив окремих факторів на стиранисть модифікованих піщаних бетонів: а) залежно від  $X_1$  ( $X_3=0$ ,  $X_4=0$ ); б) залежно від  $X_3$  ( $X_1=0$ ,  $X_2=0$ ).

За необхідності проведення робіт при низьких температурах до складу бетонної суміші необхідно додавати нітрату кальцію у кількості від 1,5 до 2,5% від маси цементу в залежності від температури повітря.

Результати досліджень щодо складів модифікованого піщаного бетону слід розглядати разом з результатами інженерних обстежень та залежністю «категорія дефекту – склад бетону». Розроблені модифіковані піщані (дрібнозернисті) бетони рекомендується використовувати для ремонтно-

відновлювальних робіт конструкцій портових гідротехнічних споруд при наявності дефектів, що відповідають категорії «модуль пошкоджуваності бетону» – ординарний.

### ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. Виконано дослідження модифікованого піщаного бетону (дрібнозернистого бетону з заповнювачем фракції до 5 мм) з визначенням його основних фізико-механічних властивостей: водопотреби та В/Ц бетонної суміші, міцності при стиску, міцності на розтяг при згині, морозостійкості, водонепроникності та стійкості до стирання. При цьому досліджена міцність бетону при стиску та на розтяг при згині у віці 3 та 28 діб за нормальних умов твердіння і за умов твердіння при температурі  $-5^{\circ}\text{C}$ .

2. Обґрунтовано раціональні напрямки використання модифікованих піщаних бетонів для конструкцій морських портових гідротехнічних споруд. Оцінено вплив протиморозної добавки в комплексі з активною мінеральною добавкою, добавкою суперпластифікатору нафталін-формальдегідного типу та дисперсним армуванням на фізико-механічні властивості піщаного бетону, включаючи властивості, що визначають його довговічність. Доведено, що за рахунок використання обраного комплексу модифікаторів (протиморозна добавка, суперпластифікатор, активний мінеральний наповнювач та дисперсне армування полімерною фіброю) піщані бетони при зниженому В/Ц (0,23...0,26) досягають міцності при стиску у віці 3 діб до 40 МПа; у віці 28 діб за нормальних умов твердіння – до 60 МПа, у віці 3 та 28 діб за умов твердіння при  $-5^{\circ}\text{C}$  – 30 та 50 МПа відповідно, за умов збільшення витрат цементу та поліпропіленової фібри до максимальних. Отримані значення міцності піщаного бетону за умов твердіння при  $-5^{\circ}\text{C}$  до 20% нижче ніж міцності бетону за нормальних умов твердіння, що підтверджує ефективність введення добавки нітрату кальцію та гарантує набирання проектної міцності.

3. Встановлено, що при регулюванні витрат цементу та поліпропіленової фібри також підвищуються показники міцності на розтяг при згині: у віці 3

добы за нормальних умов твердіння до 6,5 МПа, при  $-5^{\circ}\text{C}$  – до 5,5 МПа. У віці 28 діб за нормальних умов твердіння досягає 9,0...12,0 МПа.

4. Встановлено, що при комплексному введенні мікрокремнезему та суперпластифікатору можна досягти морозостійкості піщаного бетону до F300...400. Також обраний комплекс модифікаторів позитивно впливає на водонепроникність бетонів, яка досягає рівня W8...12. Стійкість до стирання модифікованих піщаних бетонів за таких умов складає 0,3...0,4 г/см<sup>2</sup>.

5. Розроблені ефективні склади модифікованого піщаного (дрібнозернистого) бетону для конструкцій морських портових гідротехнічних споруд. Результати досліджень щодо складів модифікованого піщаного бетону слід розглядати разом з результатами інженерних обстежень та залежністю «категорія дефекту – склад бетону». Розроблені модифіковані піщані бетони рекомендується використовувати для ремонтно-відновлювальних робіт конструкцій портових гідротехнічних споруд при наявності дефектів, що відповідають категорії «модуль пошкоджуваності бетону» – ординарний.



## РОЗДІЛ 4. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МОДИФІКОВАНОГО ДРІБНОЗЕРНИСТОГО БЕТОНУ

Дослідженнями з застосування полімерної фібри та сучасних модифікаторів (мінеральний наповнювач, протиморозна добавка, суперпластифікатор, інгібітор корозії тощо) фактично доповнені результати робіт [90,91,94] щодо вибору ефективних модифікаторів для отримання модифікованих бетонів конструкцій портових гідротехнічних споруд з гарантованими проектними (розрахунковими) параметрами.

На наступному 4-му етапі роботи було досліджено вплив факторів складу модифікованого дрібнозернистого бетону з заповнювачем фракцією до 10 мм на В/Ц бетонної суміші та основні фізико-механічні властивості бетону, а саме: міцність при стиску, міцність на розтяг при згині з урахуванням умов низьких температур твердіння, а також морозостійкість, водонепроникність та стійкість до стирання.

Застосування складу модифікованого дрібнозернистого бетону, який буде отримано за результатами випробувань, пропонується розглянути з метою усунення пошкоджень глибиною від 5,0 см до 20,0 см («Модуль пошкоджуваності бетону» – граничний) та виготовлення нових конструктивних елементів (як у промислових умовах, так й безпосередньо на будівельному майданчику).

Лабораторний експеримент проведено у відповідності до D-оптимального трьохфакторного плану (таблиця 4.1). Фізико-механічні властивості дрібнозернистого бетону визначалися у 27 контрольних точках, в яких варіювалися такі фактори складу в діапазоні, визначеному умовами експерименту:

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

$X_2$  – поліпропіленова фібра Ваусон, від 0 до 1,2 кг/м<sup>3</sup>;

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

Витрати інших компонентів у 27 контрольних точках складу бетону склали: пісок – 716...723 кг/м<sup>3</sup>, щебінь – 1103...1107 кг/м<sup>3</sup>, цемент – 500кг/м<sup>3</sup>.

План експерименту та склади досліджуваного модифікованого дрібнозернистого бетону

№	Рівні факторів			Склад бетону				
	X <sub>1</sub> (Coral Expert Fix12)	X <sub>2</sub> (фібра Ваусон)	X <sub>3</sub> (t °C)	Цемент (кг/м <sup>3</sup> )	X <sub>1</sub> Coral Expert Fix12, %	X <sub>2</sub> Фібра, кг/м <sup>3</sup>	X <sub>3</sub> Темпера- тура, °C	
1	-1	-1	-1		0,6	0	-15	
2	-1	-1	0				-5	
3	-1	-1	1				+5	
1-3н/у	-1	-1	Контроль			+20		
4	-1	0	-1			0,6	0,6	-15
5	-1	0	0					-5
6	-1	0	1					+5
4-6н/у	-1	0	Контроль			+20		
7	-1	1	-1			1,2	1,2	-15
8	-1	1	0		-5			
9	-1	1	1		+5			
7-9н/у	-1	1	Контроль		+20			
10	0	-1	-1		0,8	0	-15	
11	0	-1	0				-5	
12	0	-1	1				+5	
10-12н/у	0	-1	Контроль			+20		
13	0	0	-1			0,6	0,6	-15
14	0	0	0					-5
15	0	0	1					+5
13-15н/у	0	0	Контроль			+20		
16	0	1	-1			1,2	1,2	-15
17	0	1	0		-5			
18	0	1	1		+5			
16-18н/у	0	1	Контроль		+20			
19	1	-1	-1		1,0	0	-15	
20	1	-1	0				-5	
21	1	-1	1				+5	
19-21н/у	1	-1	Контроль	+20				
22	1	0	-1	0,6		0,6	-15	
23	1	0	0				-5	
24	1	0	1				+5	
22-24н/у	1	0	Контроль	+20				
25	1	1	-1	1,2		1,2	-15	
26	1	1	0		-5			
27	1	1	1		+5			
25-27н/у	1	1	Контроль	+20				

Діапазон варіювання фактору температури відповідає типовим зимовим температурам для Півдня України, в якому сконцентрована основна кількість морських портових гідротехнічних споруд. В якості мінімального значення температурного фактору була прийнята температура  $-15^{\circ}\text{C}$ , в якості максимального –  $+5^{\circ}\text{C}$ .

Крім зразків в рамках факторного простору експерименту, які тверділи відповідно при  $-15^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$  та  $+5^{\circ}\text{C}$ , було виготовлено контрольні зразки, які тверділи за нормальними умовами ( $+20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ). Це дозволило порівнювати результати, отримані при твердінні зразків при температурах, близьких до зимових, з нормальними. План експерименту та склади бетону наведені в таблиці 4.1.

#### 4.1. Вплив факторів складу на В/Ц дрібнозернистої бетонної суміші

Всі суміші мали рівну рухомість  $OK=16..18$  см, тобто В/Ц та водопотреба залежали від складу бетону. Такі вимоги обумовлені конструктивними особливостями елементів морських портових гідротехнічних споруд (густоармовані бортові балки, ребристі плити покриття, тонкий захисний шар бетону призматичних паль), а також технологічними особливостями бетонних робіт при відновленні конструкцій (наприклад, складність доступу до відновлюваних елементів, обмежені терміни на виконання бетонних робіт).

Результати визначених в експериментальних дослідженнях рівнів В/Ц та водопотреби показані в таблиці 4.2.

За результатами визначення В/Ц в 9 експериментальних точках була побудована ЕС-модель (4.1) впливу факторів складу на цей показник:

$$\begin{aligned} \text{В/Ц} = & 0.327 - 0.019x_1 - 0.007x_1^2 - 0.006x_1x_2 \\ & + 0.006x_2 - 0.003x_2^2 \end{aligned} \quad (4.1)$$

Поле властивостей даної моделі (4.1) показує мінімуми  $\text{В/Ц}_{\text{MIN}} = 0.297$  в точці з координатами  $x_1 = 1$ ,  $x_2 = -1$ , що відповідає складам №19-21. Тобто найменше значення В/Ц показують склади з максимальною кількістю добавки

комплексної дії Coral Expert Fix12 (1,0%) та без поліпропіленової фібри. Максимум моделі (4.1) має координати  $x_1 = -1$ ,  $x_2 = 1$ , при значенні В/Ц=0,348 (рис.4.1, 4.2).

Таблиця 4.2

## Рівні водопотреби та В/Ц бетонної суміші

№	Склад бетону			Водопотреба, л/м <sup>3</sup>	В/Ц
	X <sub>1</sub> Coral Expert Fix12, %	X <sub>2</sub> Фібра, кг/м <sup>3</sup>	X <sub>3</sub> Температура, °С		
1-3	0,6	0	-15; -5; +5	162,0	0,324
1-3н/у			+20±2		
4-6		0,6	-15; -5; +5	171,0	0,340
4-6н/у			+20±2		
7-9		1,2	-15; -5; +5:	174,4	0,348
7-9н/у			+20±2		
10-12	0,8	0	-15; -5; +5	145,1	0,317
10-12н/у			+20±2		
13-15		0,6	-15; -5; +5	145,1	0,328
13-15н/у			+20±2		
16-18	1,2	-15; -5; +5	147,0	0,330	
16-18н/у		+20±2			
19-21	1,0	0	-15; -5; +5	149,0	0,298
19-21н/у			+20±2		
22-24		0,6	-15; -5; +5:	150,0	0,300
22-24н/у			+20±2		
25-27		1,2	-15; -5; +5	150,0	0,300
25-27н/у			+20±2		

Максимальні значення В/Ц (0,340..0,348) отримані у точках з координатами  $x_1 = -1$ ,  $x_2 = 0$  та  $x_1 = -1$ ,  $x_2 = +1$  відповідно. Отже, за умови максимальної витрати поліпропіленової фібри, В/Ц можна знизити шляхом введення добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 в межах 0,8..1,0%.

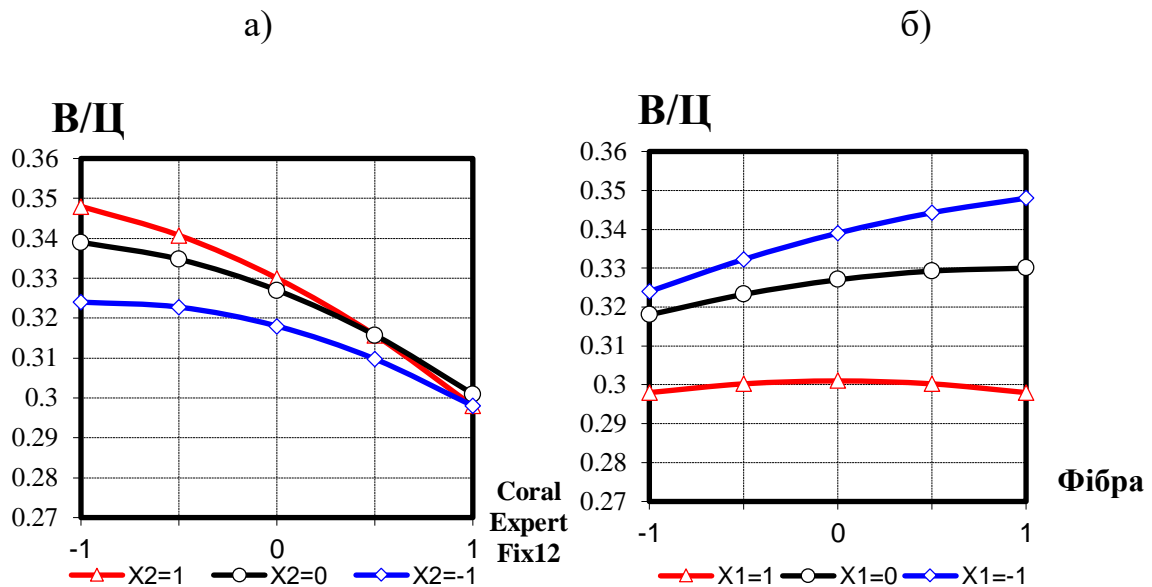


Рис. 4.1. Вплив досліджуваних факторів складу на В/Ц дрібнозернистої бетонної суміші:  
а) залежно від  $X_1$ ; б) залежно від  $X_2$

Вплив температурного фактору на В/Ц за умов експерименту є відсутнім і в моделі (4.1) не враховувався.

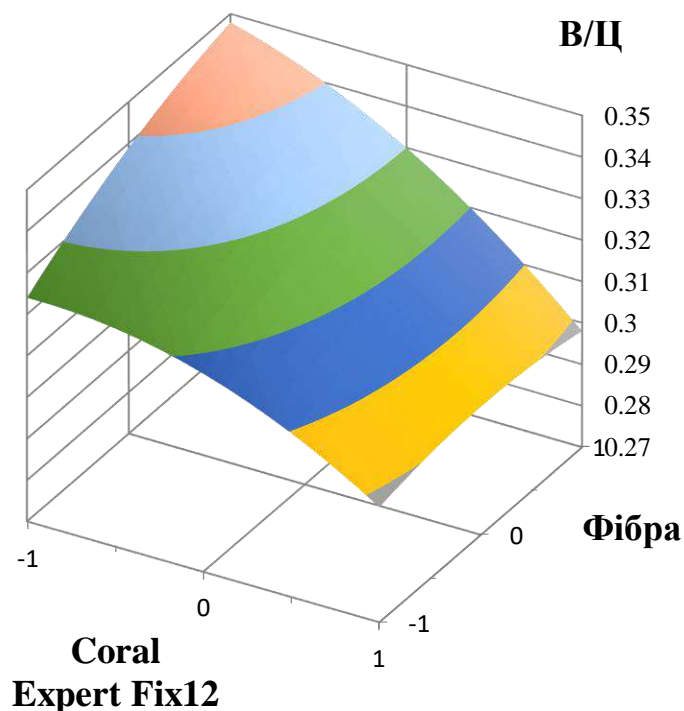


Рис. 4.2. Вплив факторів  $X_1$  і  $X_2$  на В/Ц дрібнозернистої бетонної суміші

Мінімальне В/Ц дрібнозернистої бетонної суміші буде складати 0,3 за умов витрат добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 у кількості 1,0% від маси цементу та поліпропіленової фібри Ваусон 0,6..1,2кг/м<sup>3</sup>. Отримані значення

значно менші, ніж у проектах для бетонів портових гідротехнічних споруд (В/Ц=0,4..0,45).

## **4.2. Вплив складу та умов твердіння на міцність модифікованого дрібнозернистого бетону**

### *4.2.1. Міцність бетону при стиску у віці 3 діб*

На відміну від водопотреби і В/Ц суміші на показники міцності дрібнозернистого бетону впливають не лише кількість добавки комплексної дії та поліпропіленової фібри, але й умови твердіння бетону, що було враховано виходячи з умов експерименту. Для визначення ефективності введення добавки комплексної дії та її впливу на процес набору міцності бетону було виготовлено контрольні зразки бетону розрахованого складу, що тверділи за нормальних умов. Результати визначених в експериментальних дослідженнях значень міцності при стиску та показників ефективності показані в таблиці 4.3.

Вплив кількості добавки комплексної дії, поліпропіленової фібри та температурних режимів на міцність дрібнозернистого бетону при стиску описує відповідна ЕС-модель (4.2):

$$\begin{aligned}
 f_{\text{cm.cub.3}} \text{ (МПа)} = & 29.95 + 5.51 x_1 - 0.05 x_1^2 - 1.85 x_1 x_2 + 0.91 x_1 x_3 \\
 & + 4.80 x_2 + 1.18 x_2^2 + 0.57 x_2 x_3 \\
 & + 8.78 x_3 - 2.99 x_3^2
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Графічні залежності, що характеризують вплив факторів, що враховані в моделі (4.2) на міцність при стиску за відносним коефіцієнтом їх ефективності, наведені на рис.4.3. Діаграма відносного впливу факторів на 3-добову міцність при стиску модифікованого дрібнозернистого бетону побудована за коефіцієнтом ефективності  $K_e$ , який знаходиться з моделі як відношення коефіцієнтів при відповідному факторі до вільного члена рівняння.

Міцність модифікованого дрібнозернистого бетону при стиску у віці 3 і 28 діб

№	Склад бетону			$f_{cm,cub.3}$ (МПа) 3 доба	Показник ефектив- ності, % від н/у на 3 добу	$f_{cm,cub.28}$ (МПа) 28 доба	Показник ефектив- ності, % від н/у на 28 добу
	X <sub>1</sub> Coral Expert Fix12, %	X <sub>2</sub> Фібра, кг/м <sup>3</sup>	X <sub>3</sub> Темпера- тура, °С				
1	0,6	0	-15	8,50	26,73	12,04	24,77
2			-5	17,21	54,12	39,61	81,50
3			+5	27,88	87,67	44,40	91,25
3н/у			+20	31,80	-	48,66	-
4		0,6	-15	9,27	25,97	15,35	26,56
5			-5	18,70	52,38	47,42	82,04
6			+5	30,95	86,69	54,40	94,12
6н/у			+20	35,70	-	57,80	-
7		1,2	-15	23,86	57,36	31,68	50,85
8			-5	34,74	83,51	46,24	74,22
9			+5	37,51	90,17	57,34	92,04
9н/у			+20	41,60	-	62,30	-
10	0,8	0	-15	15,24	40,75	18,67	45,49
11			-5	29,24	78,18	32,08	78,17
12			+5	30,43	81,36	33,48	81,58
12н/у			+20	37,40	-	41,04	-
13		0,6	-15	20,65	46,19	38,54	71,31
14			-5	31,96	71,48	41,27	76,36
15			+5	32,81	73,38	48,24	89,25
15н/у			+20	44,71	-	54,0,5	-
16		1,2	-15	26,12	57,12	32,76	51,66
17			-5	35,70	78,07	51,57	81,33
18			+5	36,50	79,82	58,72	92,60
18н/у			+20	45,73	-	63,41	-
19	1,0	0	-15	23,10	55,49	27,03	43,80
20			-5	30,45	73,15	52,11	84,44
21			+5	36,68	88,12	54,49	88,29
21н/у			+20	41,63	-	61,71	-
22		0,6	-15	25,16	52,31	35,36	57,46
23			-5	35,53	73,87	54,57	88,67
24			+5	46,24	96,13	60,35	98,07
25н/у			+20	48,10	-	61,54	-
25		1,2	-15	18,45	35,28	38,90	57,78
26			-5	42,76	81,79	58,14	86,36
27			+5	49,40	94,49	60,86	90,40
27н/у			+20	52,28	-	67,32	-

Примітка 1. Курсивом виділені значення міцності бетону при стиску для контрольних зразків, які набирали міцність у нормальних умовах.

Примітка 2. Наведені отримані значення міцності  $f_{cm,cub.3}$ (МПа) у віці 3 діб, що тверділи за зазначеними умовами (відповідно  $-15^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$  і  $+5^{\circ}\text{C}$  з діапазоном  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) та розраховані значення ефективності (відсотку) набору міцності по відношенню до нормальних умов твердіння.

Аналіз ЕС-моделі (4.2) та отриманих відповідних графічних залежностей (рис.4.3-4.5) показує безумовно вирішальну роль температурного фактору. Позитивно на міцність впливає також комплексна добавка Coral Expert Fix12, яка містить прискорювач твердіння, що одночасно діє і як протиморозна добавка. На міцність бетону при стиску у віці трьох діб, що тверділи за різних температурних умов, в найменшій мірі впливає кількість поліпропіленової фібри: коефіцієнт при факторі  $X_2$  – найменший.

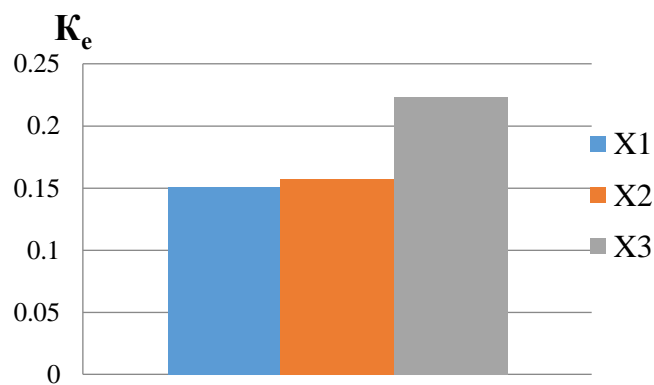


Рис.4.3. Діаграма відносного впливу факторів на 3-добову міцність при стиску модифікованого дрібнозернистого бетону

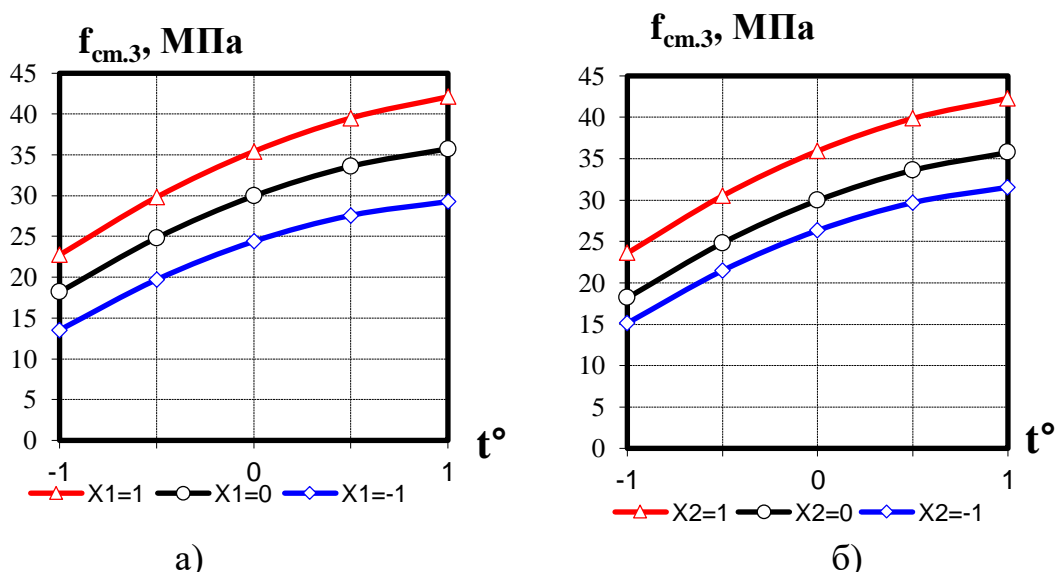


Рис.4.4. Вплив факторів на міцність при стиску дрібнозернистого бетону у віці 3 діб: а) залежно від фактору  $X_3$  ( $X_2=0$ ); б) залежно від фактору  $X_3$  ( $X_1=0$ )



Характерно, що для зразків, які твердіють при більш низькій температурі (рівень фактору  $X_3$  знаходиться ближче до -1), кількість добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 впливає більш суттєво, ніж при твердінні при температурі  $+5^\circ\text{C}$ . Цей факт пояснюється тим, що добавка комплексної дії має пластифікуючу, прискорюючу та протиморозну дію. Найбільший ефект – при мінімальних температурах твердіння. Найбільш міцними у віці 3 діб виявилися склади з кількістю добавки комплексної дії, близькою до максимальної.

Порівнюючи дію комплексної добавки Coral Expert Fix12 з іншими добавками слід відмітити їх цінну особливість поєднувати ефективний пластифікуючий компонент, характерний для полікарбоксилатних суперпластифікаторів, і ефективний прискорюючий та одночасно протиморозний компонент, що дозволяє широко використовувати таку добавку при виконанні бетонних робіт, в тому числі і в морському портовому будівництві.

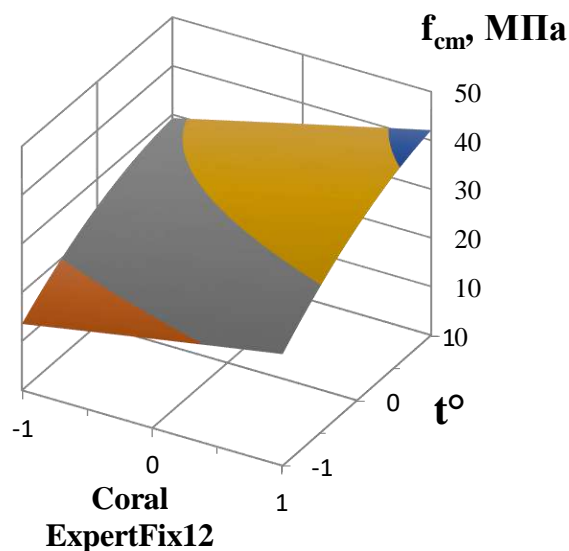


Рис.4.5. Вплив факторів  $X_1$  і  $X_3$  на міцність при стиску дрібнозернистого бетону у віці 3 діб ( $X_2=0$ ).

Найбільшу міцність бетону при стиску у віці 3 діб (25-40 МПа) за нормальних умов твердіння показали склади дрібнозернистого бетону при максимальних витратах добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 (1,0%) та поліпропіленової фібри (1,2 кг/м<sup>3</sup>). За умов твердіння при температурах  $-5\dots+5^\circ\text{C}$  міцність бетону при стиску у віці 3 діб досягає рівня 30 МПа, що

свідчить про можливість їх використання в конструктивах при температурних режимах бетонування відповідно в межах  $-5...+5^{\circ}\text{C}$ . За необхідності виконання бетонних робіт при більш низьких температурах (порядку  $-15^{\circ}\text{C}$ ) міцність бетону при стиску у віці 3 діб досягає рівня  $20...25\text{МПа}$  за рахунок збільшення кількості добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 (до 1,0%) та кількості поліпропіленової фібри Ваусон ( $0,6..1,2\text{кг/м}^3$ ). При такому значенні міцності бетону можна розпочати розпалубочні процеси та продовжувати роботи в необхідному темпі.

Для визначення фактичної ефективності введення добавки комплексної дії та її впливу на процес набору міцності бетону було виготовлено *контрольні зразки бетону варійованого складу*, що тверділи за нормальних умов при температурі  $+20\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Відповідна ЕС-модель (4.3) описує вплив досліджених факторів, включаючи температурні режими твердіння зразків, на набір міцності бетону за зазначеними умовами ( $-15^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$  і  $+5^{\circ}\text{C}$  відповідно з діапазоном  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ )  $f_{cm.cub.3}^t$  по відношенню до міцності бетону контрольних зразків  $f_{cm.cub.3}^{norm}$  (%), що тверділи за нормальних умов, у віці 3 діб:

$$\begin{aligned} \frac{f_{cm.cub.3}^t}{f_{cm.cub.3}^{norm}} (\%) = & 68.64 + 4.78 x_1 \pm 0 x_1^2 - 5.64 x_1 x_2 \pm 0 x_1 x_3 \\ & + 4.00 x_2 + 4.80 x_2^2 \pm 0 x_2 x_3 \\ & + 21.15 x_3 - 6.56 x_3^2 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Тобто наведена вище модель описує вплив варійованих факторів на відносний рівень міцності бетону – відношення у % фактичної міцності бетону при відповідній температурі твердіння та для відповідного складу до міцності бетону того ж складу при твердінні за нормальних умов.

Аналіз ЕС-моделі (4.3) підтверджує вирішальний вплив на набір міцності по відношенню до нормальних умов твердіння саме прийнятого температурного режиму. Відсоток набору міцності суттєво змінюється також при зміні концентрації комплексної добавки. Тобто за рахунок застосування добавки

комплексної дії у кількості 0,8-1% від маси цементу рання міцність складів, що тверділи при низькій температурі (-15°C) була лише на 21% менше міцності бетонів аналогічного складу, що тверділи за нормальних умов. При цьому вплив вмісту фібри також є позитивним, але кількісно незначним у порівнянні з впливом інших факторів.

#### 4.2.2. Міцність бетону при стиску у віці 28 діб

Як відомо і було зазначено вище, «марочна» міцність бетону (тобто у віці 28 діб) є основною проектною вимогою практично для всіх конструкцій, в тому числі при проведенні ремонтно-відновлювальних робіт конструкцій портових гідротехнічних споруд. В окремих випадках ця величина не є визначальною для якості роботи матеріалу, але при відновлювальних роботах міцність дрібнозернистого бетону має знаходитися у близьких межах до проектної міцності відновлювальної конструкції.

Вплив варійованих факторів складу та температури твердіння на міцність бетону при стиску у віці 28 діб описує відповідна ЕС-модель (4.4):

$$\begin{aligned}
 f_{\text{cm.cub28}} \text{ (МПа)} = & 45.57 + 5.19 x_1 + 4.42 x_1^2 \pm 0 x_1x_2 - 1.89 x_1x_3 \\
 & + 6.79 x_2 - 2.27 x_2^2 \pm 0 x_2x_3 \\
 & + 12.33 x_3 - 6.86 x_3^2
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

Аналіз ЕС-моделі (4.4) та побудованих відповідних графічних залежностей (рис.4.6-4.8) показує, що на міцність бетону при стиску у віці 28 діб, що тверділи за різними температурними умовами, в найбільшій мірі впливає саме температура твердіння ( $X_3$ ). При температурі -15 °С міцність бетонів варіюється в діапазоні від 17 до 38 МПа, а при температурі +5°C – від 42 до 55 МПа.

Комплексна добавка суттєво підвищує міцність бетонів при твердінні при знижених температурах. За рахунок збільшення витрати добавки Coral Expert Fix12 до 1,0% міцність бетону підвищується на 12..14 МПа при температурі твердіння -15 °С і на 8..10 МПа при температурі +5 °С. Але на відміну від

результатів досліджень міцності дрібнозернистого бетону при стиску у віці 3 діб, вплив добавки комплексної дії ( $X_1$ ) є менш суттєвим. На 28 добу майже однаковий вплив надають добавка комплексної дії та поліпропіленова фібра (коефіцієнти при змінних  $X_1$  та  $X_2$  – найменші).

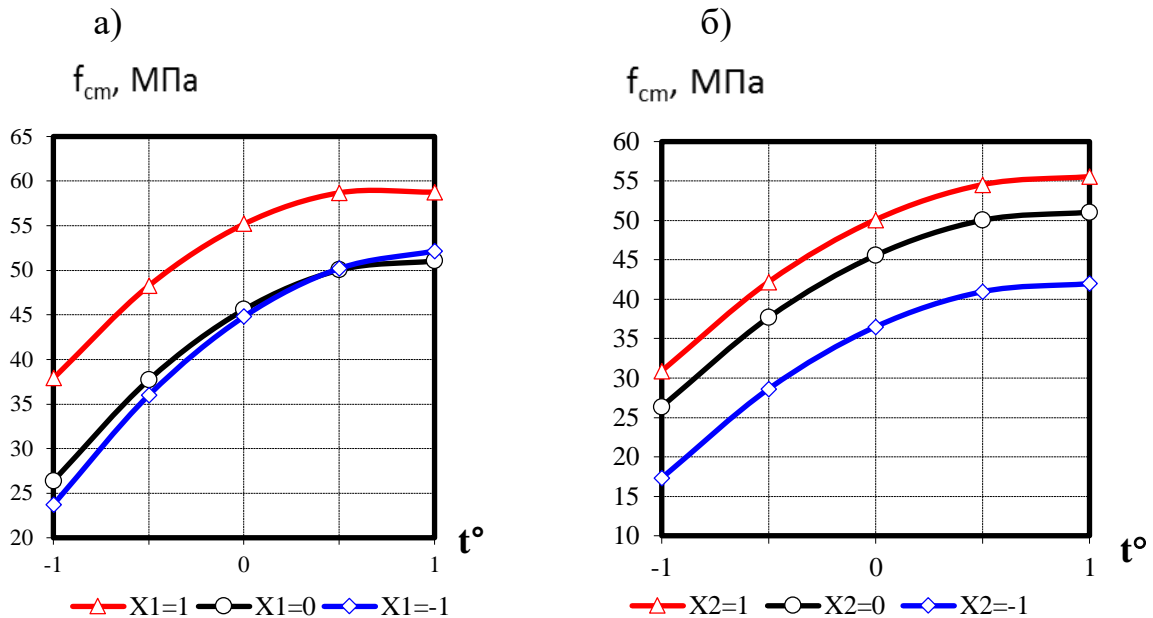


Рис.4.6. Вплив технологічних факторів на міцність модифікованого дрібнозернистого бетону при стиску у віці 28 діб: а) залежно від  $X_3$  ( $X_2=0$ ); б) залежно від  $X_3$  ( $X_1=0$ )

На 28-му добу відносний вплив технологічного фактору  $x_3$  (температури твердіння) на міцність бетону є найменшим серед інших (рецептурних) факторів (рис.4.8).

Сумісний вплив температурних режимів твердіння бетону на ефективність (відсоток) міцності  $f_{cm.cub.3}^t$  (МПа) за зазначеними умовами твердіння (відповідно  $-15^\circ\text{C}$ ,  $-5^\circ\text{C}$  і  $+5^\circ\text{C}$  з діапазоном  $\pm 2^\circ\text{C}$ ) по відношенню до міцності бетону  $f_{cm.cub.3}^{norm}$  (МПа), що твердів за нормальних умов протягом 28 діб, описує відповідна ЕС-модель (4.5):

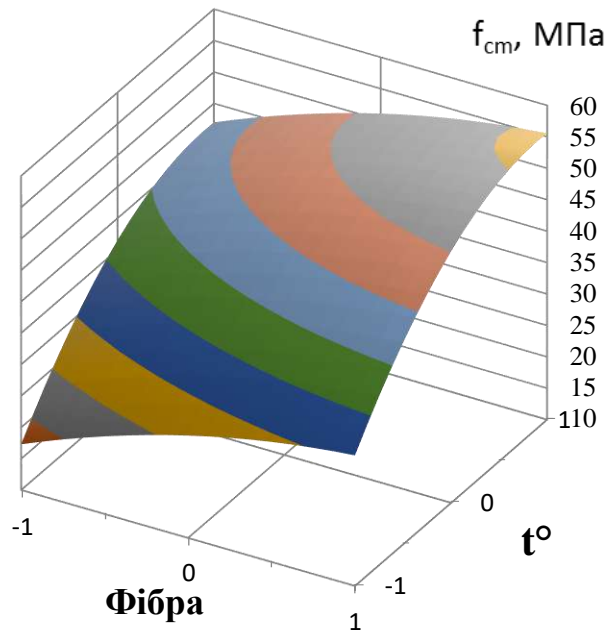


Рис.4.7. Вплив факторів  $X_2$  і  $X_3$  на міцність при стиску дрібнозернистого бетону у віці 28 діб ( $X_2=0$ )

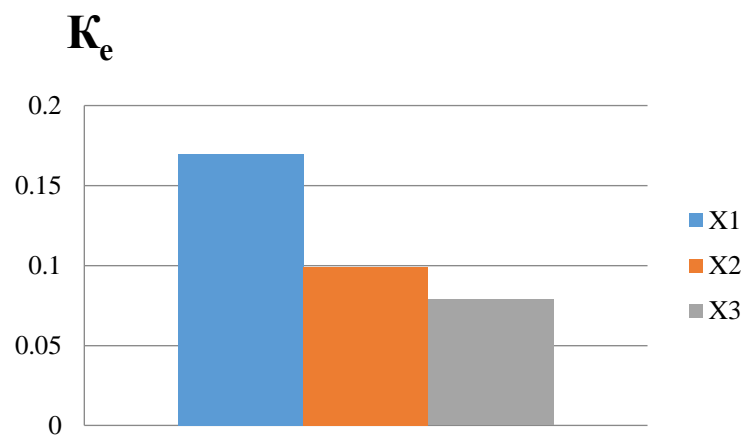


Рис.4.8. Діаграма відносного впливу технологічних факторів на міцність при стиску модифікованого дрібнозернистого бетону у віці 28 діб

$$\begin{aligned}
 \frac{f_{cm.cub.3}^t}{f_{cm.cub.3}^{norm}} (\%) = & 84.09 + 4.33x_1 \pm 0x_1^2 \pm 0x_1x_2 - 4.79x_1x_3 \\
 & + 3.22x_2 - 3.95x_2^2 - 2.69x_2x_3 \\
 & + 21.55x_3 - 12.16x_3^2
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

Аналіз ЕС-моделі (4.5) показує, що процес набору міцності при стиску бетону у 28-добовому віці залежить перш за все від фактору  $X_3$  (температура твердіння). Відстежується така ж закономірність, як у моделі 4.4. В найменшій

мірі на міцність при стиску впливають фактори складу (кількість добавки комплексної дії та поліпропіленової фібри): коефіцієнти при факторах  $X_1$  та  $X_2$  мають майже рівні мінімальні значення.

В цілому аналогічно як і для міцності бетонів у віці 3-х діб, при твердінні за більш низькими температурами (рівень фактору  $X_3$  знаходиться ближче до -1) кількість добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 впливає більш суттєво, ніж при твердінні за більш високими температурами (+5°C). Найбільш міцними у віці 28 діб виявилися склади з кількістю добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 до 1,0% та поліпропіленової фібра Baucon 0,6..1,2 кг/м<sup>3</sup>.

Таким чином, запропоновані технологічні рішення дозволяють отримувати дрібнозернисті бетони, що можуть використовуватися при ремонтно-відновлювальних роботах при низьких температурах повітря, що важливо для портового гідротехнічного будівництва з врахуванням сезонності перевалки вантажів.

#### 4.3.3. Міцність бетону на розтяг при згині

Як зазначалося вище, для конструкцій портових гідротехнічних споруд міцність на розтяг при згині є важливим показником якості, що в значній мірі обумовлює тріщиностійкість бетону, насамперед у розтягнутій зоні. В результаті обстежень портових споруд було встановлено, що руйнування бетону найбільш активно відбувається саме у розтягнутій зоні, отже міцність на розтяг при згині також можна вважати показником якості, що впливає на довговічність бетону в конструкції.

У таблиці 4.4 наведені дані про міцність на розтяг при згині бетону у 9 контрольних точках за нормальних умов твердіння (+20±2°C), при варіюванні факторів складу в діапазоні, обумовленому планом експерименту.

ЕС-модель, що описує вплив факторів складу бетону на його міцність на розтяг при згині у віці 28 діб, має вигляд (4.6):

$$f_{c,tf} \text{ (МПа)} = 8.55 + 0.44 x_1 - 0.18 x_1^2 \pm 0 x_1 x_2 + 0.36 x_2 \pm 0 x_2^2 \quad (4.6)$$

Міцність на розтяг при згині модифікованого дрібнозернистого бетону  
у контрольних точках

№	Рівні факторів		$f_{c.tf}$ (МПа)
	$X_1$ (Coral Expert Fix12), %	$X_2$ (фібра), кг/м <sup>3</sup>	
1-3н/у	0,6	0	7,64
4-6н/у		0,6	7,67
7-9н/у		1,2	8,50
10-12н/у	0,8	0	8,22
13-15н/у		0,6	8,70
16-18н/у		1,2	8,74
19-21н/у	1,0	0	8,46
22-24н/у		0,6	8,74
25-27н/у		1,2	9,22

Аналіз ЕС-моделі (4.6) та графічних залежностей (рис. 4.9, 4.10) показує, що на міцність бетону на розтяг при згині у віці 28 діб за нормальних умов твердіння фактори складу  $x_1$  і  $x_2$  впливають майже однаково – коефіцієнти при  $X_1$  та  $X_2$  близькі за значеннями. При цьому відстежується закономірність – зі збільшенням кількості добавки комплексної дії зростає значення міцності на розтяг при згині.

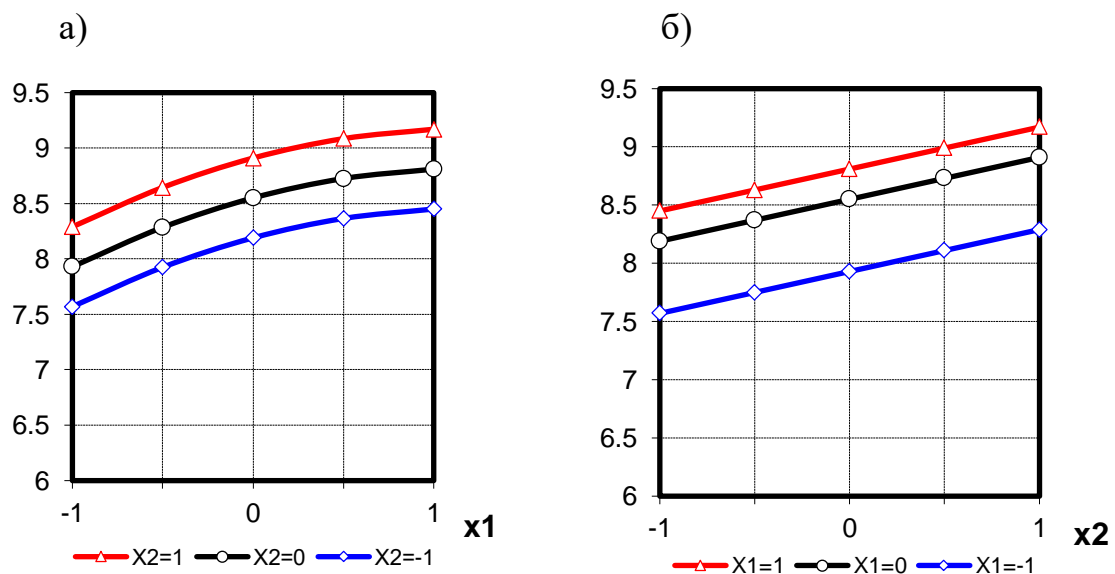


Рис. 4.9. Вплив технологічних факторів на міцність на розтяг при згині модифікованого дрібнозернистого бетону у віці 28 діб: а) залежно від  $X_3$  ( $X_2=0$ ); б) залежно від  $X_3$  ( $X_1=0$ )

Армування фіброю суттєво підвищує міцність бетону на розтяг при згині. За рахунок організації просторової сітки дисперсної арматури величина  $f_{c,tf}$  зростає на 0,7..0,8 МПа, тобто на 10-12%.

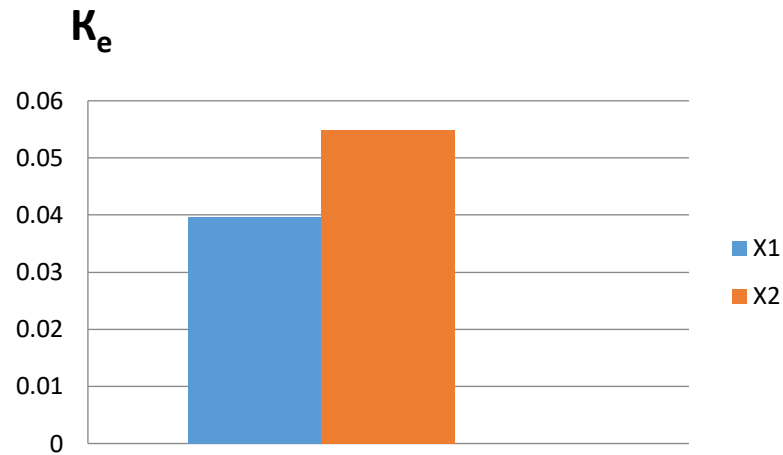


Рис. 4.10. Діаграма відносного впливу факторів на міцність модифікованого дрібнозернистого бетону на розтяг при згині у віці 28 діб.

Таким чином, найбільш міцними (9,0..9,2 МПа) на розтяг при згині у віці 28 діб виявилися склади дрібнозернистого бетону з такими витратами компонентів: добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 0,9..1,0% та поліпропіленової фібри Ваусон 1,0..1,2 кг/м<sup>3</sup>. Це підтверджує ефективність застосування запропонованих рецептурних рішень та відповідає нормованим вимогам щодо міцності на розтяг при згині для конструкцій портових гідротехнічних споруд. Разом з тим, приймаючи до уваги, що міцність на розтяг при згині піщаного бетону виявилась вищою (9,0..12,0 МПа), ніж міцність на розтяг при згині дрібнозернистого бетону, що пояснюється більшою міцністю структурних зв'язків між дрібним заповнювачем (піском), дисперсним армуванням полімерною фіброю та в'язучим, склади дрібнозернистого бетону з заповнювачем до 10 мм можна рекомендувати для відновлення пошкоджень бетону більших за глибиною, ніж товщина захисного шару арматури в конструкції. Для дрібнозернистих бетонів добавка комплексної дії за рахунок зниження В/Ц дає можливість разом з підвищеними показниками міцності при стиску забезпечувати більш міцні зв'язки між заповнювачами, дисперсним



армуванням та цементною матрицею, забезпечуючи при цьому необхідну рухомість суміші.

### **4.3. Дослідження морозостійкості, водонепроникності та стиранності модифікованого дрібнозернистого бетону**

#### *4.3.1. Морозостійкість бетону*

Для конструкцій гідротехнічних портових споруд морозостійкість є важливим показником якості, що в значній мірі визначає довговічність матеріалу в умовах Чорноморсько-Азовського і Дунайського регіону. Як було зазначено у Розділі 2, п.2.2., найбільш руйнівної дії природно-кліматичних умов зазнає бетон конструкцій портових гідротехнічних споруд при поперемінних процесах заморожування та відтавання, насамперед у вологому стані в результаті замочування морською водою [174]. Найбільш активно ці фізико-хімічні процеси відбуваються у зоні змінного горизонту води та безпосередньо над ним. Тому найбільш ефективним шляхом підвищення морозостійкості обрано модифікування дрібнозернистого бетону добавками, що призводять до утворення більшої щільності структури, дозволяють досягнути насамперед зменшення порового простору та зниження капілярного всмоктування, знизити проникність, а також зміцнити адгезійні зв'язки між заповнювачами, дисперсним армуванням та цементною матрицею.

При цьому відомо [86,88], що на морозостійкість бетонів впливає не лише їх склад, але і умови їх твердіння. Відповідно важливим завданням було визначення впливу температури твердіння бетону разом з впливом його складу на морозостійкість матеріалу, що і було реалізовано у експериментальних дослідженнях.

Досліджувався сумісний вплив кількості добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 та поліпропіленової фібри Ваусон, а також температурних умов твердіння на морозостійкість модифікованого дрібнозернистого бетону.

Морозостійкість модифікованого дрібнозернистого бетону при твердінні в  
різних температурних режимах

№	Склад бетону			F, цикли	Показник ефективності, %
	X <sub>1</sub> Coral Expert Fix12, %	X <sub>2</sub> Фібра, кг/м <sup>3</sup>	X <sub>3</sub> Температура, °C		
1	0,6	0	-15	200	50,00
2			-5	300	75,00
3			+5	300	75,00
3н/у			+20±2	400	-
4		0,6	-15	250	62,50
5			-5	250	62,50
6			+5	300	75,00
6н/у			+20±2	400	-
7		1,2	-15	250	62,50
8			-5	250	62,50
9			+5	300	75,00
9н/у			+20±2	400	-
10	0,8	0	-15	200	66,67
11			-5	250	83,33
12			+5	250	83,33
12н/у			+20±2	300	-
13		0,6	-15	250	62,50
14			-5	300	75,00
15			+5	400	75,00
15н/у			+20±2	400	-
16		1,2	-15	250	62,50
17			-5	300	75,00
18			+5	400	75,00
18н/у			+20±2	400	-
19	1,0	0	-15	250	62,50
20			-5	300	75,00
21			+5	350	87,50
21н/у			+20±2	400	-
22		0,6	-15	300	60,00
23			-5	350	70,00
24			+5	350	70,00
25н/у			+20±2	500	-
25		1,2	-15	300	60,00
26			-5	350	70,00
27			+5	400	80,00
27н/у			+20±2	500	-

Для визначення ефективності добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 та її впливу на морозостійкість бетону було виготовлено контрольні зразки бетону варійованого складу, що тверділи за нормальними умовами (температура  $+20\pm 2^\circ\text{C}$ ). У таблиці 4.5. наведені отримані значення морозостійкості  $F$  (цикли) у віці 28 діб при твердінні за зазначеними умовами (відповідно  $-15^\circ\text{C}$ ,  $-5^\circ\text{C}$  і  $+5^\circ\text{C}$  з діапазоном  $\pm 2^\circ\text{C}$ ) та розрахункові показники ефективності (%) впливу добавки комплексної дії.

Вплив кількості добавки комплексної дії, поліпропіленової фібри та температурних умов твердіння на морозостійкість дрібнозернистого бетону описує відповідна ЕС-модель (4.7):

$$\begin{aligned}
 F(\text{цикли}) = & 305 + 36 x_1 \pm 0 x_1^2 \pm 0 x_1 x_2 \pm 0 x_1 x_3 \\
 & + 25 x_2 \pm 0 x_2^2 \pm 0 x_2 x_3 \\
 & + 58 x_3 \pm 0 x_3^2
 \end{aligned}
 \quad (4.7)$$

Аналіз відповідної ЕС-моделі (4.7) та графіків (рис.4.11, 4.12) показує, що на морозостійкість дрібнозернистого бетону за умов твердіння у різних температурних режимах, в найбільшій мірі впливає кількість комплексної добавки, в найменшій – кількість поліпропіленової фібри.

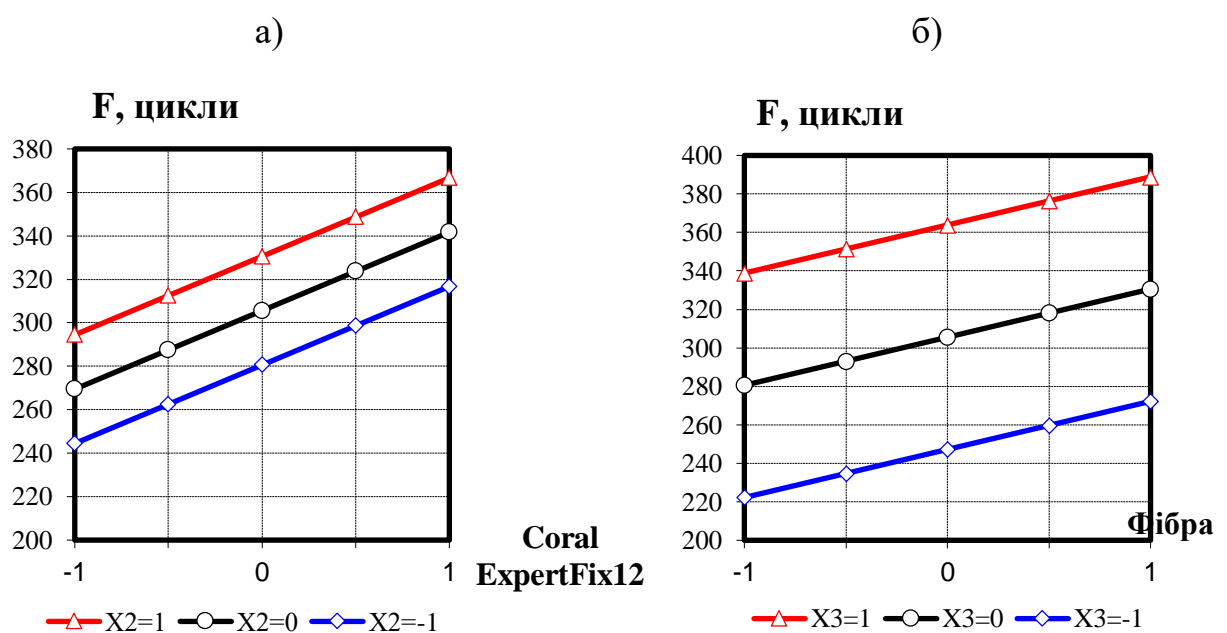


Рис.4.11. Вплив технологічних факторів на морозостійкість модифікованого дрібнозернистого бетону: а) залежно від  $X_3$  ( $X_2=0$ ); б) залежно від  $X_3$  ( $X_1=0$ )

При витраті добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 1,0% та за умов твердіння при температурі  $-15^{\circ}\text{C}$  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.4.12).

Встановлено, що саме кількість добавки комплексної дії та температура твердіння надають найбільш суттєвий вплив на рівень морозостійкості.

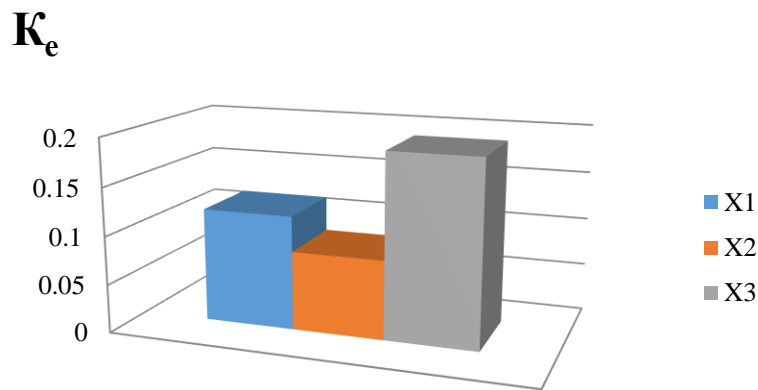


Рис.4.12. Діаграма відносного впливу факторів на морозостійкість модифікованого дрібнозернистого бетону

Таким чином, завдяки прийнятим рецептурним рішенням бетон набуває необхідного рівня морозостійкості відповідно до залежності «категорія дефекту – склад бетону» навіть при виконанні робіт при від’ємних температурах.

Також в рамках досліджень було проведено порівняння морозостійкості дрібнозернистих бетонів, що тверділи при низьких температурах (від  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $+5^{\circ}\text{C}$ ) та аналогічних бетонів, що тверділи в нормальних умовах. Таке дослідження виявляє ступень впливу умов твердіння на даний показник якості.

Відповідна ЕС-модель (4.8) описує вплив варійованих факторів на показники ефективності добавки комплексної дії (%) при різних температурах твердіння бетону. Показник ефективності добавки розраховується як відношення морозостійкості бетону при твердінні за температури  $-15^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $+5^{\circ}\text{C}$  відповідно ( $F^{\text{var}}$ ) до морозостійкості бетону при твердінні за нормальних умов ( $F^{\text{norm}}$ ):

$$\begin{aligned} \frac{F^{var}}{F^{norm}} (\%) = & 72.99 + 1.94 x_1 - 4.54 x_1^2 \pm 0 x_1 x_2 \pm 0 x_1 x_3 \\ & - 1.99 x_2 + 3.10 x_2^2 - 1.81 x_2 x_3 \\ & + 8,15 x_3 - 2,87 x_3^2 \end{aligned} \quad (4.8)$$

Аналіз ЕС-моделі (4.8) показує, що на показники ефективності добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 у віці 28 діб найбільш впливає фактор  $X_3$  (температура твердіння). Відстежується така ж закономірність, як у моделі 4.7. В найменшій мірі впливають фактори складу (кількості добавки комплексної дії та поліпропіленової фібри): коефіцієнти при факторах  $X_1$  та  $X_2$  мають майже рівні мінімальні значення.

Внаслідок інтенсифікації росту новоутворень і збільшення дисперсності продуктів гідратації зростає загальна мікропористість без зміни кількості залученого повітря та при зниженні відкритої пористості.

Підсумовуючи дослідження впливу складу та умов твердіння на морозостійкість дрібнозернистого бетону можна сказати, що за допомогою використання обраних рецептурних прийомів, а саме добавки комплексної дії (пластифікуюча, протиморозна та прискорювач) та дисперсного армування полімерною фіброю вдається суттєво підвищити рівень морозостійкості матеріалу [85-88]. Слід виділити основні очікувані результати введення дослідженого комплексу модифікаторів: зменшення об'єму відкритих пор, які заповнюються водою; створення раціонального порового простору, що знижує розвиток деструктивних процесів при льодоутворенні; зменшення капілярної пористості і зниження капілярного всмоктування. Наявність таких процесів в бетоні досліджуваних складів можливо встановити шляхом подальшого дослідження його структури за допомогою методів електронної мікроскопії та рентгенофазового аналізу.

Також за рахунок модифікування, разом з досягненням високих значень морозостійкості, забезпечуються значення міцності при стиску та на розтяг при згині вище унормованих показників для конструкцій портових гідротехнічних споруд – саме завдяки зазначеним фізико-хімічним процесам у структурі бетону, які забезпечили його стійкість до морозного руйнування [11,89]. До цих

процесів відносяться: адгезійна здатність заповнювачів; зниження водоцементного відношення, вплив якого краще проявляється для рухливих бетонних сумішей; зниження капілярної пористості.

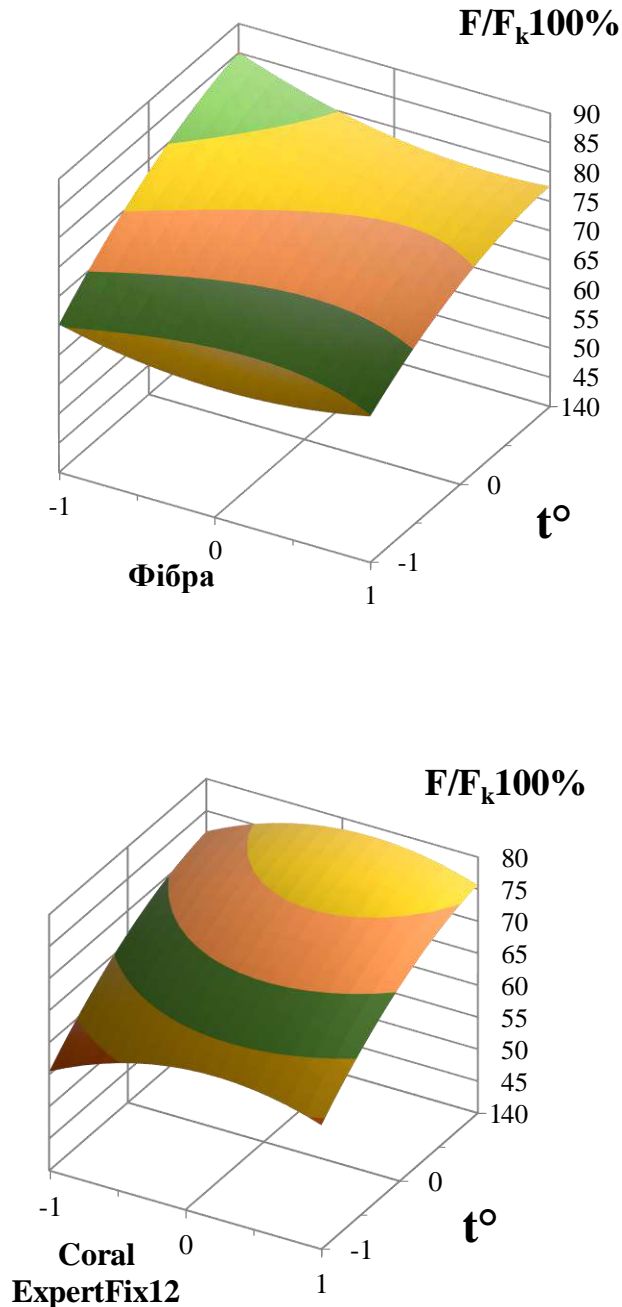


Рис. 4.13. Ефективність впливу досліджуваних факторів на відношення морозостійкості (F) дрібнозернистого бетону в температурному інтервалі твердіння (-15...-5°C) до морозостійкості ( $F_k$ ) бетону, що твердів 28 діб за нормальних умов

Аналіз графічних залежностей (рис.4.13) показав, що необхідне для забезпечення морозостійкості та міцності на розтяг при згині введення полімерної фібри у дозуваннях, близьких до максимальних, яке впливає на В/Ц, нівелюється введенням добавки суперпластифікатору полікарбоксилатного типу, що надає суміші необхідної рухомості та забезпечує прискорення строків твердіння. Таким чином за допомогою обраних модифікаторів забезпечуються основні технологічні вимоги до бетону при проведенні ремонтно-відновлювальних робіт: прискорення робіт з опалубкою, укладання бетону у густоармовані конструкції чи у важкодоступних місцях пошкоджень, виключення необхідності прогріву свіжовкладеного бетону та прискорення будівельних робіт на об'єкті в цілому.

#### *4.3.2. Водонепроникність та стиранність бетону*

Для бетону конструкцій морських портових гідротехнічних споруд ще в типових проектах пред'являються підвищені вимоги до водонепроникності, не нижче W6 [1-4]. Проте проведений аналіз результатів інженерних обстежень фактичного технічного стану бетону показав, що на практиці, найчастіше, не вдалось досягти цілісності захисного шару бетону по відношенню до арматури внаслідок сукупності технологічних та експлуатаційних факторів, що було описано у розділах 1 та 2, пункти 1.1 та 2.2. відповідно. Тому в рамках дослідження визначенню впливу факторів складу на водонепроникність дрібнозернистого бетону приділено відповідну увагу.

У таблиці 4.6. наведені результати випробувань на водонепроникність та стиранність бетону у 9 контрольних точках, в яких варіювалася кількість добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 та поліпропіленової фібри Ваусон в діапазоні, визначеному умовами експерименту.

Можна припустити, що обраний комплексний модифікатор, який за рахунок впливу на структуру забезпечив досягнення підвищених показників міцності при стиску, міцності на розтяг при згині та морозостійкості, також сприятиме підвищенню водонепроникності дрібнозернистих бетонів. Досягнення також високої водонепроникності одночасно з високою

морозостійкістю дасть можливість стверджувати, що для конструкцій портових гідротехнічних споруд буде забезпечено довговічність при використанні дрібнозернистих бетонів рекомендованого складу у ремонтно-відновлювальних роботах та при виготовленні нових конструкцій.

Таблиця 4.6.

Водонепроникність та стиранність модифікованого дрібнозернистого бетону

№	Склади бетону				Водонепроникність, МПа·10 <sup>-1</sup>	Стиранність, г/см <sup>2</sup>
	Цемент (кг/м <sup>3</sup> )	Coral Expert Fix12, %	Фібра, кг/м <sup>3</sup>	Температура, °С		
1-3н/у	500	0,6	0	+20±2	12	0,50
4-6н/у		0,6	0,6		10	0,38
7-9н/у		0,6	1,2		10	0,36
10-12н/у		0,8	0		14	0,36
13-15н/у		0,8	0,6		14	0,34
16-18н/у		0,8	1,2		12	0,32
19-21н/у		1,0	0		14	0,34
22-24н/у		1,0	0,6		14	0,33
25-27н/у		1,0	1,2		14	0,30

Відповідна ЕС-модель, що описує вплив факторів складу бетону на його водонепроникність у віці 28 діб, має вигляд (4.9):

$$W \text{ (МПа} \cdot 10^{-1}) = 13.33 + 1.67 x_1 - 1.00 x_1^2 + 0.50 x_1 x_2 - 0.67 x_2 \pm 0 x_2^2 \quad (4.9)$$

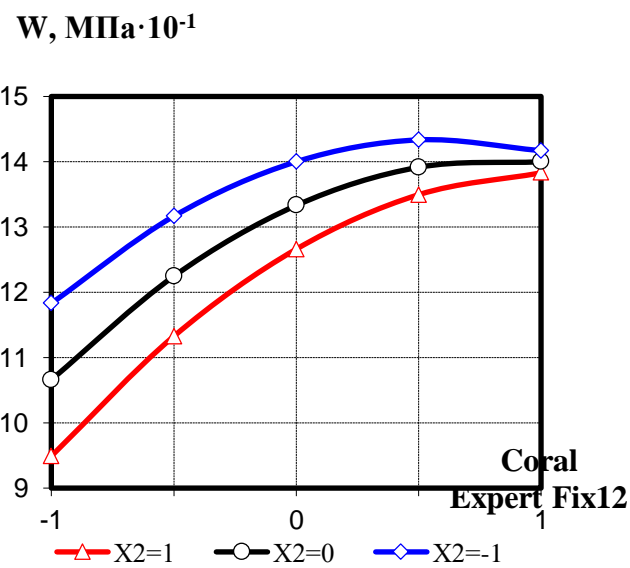
Аналіз ЕС-моделі (4.9) показує, що на водонепроникність бетонів, які тверділи за нормальних температурних умов (+20±2°С), в найбільшій мірі впливає кількість добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 (рис.4.14).

Очікувано добавка Coral Expert Fix12 за умов відповідних витрат надала дрібнозернистому бетону більшої щільності структури при необхідній рухомості суміші (за рахунок зниження В/Ц) та прискореного темпу твердіння.



Це в свою чергу забезпечило високі показники водонепроникності внаслідок зменшення загальної пористості, рівномірного розподілу полімерної фібри та покращення адгезійних зв'язків між компонентами бетону. Так само, як для морозостійкості, при відповідній витраті добавка комплексної дії Coral Expert Fix12 знівелювала ефект від витрат полімерної фібри, близьких до максимальних. Завдяки цьому отримані високі значення водонепроникності дрібнозернистого бетону досліджуваного складу.

а)



б)

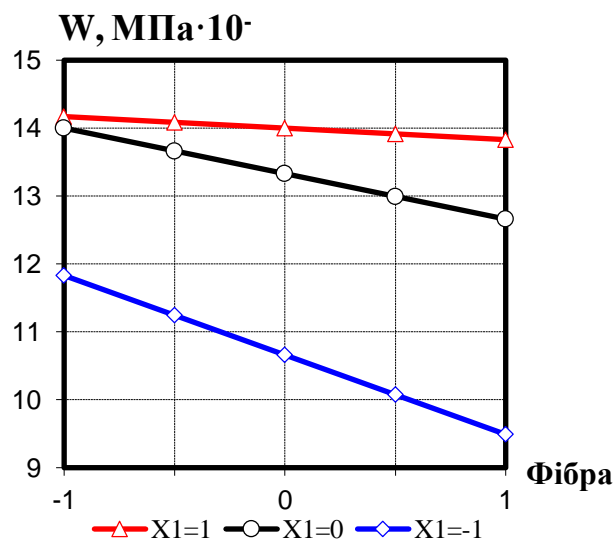


Рис. 4.14. Вплив факторів складу на водонепроникність модифікованого дрібнозернистого бетону у віці 28 діб: а) залежно від  $X_1$ ; б) залежно від  $X_2$

На рис.4.15 показана графічна залежність, яка побудована за моделлю (4.9) та відображає вплив кількості добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 та поліпропіленової фібри Ваусон на водонепроникність модифікованого дрібнозернистого бетону. Аналіз діаграми (рис.4.15) свідчить, що кількість добавки комплексної дії більш суттєво впливає на водонепроникність, ніж кількість фібри. Цей факт пояснюється тим, що, як зазначено вище, добавка комплексної дії Coral Expert Fix12 сприяє зниженню значень В/Ц та, як наслідок, зменшенню кількості відкритих пор.

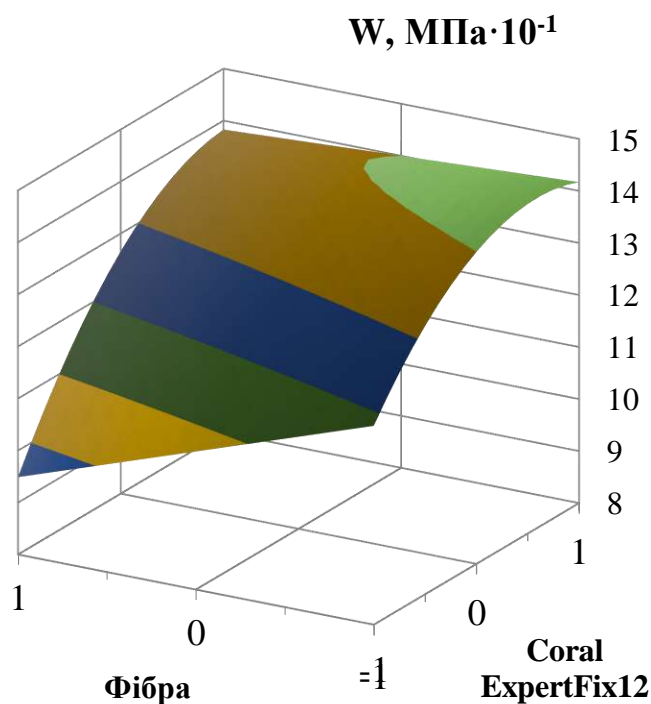


Рис.4.15. Вплив факторів  $X_1$  і  $X_2$  на водонепроникність модифікованого дрібнозернистого бетону у віці 28 діб

Важливо, що водонепроникність досліджуваних бетонів досягла W14, що свідчить про можливість їх використання в конструкціях морських портових гідротехнічних споруд, для яких діють підвищені вимоги з проникності морської води. Це дозволяє забезпечити водонепроникність бетону захисного шару конструкцій по відношенню до арматури та виключить можливість капілярного підсосу та проникнення морської води всередину бетону.

Таким чином підтверджується висунуте припущення, що використання обраного комплексу модифікаторів дало можливість досягти підвищених показників водонепроникності дрібнозернистого бетону разом із забезпеченням необхідного рівня інших фізико-механічних та технологічних властивостей.

Як було зазначено у попередніх розділах дисертаційного дослідження (Розділ 1 п.1.2, Розділ 3 пп.3.4.3) стиранність розглядалася як здатність матеріалу змінюватися в об'ємі і масі під дією стираючих зусиль. Абразивне руйнування відбувається за рахунок стираючого й ударного впливів (як правило дія льоду та наносів, зважених у воді твердих часток) [136-138]. Дослідження впливу обраних факторів на стираність піщаного бетону у Розділі 3 показало, що стійкість бетону до абразивного впливу підвищується зі зниженням В/Ц. Тому поставлено завдання визначення впливу добавки комплексної дії та дисперсного армування полімерною фіброю на рівень стійкості до стирання дрібнозернистого бетону.

Стійкість до стирання розглядалася у 9 контрольних точках, в яких варіювалася кількість добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 та поліпропіленової фібри Ваусон в діапазоні, визначеному умовами експерименту. Результати випробувань на стираність бетону наведені у таблиці 4.6.

Відповідна ЕС-модель, що описує вплив факторів складу бетону на його стиранність у віці 28 діб, має вигляд (4.10):

$$G_1(\text{г/см}^2) = 0.342 - 0.030 x_1 + 0.010 x_1^2 \pm 0 x_1 x_2 - 0.020 x_2 - 0.003 x_2^2 \quad (4.10)$$

Аналіз ЕС-моделі (4.10) показує, що на стиранність дрібнозернистих бетонів у віці 28 діб, які тверділи в нормальних температурних умовах (+20±2°C), перелічені фактори впливають практично рівнозначно.

На рис.4.17 показана побудована за моделлю (4.10) діаграма, що відображає вплив кількості добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 та поліпропіленової фібри Ваусон на стиранність дрібнозернистого бетону. Аналіз

діаграми (рис.4.17) свідчить, що добавка комплексної дії суттєво впливає на стиранність бетону, так само як і кількість фібри. Цей факт пояснюється тим, що добавка комплексної дії Coral Expert Fix12 сприяє зниженню значень В/Ц та, як наслідок, утворенню більш міцних зв'язків цементно-піщаної матриці.

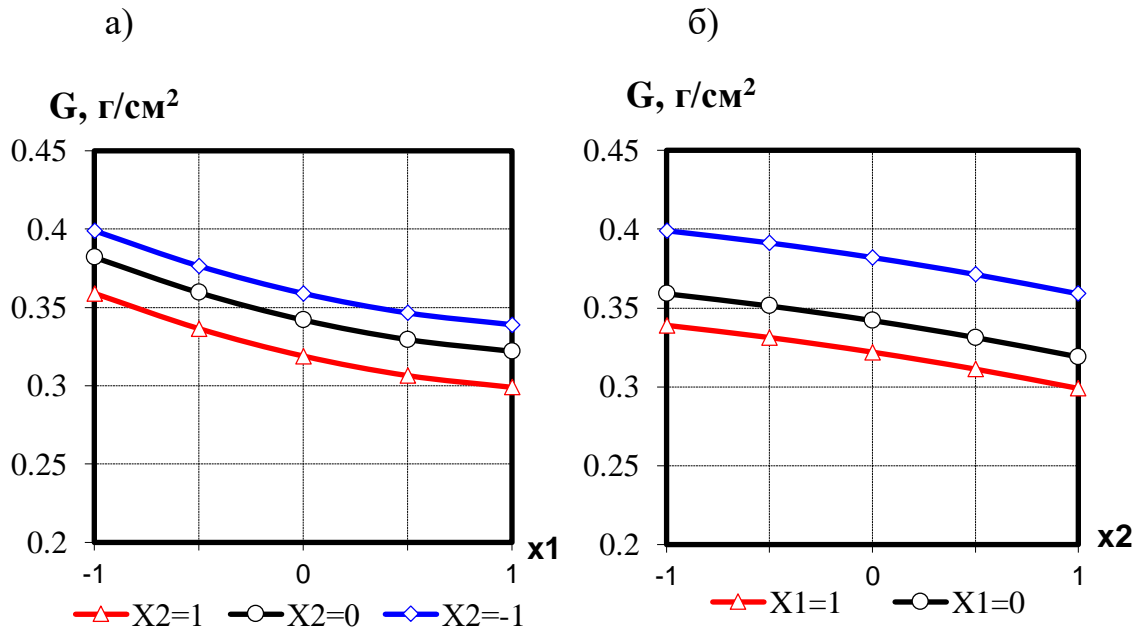


Рис. 4.16. Вплив варійованих факторів складу на стиранність модифікованого дрібнозернистого бетону: а) залежно від  $X_1$ ; б) залежно від  $X_2$

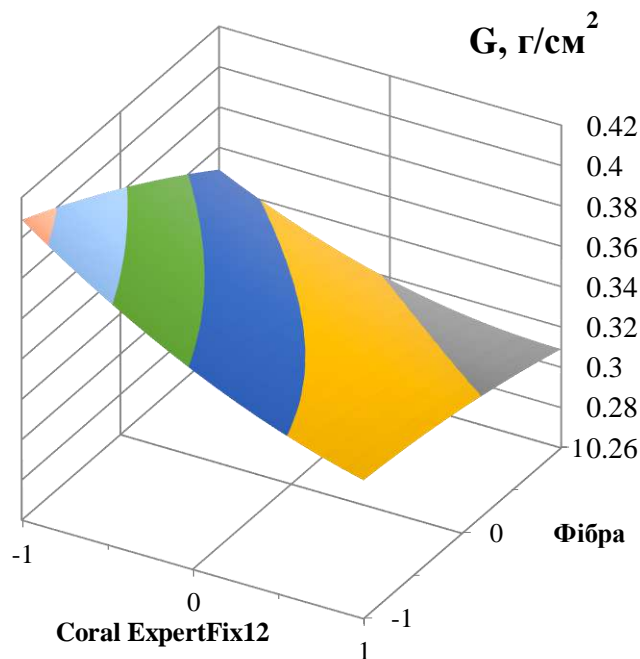


Рис.4.17. Вплив факторів  $X_1$  (вміст добавки комплексної дії) і  $X_2$  (вміст поліпропіленової фібри) на стиранність модифікованого дрібнозернистого бетону

Підтверджено припущення, що стійкість бетону до абразивного впливу підвищується зі зниженням В/Ц в результаті водоредукуючого ефекту, збільшенням витрати добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 і відповідно міцності бетону.

Фібра сприяє підвищенню зносостійкості бетону за рахунок утворення дисперсної сітки арматури, яка утримує окремі блоки матеріалу від руйнування під абразивним впливом.

Таким чином, отриманий комплекс математичних моделей дозволив розробити склади модифікованого дрібнозернистого бетону для конструкцій морських портових гідротехнічних споруд з нормованими параметрами при нормальних та знижених температурах твердіння:

- цемент 500 кг/м<sup>3</sup>;
- пісок 716..723 кг/м<sup>3</sup>;
- щебінь 1103..1107кг/м<sup>3</sup>;
- добавка комплексної дії Coral Expert Fix12 4..5 кг/м<sup>3</sup> (0,8..1,0%);
- поліпропіленова фібра Ваусон 0,8..1,0 кг/м<sup>3</sup>;
- вода – 155..160 л/м<sup>3</sup>.

#### **4.4. Дослідження структури модифікованого дрібнозернистого бетону**

##### *4.4.1. Мікроскопічний аналіз*

Структура дослідженого модифікованого дрібнозернистого бетону проаналізована кількома методами. Зокрема, проводився аналіз структури модифікованого бетону методом електронної мікроскопії. На прикладі зразків №1-3 (при збільшенні до 1×3000) були зроблені фото структури цементно-піщаної матриці бетону. Досліджувались зразки двох складів: 1) без фібри, з вмістом добавки комплексної дії, що включала суперпластифікатор полікарбоксилатного типу та прискорювач твердіння, Coral Expert Fix12 – 5,0 кг/м<sup>3</sup> за нормальних умов твердіння; 2) без фібри, з вмістом добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 – 3,0 кг/м<sup>3</sup> за нормальних умов твердіння та при -15°C протягом 28 діб. Окремі фото, отримані в даних дослідженнях, наведені на рис.4.18.

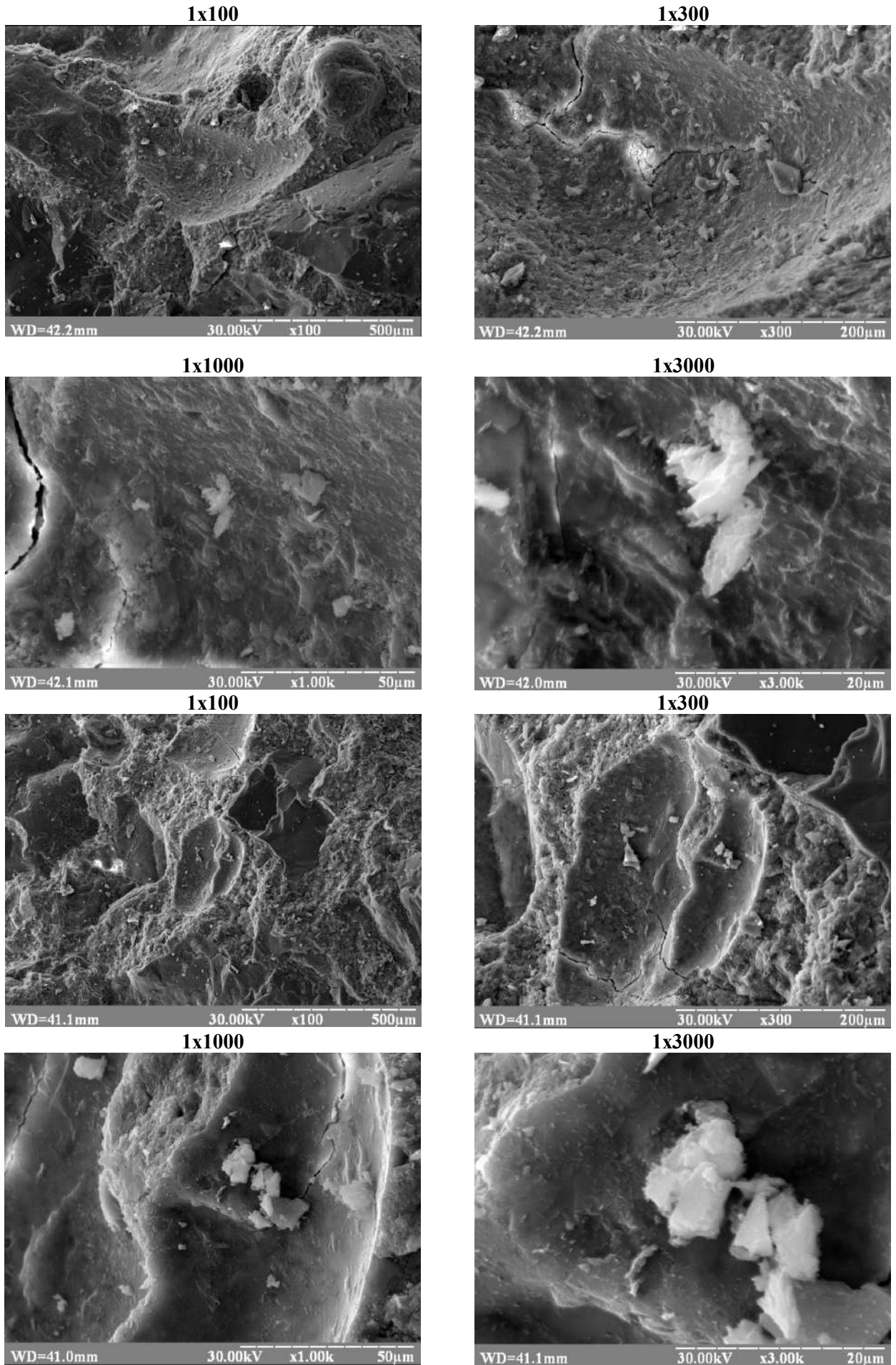


Рис. 4.18. Мікроструктура цементно-піщаної матриці досліджених модифікованих дрібнозернистих бетонів

Як можна побачити, пори в контактній зоні заповнювача в дрібнозернистому бетоні переважно закольматовані кристалами голчатого типу, що забезпечує низьку проникність пор для рідини [103]. Це показує ефективність введення в бетонну суміш комплексної добавки, що містить ефективний суперпластифікатор полікарбосилатного типу та прискорювач твердіння, які сприяють збільшенню продуктів гідратації, зменшенню радіусу пор і заповненню їх продуктами 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 розчинній частині та рівномірний розподіл в матеріалі волокон поліпропіленової фібри.

Це підтверджує ефективність використаних рецептурних прийомів при управлінні структурою модифікованого дрібнозернистого бетону, що спрямовано на забезпечення його фізико-механічних властивостей та довговічності матеріалу.

#### 4.4.2. Рентгеноструктурний аналіз

Згідно до плану дослідження був проведений рентгенофазовий аналіз структури окремих зразків цементно-піщаної матриці модифікованих дрібнозернистих бетонів.

Рентгенофазовий аналіз виконано на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-2 у монохроматизованому Со-К  $\alpha$ -випромінюванні ( $\gamma=1.7902\text{\AA}$ ). Ідентифікація сполук (фаз) проводилась шляхом порівняння міжплощинних відстаней ( $d, \text{\AA}$ ) та відносних інтенсивностей ( $I_{\text{отн}} - I/I_0$ ) експериментальної кривої з даними електронної картотеки PCPDFWIN. Нижче наведені результати ідентифікації фазового складу досліджених зразків.

Зразок складу №19-21. Твердіння проходило за нормальних умов протягом 28 діб.

	Цемент	Пісок	Щебінь	Добавка	Фібра	Вода
Вміст, кг/м <sup>3</sup>	500	723	1107	5,0	0	150

Спостерігаються фази:  $\text{CaSiO}_3$  (№ за картотекою JCPDS 45–156 (Електронна картотека PCPDFWIN)) – 56%,  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{O}_5$  (№ за картотекою JCPDS 33–252 (Електронна картотека PCPDFWIN)) – 8%,  $\text{SiO}_2$  а-кварц (№ за картотекою JCPDS 83–2465 (Електронна картотека PCPDFWIN)) – 21%,  $\text{SiO}_2$  а-кристобаліт (№ зі картотекою JCPDS 82–1233 (Електронна картотека PCPDFWIN)) – 6%,  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (№ за картотекою JCPDS 75–783 (Електронна картотека PCPDFWIN)) – 6%, невизначена фаза – 3%.

Зразок складу №1-3. Твердіння проходило за температурою  $-15^\circ\text{C}$  протягом 28 діб.

	Цемент	Пісок	Щебінь	Добавка	Фібра	Вода
Вміст, $\text{кг/м}^3$	500	720	1105	3,0	0	162

Спостерігаються фази:  $\text{CaSiO}_3$  (№ за картотекою JCPDS 45–156 (Електронна картотека PCPDFWIN)) – 54%,  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{O}_5$  (№ за картотекою JCPDS 33–252 (Електронна картотека PCPDFWIN)) – 12%,  $\text{SiO}_2$  а-кварц (№ за картотекою JCPDS 83–2465 (Електронна картотека PCPDFWIN)) – 19%,  $\text{SiO}_2$  а-кристобаліт (№ за картотекою JCPDS 82–1233 (Електронна картотека PCPDFWIN)) – 5%,  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (№ за картотекою JCPDS 75–783 (Електронна картотека PCPDFWIN)) – 7%, невизначена фаза – 3%.

Зразок складу №1-3. Твердіння проходило за нормальними умовами протягом 28 діб.

	Цемент	Пісок	Щебінь	Добавка	Фібра	Вода
Вміст, $\text{кг/м}^3$	500	720	1105	3,0	0	162

Спостерігаються фази:  $\text{CaSiO}_3$  (№ за картотекою JCPDS 45–156 (Електронна картотека PCPDFWIN)) – 56%,  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{O}_5$  (№ за картотекою JCPDS 33–252 (Електронна картотека PCPDFWIN)) – 8%,  $\text{SiO}_2$  а-кварц (№ за картотекою JCPDS 83–2465 (Електронна картотека PCPDFWIN)) – 20%,  $\text{SiO}_2$  а-кристобаліт (№ за картотекою JCPDS 82–1233 (Електронна картотека PCPDFWIN)) – 6%,  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (№ за картотекою JCPDS 75–783 (Електронна картотека PCPDFWIN)) – 7%, невизначена фаза – 3%.

Рентгенівські дифрактограми досліджуваних зразків показані на рис.4.19.



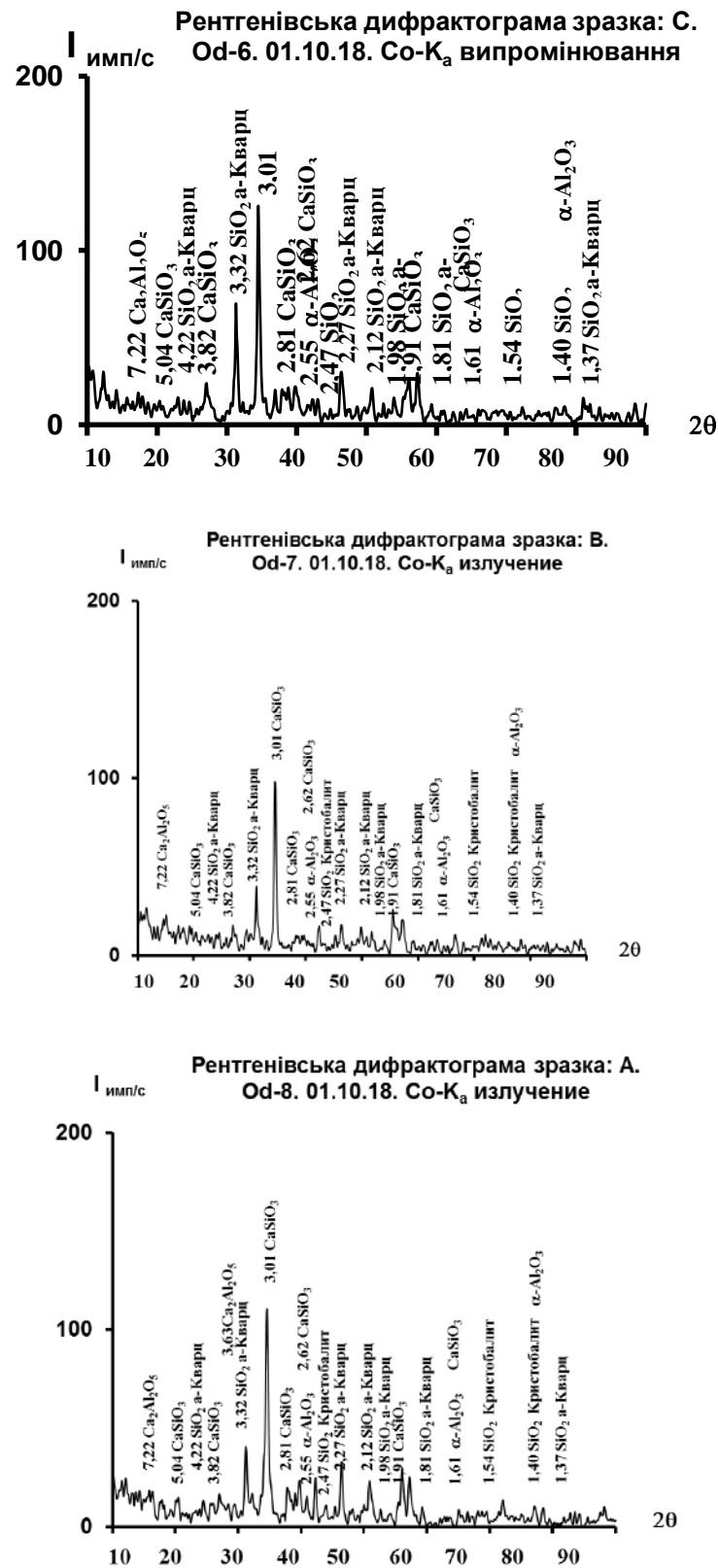


Рис.4.19. Рентгенівські дифрактограми цементно-піщаної матриці досліджених модифікованих дрібнозернистих бетонів з заповнювачем фракції до 10мм.

Всі досліджені зразки цементно-піщаної матриці мали досить близький фазовий склад, характерний при застосуванні суперпластифікатора і прискорювача твердіння.

Таким чином за допомогою методів дослідження структури дрібнозернистого бетону методами електронної мікроскопії та рентгенофазового аналізу підтверджено очікувані результати введення дослідженого комплексу модифікаторів, а саме зафіксовано зменшення об'єму відкритих пор, які заповнюються водою; створення раціонального порового простору, що знижує розвиток деструктивних процесів при льодоутворенні; зниження капілярного всмоктування.

#### ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Виконано дослідження модифікованого дрібнозернистого бетону з визначенням його основних фізико-механічних властивостей: водопотреби та В/Ц бетонної суміші, міцності при стиску, міцності на розтяг при згині, морозостійкості, водонепроникності та стійкості до стирання. При цьому досліджувалась міцність бетону при стиску у віці 3 та 28 діб. Для визначення ефективності введення добавки комплексної дії та її впливу на процес набору міцності бетону при стиску та морозостійкість також досліджені контрольні зразки варійованого складу, що тверділи за нормальних умов ( $+20\pm 2^\circ\text{C}$ ).

2. Оцінено вплив добавки комплексної дії, що включає суперпластифікатор та прискорювач твердіння, а також дисперсного армування на фізико-механічні властивості модифікованого дрібнозернистого бетону з заповнювачем фракції до 10 мм при різних температурних режимах твердіння. Доведена можливість досягнення комплексу підвищених фізико-механічних властивостей модифікованого дрібнозернистого бетону при введенні комплексної добавки, що включає суперпластифікатор полікарбосилатного типу та прискорювач твердіння, а також поліпропіленової фібри. За умов зниженого В/Ц (0,28...0,30) бетони при температурі твердіння  $-5...+5^\circ\text{C}$  мають міцність при стиску у віці 3 діб до 35 МПа; за умов твердіння при температурі  $-15^\circ\text{C}$  від 20 до 25 МПа. За нормальних умов твердіння міцність при стиску у віці 28 діб досягає 58 МПа; при твердінні при температурі  $-15^\circ\text{C}$  від 25 до 40 МПа, при  $-5...+5^\circ\text{C}$  – від 36 до 55 МПа. Тобто за необхідністю виконання бетонних робіт при низьких

температурах (-15 °C) необхідна міцність бетону при стиску досягається за рахунок збільшення кількості добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 (до 1,0%) та кількості поліпропіленової фібри Ваусон (0,6...1,2 кг/м<sup>3</sup>). За таких умов можна проводити розпалубочні процеси та продовжувати роботи в необхідному темпі. Міцність на розтяг при згині модифікованого дрібнозернистого бетону за нормальних умов твердіння досягає рівня 9,2 МПа.

3. Морозостійкість бетону за нормальних умов твердіння дорівнює F400...500 при витратах добавки комплексної дії 0,8...1,0% та фібри від 0,8 до 1,2 кг/м<sup>3</sup>. Доведено, що за рахунок збільшення кількості до 1,0% добавки Coral Expert Fix12 при твердінні дрібнозернистого бетону при температурі -15°C морозостійкість досягає рівня F200...300. Саме за рахунок своєї пластифікуючої та прискорюючої дії найбільший ефект добавки виявляється при найнижчих температурах твердіння. За умов забезпечення максимальної міцності модифікованого бетону рекомендованого складу водонепроникність досягає рівня W12...14, стійкість до стирання  $G_1=0,3...0,4$  г/см<sup>2</sup>.

4. Доведена можливість практичного використання модифікованих дрібнозернистих бетонів з заповнювачем фракції до 10 мм для усунення пошкоджень глибиною від 5,0 до 20,0 см, а також для виготовлення нових конструктивних елементів.

5. Досліджено структуру модифікованого дрібнозернистого бетону за допомогою рентгенофазового та електронного мікроскопічного аналізів. Підтверджено ефективність рекомендованих методів модифікування дрібнозернистого бетону з заповнювачем фракції до 10 мм.

Результати досліджень щодо складів модифікованого дрібнозернистого бетону з заповнювачем фракції до 10 мм слід розглядати разом з результатами інженерних обстежень та запропонованою залежністю «категорія дефекту – склад бетону».

## **РОЗДІЛ 5. ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СКЛАДІВ МОДИФІКОВАНИХ БЕТОНІВ ДЛЯ КОНСТРУКЦІЙ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ**

### **5.1. Обґрунтування результатів аналізу залежності «категорія дефекту – склад бетону»**

Кінцевий вибір комплексів модифікаторів дрібнозернистих бетонів для ремонтно-відновлювальних робіт та виготовлення нових конструкцій портових гідротехнічних споруд можливо здійснити лише при розгорнутому техніко-економічному обґрунтуванні доцільності введення відповідних модифікаторів до бетону. Початковим етапом реалізації такого обґрунтування постає розрахунок ефективності рекомендованих складів з врахуванням підвищеної довговічності відремонтованих конструкцій, який дозволить спрогнозувати строк експлуатації конструкцій портових гідротехнічних споруд без руйнування бетону, що дозволить збільшити тривалість міжремонтного періоду. Аналіз теоретичних та лабораторних досліджень шляхів та методів модифікування бетонів з метою створення складів бетону, більш стійких до експлуатаційних та природно-кліматичних впливів, дав можливість для обґрунтованого підходу до обрання хімічних добавок, активних мінеральних добавок та дисперсної арматури для дослідження дрібнозернистих бетонів конструкцій морських портових гідротехнічних споруд.

На основі аналізу натурних обстежень стану бетону конструкцій портових гідротехнічних споруд обґрунтовано визначення «модулів пошкоджуваності бетону» та вимоги до якісних параметрів матеріалу відповідно до залежності «категорія дефекту – склад бетону». Такий підхід забезпечує збереження основних фізико-механічних властивостей дрібнозернистого бетону протягом проектного строку служби конструкцій портових гідротехнічних споруд з врахуванням природно-кліматичних умов експлуатації.

На основі отриманого комплексу експериментально-статистичних моделей обґрунтовано вибір модифікаторів для забезпечення необхідних показників

якості бетону в умовах експлуатації конструкцій морських портових гідротехнічних споруд.

Склад модифікованого бетону для проведення ремонтно-відновлювальних робіт конструкцій морських портових гідротехнічних споруд слід обирати залежно від ступеня пошкоджуваності конструкції, що характеризується відповідним «модулем пошкоджуваності бетону» – ординарним, граничним, критичним. При цьому за основу приймається власно глибина пошкодження бетону, зокрема товщина захисного шару бетону по відношенню до арматури.

За результатами комплексного аналізу фактичного технічного та деформативного станів конструкцій морських портових гідротехнічних споруд пального типу, з урахуванням нормативних положень [5,6], пошкодження бетону рекомендовано класифікувати за глибиною: до 5см, 5-20см, більш 20см.

З урахуванням особливостей технології ремонтно-відновлювальних робіт конструкцій морських портових гідротехнічних споруд пального типу, а також для забезпечення оптимальних техніко-економічних показників рекомендовано до використання:

- при глибині пошкоджень до 5см (ординарний модуль) – модифіковані піщані бетони з заповнювачем фракції до 5 мм;
- при глибині пошкоджень 5-20см (граничний модуль) – модифіковані дрібнозернисті бетони з заповнювачем фракції до 10мм;
- при глибині пошкоджень більше 20см (критичний модуль) – виконання ремонту недоцільно, конструкція потребує заміни.

Практичні рекомендації за результатами досліджень щодо вибору типу модифікованого бетону наведені у таблиці 5.1.

Нижче наведені результати досліджень з розробки складів модифікованих дрібнозернистих бетонів для ремонтно-відновлювальних робіт конструкцій морських портових гідротехнічних споруд пального типу з різним ступенем пошкоженості бетону [175,176].

Практичні рекомендації щодо вибору модифікованого бетону з урахуванням ступеня пошкоджуваності бетону конструкцій морських портових гідротехнічних споруд пальового типу

Технічний стан споруди	Дефекти та ступень пошкодження бетону	Глибина пошкодження бетону	Модуль пошкоджуваності бетону	Рекомендації щодо вибору бетону
Задовільний	Малозначні	до 5 см	Ординарний	Модифіковані дрібнозернисті бетони без крупного заповнювача
Задовільний з обмеженнями	Малозначні	до 5 см	Ординарний	Модифіковані дрібнозернисті бетони без крупного заповнювача.
	Значні	5-20 см	Граничний	Модифіковані дрібнозернисті бетони (фракція крупного заповнювача 5-10мм)
Непридатний	Значні	5-20 см	Граничний	Модифіковані дрібнозернисті бетони (фракція крупного заповнювача 5-10мм)
Аварійний	Критичні	більше 20 см	Критичний	Виконання ремонту недоцільно, конструкція потребує заміни

## **5.2. Рекомендовані склади модифікованих бетонів для конструкцій морських портових гідротехнічних споруд пального типу**

### *5.2.1. Модифіковані піщані бетони*

В результаті проведених досліджень встановлені особливості впливу рецептурно-технологічних параметрів на основні фізико-механічні властивості модифікованих піщаних бетонів для ремонтно-відновлювальних робіт конструкцій морських портових гідротехнічних споруд з врахуванням умов експлуатації. Доведено, що використання комплексу модифікаторів на основі пластифікатору, активної мінеральної добавки, а також добавок прискорюючої та протиморозної дії разом з дисперсним армуванням полімерною фіброю дозволяє отримати бетони з низьким В/Ц, високою рухомістю, міцністю, морозостійкістю та водонепроникністю як при нормальних умовах твердіння, так і при знижених температурах, що забезпечить довговічність конструкції в цілому.

Досліджено ефективність використання пластифікаторів нафталін-формальдегідного типу в комплексі з дисперсним армуванням для отримання піщаного бетону з покращеними фізико-механічними властивостями.

Виконаними лабораторними дослідженнями згідно до розробленої залежності «категорія дефекту – склад бетону» проведено визначення водопотреби та В/Ц, міцності досліджуваного піщаного бетону при стиску, міцності на розтяг при згині, морозостійкості, водонепроникності, стійкості до стирання з моделюванням умов низькотемпературного режиму твердіння для відповідних показників (міцності при стиску та морозостійкості). Розроблені рекомендовані склади модифікованого піщаного бетону для усунення пошкоджень відносно незначної глибини (до 5,0 см), де недоцільно включати крупний заповнювач (щебінь) до складу бетону («модуль пошкоджуваності бетону» – ординарний): цемент 420-680 кг/м<sup>3</sup>, пісок 1370-1540 кг/м<sup>3</sup>, поліпропіленова фібра 0,9-1,2 кг/м<sup>3</sup>, нітрат кальцію 6,4-17,0 кг/м<sup>3</sup>, мікрокремнезем 21-40 кг/м<sup>3</sup>.

Основні результати випробувань модифікованого піщаного бетону (дрібнозернистого з заповнювачем фракції до 5 мм) представлені у зведеній таблиці 5.2.

Таблиця 5.2.

Зведена таблиця результатів випробувань модифікованого піщаного бетону

Фізико-механічні властивості	Отриманий показник	Характеристика
1	2	3
В/Ц бетонної суміші	0,23...0,30	Отримане В/Ц менш за проектні значення (0,40-0,45).
Міцність бетону при стиску у віці 3 діб за нормальних умов твердіння	40...50 МПа	Отримані значення міцності є достатніми для зняття опалубки при проведенні будівельних робіт.
Міцність бетону при стиску у віці 3 діб при температурі твердіння -5°C	30...40МПа	Отримане значення міцності на 16-20% менше за міцність при нормальних умовах твердіння. Отриманий склад бетону гарантує набирання проектної (розрахункової) міцності бетонної суміші при температурі до -5°C.
Міцність бетону при стиску у віці 28 діб за нормальних умов твердіння	50...60 МПа	Отримані значення міцності більші проектних значень (40МПа).
Міцність бетону при стиску у віці 28 діб при температурі твердіння -5°C	40...50МПа	Отримані значення міцності на 5-10% менші за міцність при нормальних умовах твердіння. Обраний склад бетону гарантує набирання проектної (розрахункової) міцності при температурі до -5°C.
Міцність бетону на розтяг при згині у віці 3 діб за нормальних умов твердіння	4,0...6,0 МПа	Отримані значення міцності бетону є цілком достатніми для зняття опалубки при проведенні будівельних робіт.



1	2	3
Міцність бетону на розтяг при згині у віці 3 діб при температурі твердіння $-5^{\circ}\text{C}$	3,0...5,0 МПа	Отримані значення міцності на 8-12% менші за міцність при нормальних умовах твердіння. Отримані значення міцності бетону є цілком достатніми для зняття опалубки при проведенні будівельних робіт.
Міцність бетону на розтяг при згині у віці 28 діб за нормальних умов твердіння	9,0...12,0 МПа	Отримані значення міцності бетону на розтяг при згині більше необхідних проектних значень міцності.
Міцність бетону на розтяг при згині у віці 28 діб при температурі твердіння $-5^{\circ}\text{C}$	6,0...8,0 МПа	Отримані значення міцності на розтяг при згині у віці 28 діб при температурі $-5^{\circ}\text{C}$ на 16-18% менші за міцність при нормальних умовах твердіння. Обраний склад бетону гарантує набирання проектної (розрахункової) міцності при температурі до $-5^{\circ}\text{C}$ .
Морозостійкість	F200-400 циклів	Забезпечує високу довговічність бетону в конструкціях під дією періодичного заморожування і відтавання.
Водонепроникність	W6...12 МПа $\cdot 10^{-1}$	Забезпечує високу довговічність бетону в конструкціях при контакті з водою.
Стираність	G1 $\geq 0,3$ г/см <sup>2</sup>	Забезпечує високу довговічність бетону при абразивних впливах.

### 5.2.2. Модифіковані дрібнозернисті бетони

Встановлено особливості впливу рецептурно-технологічних параметрів на основні фізико-механічні властивості модифікованих дрібнозернистих бетонів для ремонтно-відновлювальних робіт та будівельних робіт морських портових гідротехнічних споруд з врахуванням умов експлуатації.

Доведено, що використання комплексу модифікаторів на основі добавки комплексної дії (що виконує функції пластифікатору, прискорювача твердіння та протиморозної добавки) разом з дисперсним армуванням полімерною

фіброю дозволяє отримати дрібнозернисті бетони з низьким В/Ц, високою рухомістю, міцністю, морозостійкістю та водонепроникністю як при нормальних умовах твердіння, так і при знижених температурах твердіння. Досліджено ефективність використання пластифікатору полікарбонатного типу в композиції з дисперсним армуванням для отримання дрібнозернистого бетону з покращеними фізико-механічними властивостями, що забезпечить довговічність конструкції в цілому.

Згідно до розробленої залежності «категорія дефекту – склад бетону» проведено визначення водопотреби та В/Ц, міцності досліджуваного дрібнозернистого бетону при стиску, міцності на розтяг при згині, морозостійкості, водонепроникності, стійкості до стирання, зокрема при низькотемпературному режимі твердіння. Розроблені рекомендовані склади модифікованого дрібнозернистого бетону для усунення пошкоджень глибиною від 5,0 до 20,0 см («модуль пошкоджуваності бетону» – граничний): цемент 500 кг/м<sup>3</sup>, пісок 716..723 кг/м<sup>3</sup>, щебінь 1103..1107 кг/м<sup>3</sup>, добавка комплексної дії Coral Expert Fix12 4..5 кг/м<sup>3</sup> (0,8..1,0%), поліпропіленова фібра Ваусон 0,8..1,0 кг/м<sup>3</sup> вода 155..160 л/м<sup>3</sup>. Також рекомендовані склади можуть бути використані для виготовлення нових конструктивних елементів морських портових гідротехнічних споруд пальового типу, зокрема призматичних паль, ростверків, бортових балок, які є найбільш ушкоджені в процесі експлуатації.

Основні результати випробувань модифікованого дрібнозернистого бетону з заповнювачем фракції до 10мм представлені у зведеній таблиці 5.3.

Таблиця 5.3.

Зведена таблиця результатів випробувань  
модифікованого дрібнозернистого бетону

Фізико-механічні властивості	Показник (за нормальних умов твердіння)	Характеристика
1	2	3
В/Ц бетонної суміші	0,23...0,30	Отримане В/Ц менш проектних значень (В/Ц=0,4-0,45).

1	2	3
Міцність при стиску у віці 3 діб	25...40 МПа	За умов твердіння при температурах $-5...+5^{\circ}\text{C}$ міцність бетону досягає 35 МПа, що допускає використання при температурних режимах $-5...+5^{\circ}\text{C}$ . При виконанні бетонних робіт при більш низьких температурах ( $-15^{\circ}\text{C}$ ) міцність бетону досягає 20...25 МПа – за рахунок збільшення кількості добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 (до 1,0%). При такій міцності бетону можна розпочати розпалубочні роботи.
Міцність при стиску у віці 28 діб	42...58 МПа	За умов твердіння при температурах $-5...+5^{\circ}\text{C}$ міцність досягає 55 МПа. При виконанні бетонних робіт при більш низьких температурах ( $-15^{\circ}\text{C}$ ) міцність бетону досягає 17..35 МПа – за рахунок збільшення кількості добавки комплексної дії Coral Expert Fix12 (до 1,0%).
Міцність на розтяг при згині	9,0...9,2 МПа	Отримані значення міцності гарантуються за умов дотримання рекомендованих складів бетону.
Морозостійкість	F300-400	Забезпечує високу довговічність бетону в конструкціях під дією періодичного заморожування і відтавання. При твердінні при більш низькій температурі ( $-15^{\circ}\text{C}$ ), кількість добавки Coral Expert Fix12 впливає більш суттєво, ніж при твердінні при більш високій температурі $+5^{\circ}\text{C}$ – добавка комплексної дії має пластифікуючу та прискорюючу дію. Найбільший ефект – при мінімальних температурах твердіння. При витраті добавки Coral Expert Fix12 1,0% за умов твердіння при температурі $-15^{\circ}\text{C}$ морозостійкість досягає 200-300 циклів.
Водонепроникність	W12-14	Забезпечує високу довговічність бетону в конструкціях при контакті з водою. Отримані значення водонепроникності гарантуються за умов дотримання рекомендованих складів бетону.

1	2	3
Стійкість до стирання	$G_1=0,3 \dots 0,4 \text{ г/см}^2$	Забезпечує високу довговічність бетону при абразивних впливах. Найбільша стійкість до стирання бетону морських портових гідротехнічних споруд пального типу гарантується за умов дотримання рекомендованих складів бетону.

Таким чином, за допомогою розроблених технологічних прийомів модифікування бетону та дослідження впливу обраних компонентів на його структуру (в ув'язці з прогнозуванням основних параметрів якості отриманого композиту), може бути запропонована раціональна система, що безпосередньо пов'язує основні фізико-механічні властивості дрібнозернистого бетону з запропонованими «Модулями пошкоджуваності бетону» (ординарний, граничний). При цьому при ремонтно-відновлювальних роботах найважливішим моментом є узгодження відновлених проектних параметрів міцності модифікованого дрібнозернистого бетону з фактично зафіксованими пошкодженнями конструкцій. Саме такий підхід дозволяє оптимально підбирати модифікатори для отримання очікуваних властивостей модифікованих бетонів з певною гарантією забезпечення міцності та довговічності конструкцій морських портових гідротехнічних споруд пального типу.

В таблиці 5.4. приведено комплексну схему узгодження параметрів якості модифікованого піщаного та дрібнозернистого бетонів з «модулями пошкоджуваності бетону» у відповідності до залежності «категорія дефекту – склад бетону».

Узгодження параметрів якості модифікованого дрібнозернистого бетону  
з «модулями пошкоджуваності бетону»

Параметри якості модифікованого дрібнозернистого бетону	Ординарний «модуль пошкоджуваності бетону»	Граничний «модуль пошкоджуваності бетону»
Міцність при стиску, МПа	>40	30-40
Міцність на розтяг при згині, МПа	$\geq 9$	6-9
Морозостійкість, цикли	$\geq 300$	200-300
Водонепроникність, МПа·10 <sup>-1</sup>	$\geq 8$	6-8
Стійкість до стирання, г/см <sup>2</sup>	<0,3	0,3-0,4

*Примітка. При критичному «модулі пошкоджуваності бетону» конструкція є неремонтопридатною.*

### 5.3. Особливості використання модифікованих бетонів для ремонтно-відновлювальних робіт на об'єктах впровадження

#### 5.3.1. Врахування результатів дослідження при оцінюванні технічного та деформативного станів портових гідротехнічних споруд пального типу

Завдяки комплексному аналізу фактичного технічного та деформативного станів конструкцій паливних естакад у портах Чорноморськ, Одеса, Південний, Ізмаїл, Скадовськ, Бердянськ та ін. розроблено системну модель «склад бетону – категорія дефекту» конструкцій морських портових гідротехнічних споруд з визначенням елементів з різними ступенями пошкодженості.

Результати дослідження впроваджені ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ» при аналізі технічного та деформативного станів об'єктів в портах Чорноморськ, Одеса, Південний, Ізмаїл, а також при розробці нової редакції «Правил технічної експлуатації портових гідротехнічних споруд» (НД 31.3.003:2005) [6] – підрозділ 3.2. «Технічне обслуговування» (пп. 3.2.20, 3.2.28, 3.2.29).

В результаті уточнені положення «Інструкції з інженерного обстеження та паспортизації портових гідротехнічних споруд» (НД 31.3.002:2003) [5] – 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 захисного шару».

### *5.3.2. Врахування результатів дослідження при ремонтно-відновлювальних роботах портових гідротехнічних споруд*

На основі експериментально-теоретичних досліджень розроблено рекомендовані склади модифікованих дрібнозернистих бетонів з підвищеними техніко-економічними характеристиками, що сприяють ефективному проведенню ремонтно-відновлювальних робіт несучих конструктивних елементів портових гідротехнічних споруд пальового типу. На відміну від традиційного підходу до вибору компонентів бетону портового гідротехнічного будівництва, що не враховував доказованого вибору хімічних добавок, мінеральних наповнювачів та дисперсного армування, запропоновані модифіковані бетони, що включають у складі комплексну добавку Coral Expert Fix 12, а також полімерну фібру Ваусон. Розроблені способи модифікації дрібнозернистого бетону підвищують міцність при стиску, міцність на розтяг при згині, водонепроникність, морозостійкість та стійкість до стирання.

Результати дослідження впроваджені ДП «ЧОРНОМОРНДПРОЕКТ» при розробці практичних рекомендацій з проектно-кошторисної документації при капітальному ремонті об'єктів в портах Південний, Одеса, Чорноморськ, Ізмаїл в частині підбору складів модифікованих бетонів у залежності від категорії «модулю пошкоджуваності бетону» несучих елементів естакади: ординарного, граничного та критичного.

Показано, що практичне використання розроблених модифікованих бетонів при ремонтно-відновлювальних роботах конструктивних елементів естакад, а саме: нижніх поверхонь ростверків, бортових балок, паль у зоні

змінного горизонту, фасадних граней тилових сполучень – дозволяє підвищити довговічність портових гідротехнічних споруд у цілому та забезпечити їх безпечну експлуатацію.

### *5.3.3. Практичні рекомендації з використання дрібнозернистих бетонів та розробки технологічних карт для ремонтно-відновлювальних робіт*

- Для можливості практичного використання модифікованих дрібнозернистих бетонів з комплексом досліджуваних модифікаторів при відновленні пошкоджених залізобетонних конструкцій морських портових гідротехнічних споруд естакадного типу розроблені відповідні Технологічні карти стосовно ремонту причалу №23 порту Чорноморськ та причалу №8 порту Ізмаїл (залізобетонні палі та наголовники, верхня надбудова, бортова балка, фасадна поверхня тилового сполучення).

Практичне використання рекомендацій сприяє забезпеченню надійності та довговічності роботи морських портових гідротехнічних споруд естакадного типу, що експлуатуються у складних природних умовах.

- Розроблені узагальнені Технологічні карти щодо структурного відновлення горизонтальних/вертикальних бетонних та залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд ремонтними розчинами, рекомендації щодо відновлення нижньої будови покриття причалів та торкретування бетонних поверхонь бетонними сумішами – використані при складанні проекту Державного стандарту «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.

- При ремонті залізобетонних паль причалу ПраТ «Укргідроенерго» (Київська ГЕС, м.Вишгород) розроблені рекомендації щодо застосування готової ремонтної суміші з урахуванням фактичних пошкоджень паль (руйнування захисного шару в межах 20-70мм) з визначенням різних типів дефектних модулів (ординарний та граничний).

- Підбрано склад модифікованої бетонної суміші (з добавкою полікарбосилату Coral Expert Fix 12 протиморозної дії в розрахунковому дозуванні 1% від маси сульфатостійкого цементу) при виконанні в зимових умовах ремонту пошкоджених поверхонь (метод торкретування) лицьової стінки на окремій ділянці розміром 30,0x1,2м причалу №2 у Скадовському морському порту. В результаті прискорено твердіння та підвищено характеристики міцності бетону, що дозволило в найкоротші терміни підготувати споруду до експлуатації.

#### **5.4. Результати випробувань адгезії розроблених складів бетонів**

Однією з найважливіших технічних характеристик при виконанні ремонтно-відновлювальних робіт залізобетонних конструкцій є гарантована міцність зчеплення «нового» бетону та бетону пошкодженої конструкції [177]. При цьому для можливості ефективного використання модифікованих бетонів (з використанням добавки суперпластифікатора, мінерального наповнювача, а також дисперсного армування поліпропіленовою фіброю) при ремонтно-відновлювальних роботах залізобетонних конструкцій морських портових гідротехнічних споруд необхідно визначення міцності зчеплення «нового» бетону та бетону пошкодженої конструкції при використанні з'ємної опалубки.

З цією метою в лабораторії ДП «НДІБВ» було проведено серію експериментальних лабораторних досліджень на адгезію за описаною нижче методикою. Основними етапами дослідження щодо визначення міцності зчеплення при використанні з'ємної опалубки були:

- виготовлення залізобетонних балок розміром 1030×120×140 мм, що імітують пошкоджені конструкції портових гідротехнічних споруд з використанням бетону класу С25/30 та їх витримка протягом 28 діб;

- підготовка лабораторних залізобетонних зразків до експериментальних досліджень, а саме видалення в їхній нижній частині фрагментів бетону, який необхідно відновити;



- витримка балок з видаленими фрагментами протягом 6 місяців для забезпечення карбонізації поверхні бетону;
- відновлення видалених залізобетонних зразків виконувалося за допомогою спеціально розробленої опалубної конструкції з отвором для подавання бетонної суміші;
- витримування бетону дослідних конструкцій в опалубці протягом 24 годин, після чого опалубка знімалася;
- щоденне зволоження відновлюваного фрагменту бетону протягом перших 5 діб;
- витримування відновлюваного бетону фрагменту конструкції до досягнення 28 денного віку;
- міцність зчеплення визначалася як максимальне напруження при розтягу, що виникає внаслідок дії безпосереднього навантаження, перпендикулярного до поверхні бетону, нанесеного на конструкцію портової споруди;
- зусилля розтягу прикладалося за допомогою спеціальної відривної пластини, яку наклеювали на поверхню бетону, що випробувався. При цьому використовувалися:
  - квадратні відривні пластини, виготовлені з нержавіючої сталі, з розмірами  $(50 \times 50 \pm 0,1)$  мм з мінімальною товщиною 5 мм, що мали по центру приварене кріплення з внутрішньою різьбою для приєднання до пристрою, за допомогою якого прикладалося розтягувальне зусилля;
  - клей на основі епоксидної смоли;
  - випробувальна установка, яка створювала направлене розривне напруження для визначення зусилля розтягу та мала відповідну потужність і чутливість для проведення випробування. Установка забезпечувала прикладання зусилля до відривної пластини через деталь кріплення, що виключало будь-які згинальні зусилля.
- навантаження прикладалося з рівномірною швидкістю, уникаючи ударів. Швидкість була такою, щоб напруження збільшувалось в межах діапазону від  $0,003 \text{ Н}/(\text{мм}^2 \cdot \text{с})$  до  $0,100 \text{ Н}/(\text{мм}^2 \cdot \text{с})$  відповідно до ймовірної міцності зчеплення і щоб руйнування виникало впродовж 20..60 сек.

Міцність зчеплення визначалася як максимальне напруження при розтягу, що виникало внаслідок дії безпосереднього навантаження, перпендикулярного до поверхні бетону, нанесеного на основу. Визначена міцність зчеплення є відношенням руйнівного навантаження до площі.

Далі проводився аналіз отриманих результатів визначення адгезії при ремонтно-відновлювальних роботах залізобетонних конструкцій.

Уточнення та коригування методики досліджень виконуються виходячи з можливостей експериментальної бази, де безпосередньо проводяться випробування. При цьому були розглянуті можливі види руйнування:

- руйнування на границі між розчином і основою (адгезійне руйнування);
- руйнування в розчині (когезійне руйнування);
- руйнування в матеріалі основи (когезійне руйнування).

За результатами виконаних досліджень з використанням модифікуючих добавок (суперплатифікатор, мінеральний наповнювач та ін.) показано, що розрахункова міцність на зчеплення при використанні розроблених рецептур гарантовано.

Основні результати лабораторних досліджень на адгезію, що виконані в лабораторії ДП «НДІБВ», проаналізовані та узагальнені Здобувачем з конкретними практичними висновками.

Міцність зчеплення (адгезійна міцність) при відновленні 3 пошкоджених на глибину 4 см залізобетонних конструкцій (перша серія балок) розробленим рекомендованим складом піщаного бетону (цемент 480 кг/м<sup>3</sup>, пісок 1460 кг/м<sup>3</sup>, поліпропіленова фібра 1 кг/м<sup>3</sup>, нітрат кальцію 7 кг/м<sup>3</sup>, мікрокремнезем 25 кг/м<sup>3</sup>) складала відповідно 1,59 МПа, 1,74 МПа та 1,67 МПа. Середня міцність – 1,67 МПа.

Міцність зчеплення при відновленні аналогічних 3 пошкоджених на глибину 8 см залізобетонних конструкцій (друга серія балок) розробленим рекомендованим складом дрібнозернистого бетону (цемент 500 кг/м<sup>3</sup>, пісок 720 кг/м<sup>3</sup>, щебінь 1104 кг/м<sup>3</sup>, добавка комплексної дії Coral Expert Fix12 4,5 кг/м<sup>3</sup>, поліпропіленова фібра Ваусон 1 кг/м<sup>3</sup> вода 160 л/м<sup>3</sup>) складала відповідно 1,48 МПа, 1,31 МПа та 1,62 МПа. Середня міцність – 1,47 МПа.

Досягнуті значення адгезійної міцності рекомендованих складів піщаних та дрібнозернистих бетонів є достатніми для їх використання при ремонтно-відновлювальних роботах на конструкціях портових гідротехнічних споруд.

Таким чином, практичне використання результатів виконаних досліджень адгезійної міцності (міцності зчеплення) відновлених конструкцій (з використанням модифікованих бетонів з добавками суперпластифікатора, мінерального наповнювача, дисперсного армування поліпропіленовою фіброю) дозволяє розробити практичні рекомендації та технологічні карти щодо ремонту несучих конструкцій морських портових гідротехнічних споруд (нижніх поверхонь верхньої надбудови, бортових балок, паль в зоні змінного горизонту води) з використанням опалубки з врахуванням категорії дефекту та відстані між рівнем води та фактичним положенням нижньої поверхні ростверку, що підлягає ремонту.

Техніко-економічна ефективність рекомендованих складів полягає, перш за все, у їх підвищеній довговічності з врахуванням категорії дефектів конструкцій гідротехнічних портових споруд. Використання запропонованого підходу до вибору матеріалу відповідно до залежності «категорія дефекту – склад бетону» для ремонту конструкцій забезпечує збільшення тривалості міжремонтного періоду та прискорення введення об'єкту в експлуатацію.

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5**

1. Підтверджена ефективність використання запропонованої доказового підходу, який безпосередньо пов'язує основні фізико-механічні властивості модифікованого бетону з визначеними «модулями пошкоджуваності бетону» (ординарний, граничний) згідно до залежності «категорія дефекту – склад бетону». За допомогою розроблених принципів керування структурою бетону (в ув'язці з прогнозуванням основних параметрів якості отриманого матеріалу) забезпечена можливість обґрунтованого підбору модифікаторів для отримання підвищених властивостей бетонів з забезпеченням міцності та довговічності конструкцій портових гідротехнічних споруд.

2. Доведена можливість практичного використання отриманих модифікованих піщаних бетонів рекомендованих складів (цемент 420..680 кг/м<sup>3</sup>, пісок 1370..1540 кг/м<sup>3</sup>, поліпропіленова фібра 0,9..1,2 кг/м<sup>3</sup>, нітрат кальцію 6,4..17,0 кг/м<sup>3</sup>, мікрокремнезем 21..40 кг/м<sup>3</sup>) для усунення пошкоджень відносно незначної глибини (до 5 см), де недоцільно включати крупний заповнювач (щебінь) до складу бетону. Відповідно до залежності «категорія дефекту – склад бетону» модуль пошкоджуваності бетону є ординарним.

3. Доведена можливість практичного використання отриманих модифікованих дрібнозернистих бетонів з заповнювачем фракції до 10 мм рекомендованих складів (цемент 500 кг/м<sup>3</sup>, пісок 716..723 кг/м<sup>3</sup>, щебінь 1103..1107 кг/м<sup>3</sup>, добавка комплексної дії Coral Expert Fix12 4..5 кг/м<sup>3</sup> (0,8..1,0%), поліпропіленова фібра Ваусон 0,8..1,0 кг/м<sup>3</sup>, вода – 155..160 л/м<sup>3</sup>) для усунення пошкоджень глибиною від 5 см до 20 см. Відповідно до залежності «категорія дефекту – склад бетону» модуль пошкоджуваності бетону є граничним. Також рекомендовані склади бетонів можуть бути використані для виготовлення нових конструктивів морських портових гідротехнічних споруд.

4. Основні результати дослідження впроваджено в практику ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ» (додаток А):

- при аналізі технічного та деформативного станів причалів в портах Чорноморськ, Одеса, Південний, Ізмаїл,

- при розробці нової редакції «Правил технічної експлуатації портових гідротехнічних споруд» (НД 31.3.003:2005) – підрозділ 3.2. «Технічне обслуговування» (пп. 3.2.20, 3.2.28, 3.2.29);

- при уточненні 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»;

- при розробці проектно-кошторисної документації на капітальний ремонт об'єктів у портах Південний, Одеса, Чорноморськ, Ізмаїл в частині рекомендацій щодо підбору оптимальних складів модифікованих бетонів у залежності від категорії дефекту бетону несучих конструктивних елементів. На відміну від гідротехнічних бетонів, запропоновані модифіковані, що включають добавку суперпластифікатору Coral Expert Fix12 та полімерну фібру Vaucop.

5. Розроблені узагальнені Технологічні карти щодо відновлення бетону горизонтальних/вертикальних залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд, рекомендації щодо відновлення нижньої поверхні плит верхньої надбудови покриття причалів – використані при складанні проекту Державного стандарту «Ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи. Ремонтно-відновлювальні роботи конструкцій гідротехнічних споруд (СОУ Д.2.4-33740357-002:201X)» – групи №№1,2,11,12. Проект Державного стандарту наведено у додатку В.

6. Надано практичні рекомендації щодо застосування модифікованого дрібнозернистого бетону з урахуванням фактичних пошкоджень палів (руйнування захисного шару в межах 2,0-7,0см) для різних типів дефектних модулів (причал ПраТ «Укргідроенерго», Київська ГЕС, м.Вишгород). Акт впровадження наведено у додатку А.

7. Для причалу №2 Скадовського морського порту підібрано оптимальний склад модифікованої бетонної суміші (з добавкою суперпластифікатору Coral Expert Fix12) для виконання в зимових умовах ремонту поверхонь лицьової стінки (метод торкретування) на ділянці розміром 30,0x1,2м (товщина шару 4-5см). Акт впровадження наведено у додатку А.

8. За оригінальною методикою визначено адгезійну міцність зчеплення (адгезійна міцність) при відновленні трьох пошкоджених на глибину 4 см залізобетонних конструкцій (перша серія балок) розробленим рекомендованим складом піщаного бетону (середня міцність) – 1,67 МПа. Міцність зчеплення при відновленні аналогічних трьох пошкоджених на глибину 8 см залізобетонних конструкцій (друга серія балок) розробленим рекомендованим складом дрібнозернистого бетону (середня міцність) склала – 1,47 МПа.

## 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 щебню фракції до 10 мм на фізико-механічні властивості дрібнозернистого бетону за нормальних умов 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/м<sup>3</sup> поліпропіленової фібри міцність при стиску бетонів досягає

50..60 МПа, міцність на розтяг при згині 8,5..9,0 МПа, водонепроникність W10..14, морозостійкість F400..F500, стираність 0,3..0,4 г/см<sup>2</sup>.

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 «склад бетону – категорія дефекту» за результатами інженерних обстежень.

6. Досліджено та запропоновано рецептурні рішення для модифікованих дрібнозернистих бетонів за знижених температурних умов 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Типовий проект палиових залізобетонних набережних естакад зі збірним ростверком (для глибин 9,75м, 8,25м та 7,25м) (інв.№14686). Одеса, 1958. (ЧорноморНДІпроект).
2. Типовий проект №46264 збірних залізобетонних набережних естакад на палях для глибин 11,5м та 9,75м. Москва, 1954.
3. Типовий проект №5-05-207 залізобетонна набережна естакада з розширеним кроком на призматичних палях перерізом 45х45 см (глиб. 11,5м) (інв.№23322). Одеса, 1965.
4. «Портові набережні естакади на залізобетонних палях 45×45 см Серія 3.504.1-22. Випуск 0». Одеса, 1986.
5. НД 31.002.3-2003. Інструкція з інженерного обстеження і паспортизації портових гідротехнічних споруд. Одеса, 2003.
6. РД 31.003.3-2005. Правила технічної експлуатації портових гідротехнічних споруд. Одеса, 2005.
7. Матеріали інженерних обстежень конструкцій причалів естакадного типу в морських портах: Білгород-Дністровськ, Бердянськ, Ізмаїл, Маріуполь, Миколаїв, Одеса, Херсон, Чорноморськ (Іллічівськ), Південний (Южний). / ДП «ЧорноморНДІпроект», НПП Гідротехніка, ООО «СКОРПІО», ДП «ГТ Проект-Україна», 1980-2019рр. Одеса. Бр.інв.№№: 83824, 84853, 90056, 91259, 91408, 91465, 1671, 90879, РД-6/2000-09-18-1, РД-6/2000-09-18-3, 0175, 0185, РД-9/2000-07-03, 0183, РД-9/2000-12-07-1, 0181, 008, 009, 005, 117, 110, 104, 31/29-03-1, 31/29-03-2, 24/22-18, 91623, 108, 102, 87339, 91957, 0163, 86819, 106-11, 109-11, 87607, 89562, 87063, 88212, 87661, СД/ТХ-360/1, 87269, 86791. (Додаток Г.1).
8. Смирнов Н.А. Повышение долговечности и эффективности использования морских гидротехнических сооружений. Тезисы докладов к научно-технической конференции «Опыт эксплуатации портового оборудования и транспортных гидротехнических сооружений. Мероприятия по увеличению их надежности и долговечности». Центральное и Ленинградское бассейновое правления научно-технического общества водного транспорта.



Комитет по надежности и долговечности машин и сооружений. Секции: Механизации перегрузочных работ и Гидротехники. Ленинград, 1968. С.3-7.

9. Ступаченко П.П., Гнездилов Е.А. «Причины раннего нарушения монолитности железобетонных конструкций в условиях морских побережий и пути повышения их долговечности». Межвузовский сборник научных трудов «Гидротехнические сооружения». Владивосток, Изд-во ДВПИ. 1987г. С.128-131.

10. Балалаев Г.А., Медведев В.М., Мощанский Н.А. Защита строительных конструкций от коррозии. 1966. - 224с.

11. Стольников В.В. Исследования по гидротехническому бетону. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. Государственное энергетическое издательство. Москва, Ленинград. 1962. - 329с.

12. Никеров П.С., Яковлев П.И. Морские порты. – М.: Транспорт, 1987. - 416с.

13. Яковлев П.И., Тюрин А.П., Фортученко Ю.А. Портовые гидротехнические сооружения. М.: Транспорт. 1990. - 320с.

14. Яковенко В.Г. Строительство причалов. М.: Транспорт, 1981. - 256с.

15. Костюков В.Д. Надежность морских причалов и их реконструкция. М.: «Транспорт», 1987. - 224с.

16. Яковенко В.Г., Яковлев П.И. Гидротехнические работы на водном транспорте. М.: «Транспорт», 1988. - 376с.

17. Труды координационных совещаний по гидротехнике. 2-е и 3-е совещания об исследованиях по долговечности бетона, бетонам с добавками полимеров, свойствам бетона, влияющим на трещиностойкость, морозостойкость бетонов, бетонам на карбонатных заполнителях, бетонам с золой уноса. Выпуск XIV. Издательство «Энергия». М., Лен-д. 1964. - 292с.

18. Труды координационных совещаний по гидротехнике. Методы контроля качества бетона при возведении гидротехнических сооружений. Выпуск 41. Издательство «Энергия». Ленинградское отделение. 1968. - 243с.

19. Труды координационных совещаний по гидротехнике. Ускоренные методы контроля качества гидротехнического бетона. Выпуск 45. Издательство «Энергия». Ленинградское отделение. 1969. - 168с.

20. Труды координационных совещаний по гидротехнике. Структура и строительно-технические свойства гидротехнических бетонов. Выпуск 45. Издательство «Энергия». Ленинградское отделение. 1972. -182с.

21. 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.

22. 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.

23. 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», Киев, 2017. №3-4 (95),С.36-38.

24. 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-дослідний інститут будівельного виробництва, Науково-технічний журнал «Нові технології в будівництві», Київ, 2017. №33, С.94-100.

25. Москвин В. М. , Иванов Ф. М., Алексеев С. Н., Гузеев Е. А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты; - М. : Стройиздат, 1980. - 536 с.

26. Дмитриевский В.И. Подводное бетонирование. М.: «Транспорт». 1972. - 309с.

27. Физдель И.А. Дефекты в конструкциях сооружений и методы их устранения. М.: Стройиздат, 1987. - 336с.

28. Пойзнер М.Б., Яковенко В.Г. Авторский надзор за портовыми гидротехническими сооружениями. М.: «Траспорт». 1990. - 160с.

29. Васильев П.И., Кононов Ю.И., Чирков Я.Н. Железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Киев – Донецк. Головное издательство издательского объединения «Вища школа», 1982. - 320с.

30. Омельченко Ю.М., Дубровский М.П., Пойзнер М.Б. Некоторые прикладные задачи морской гидротехники. – Морской торговый порт Южный. Морская корпорация. Одесса: Одесская городская типография, 1993. - 170с.

31. Симаков Г.В., Шхинек К.Н., Смелов В.А., Марченко Д.В., Храпатый Н.Г. Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе. Л-д: «Судостроение», 1989. - 328с.

32. ВСН 6/118-74/ (Минморфлот, Минтрансстрой) «Указания по обеспечению долговечности бетонных и железобетонных конструкций морских гидротехнических сооружений».

33. Научные исследования по гидротехнике в 1975 г. Сборник аннотаций научно-исследовательских работ по гидротехнике. ВНИИ гидротехники им.Б.Е. Веденеева. Научный редактор – Н.Б. Исаченко. Л-д, 1976. - 229с.

34. Леви С.С., Рабинович С.Г., Совалов И.Г. Бетонные и железобетонные работы. Издание 2-е исправленное и дополненное. М.: «Стройиздат», 1974. - 288с.

35. Труды координационных совещаний по гидротехнике. Материалы для гидротехнического бетона и требования к ним. Выпуск 60. Издательство «Энергия». Ленинградское отделение. 1971. - 182с.

36. Прогрессивные технологии, материалы, конструкции и методы исследований для строительства в прибрежной зоне моря. Сборник научных трудов Минморфлота. М., В/О «Мортехинформреклама», 1991. - 113с.

37. Третьяков А.К., Брауде В.М., Михеев А.М., Шайтанов В.Я. Технология производства гидротехнических работ. Учебник для техникумов. М.: Энергоатомиздат, 1983. - 320с.

38. Джунковский Н.Н., Каспарсон А.А., Курлович Е.В., Смирнов Г.Н., Сидорова А.Г. Порты и портовые сооружения. Часть II. Москва: Стройиздат, 1967. - 447с.

39. Близняк Е.В., Гришин М.М., Березинский А.Р., Семанов Н.А., Ахутин А.Н. «Гидротехнические сооружения». Том 1. Главная редакция строительной литературы: Москва, Ленинград. - 615с.

40. Смирнов Г.Н., Горюнов Б.Ф., Курлович Е.В., Левачев С.Н., Сидорова А.Г. Порты и портовые сооружения. Москва: Стройиздат, 1979. - 608с.

41. Дворкин Л.Й. Матеріали для гідротехнічного будівництва. Видавниче об'єднання «Вища школа». Головне видавництво. Київ, 1974. - 238с.

42. Гончаров В.В. Гидротехнические бетоны. Киев, «Будівельник», 1978. - 151с.

43. Руководство по подбору составов тяжелого бетона. М., Стройиздат, 1979. - 103с.

44. Влияние производственных факторов на качество бетона в гидротехнических сооружениях. Межведомственная координационная комиссия по гидротехническому бетону, ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева. Л-град, 1974. - 10с.

45. Методика оценки экономической эффективности научно-исследовательских работ в области гидротехники и энергетического строительства. Л-град, 1971. - 128с.

46. Тезисы докладов всесоюзного научно-технического совещания «Гидротехнический бетон и его работа в сооружении». Тбилиси, 15-17 ноября 1983 г. М., Информэнерго, - 133с.

47. Тезисы докладов к научно-технической конференции «Опыт эксплуатации портового оборудования и транспортных гидротехнических сооружений. Мероприятия по увеличению их надежности и долговечности». Л-град, Типография СЗРП 1968. - 150с.

48. Руководство по применению бетонов с противоморозными добавками, НИИЖБ. М., Стройиздат, 1976. - 81с.

49. Большаков В.И., Дворкин Л.И. Строительное материаловедение. Днепропетровск. Изд-во: Днепр-VAL. 2004. - 677с.

50. Ушеров-Маршак А.В. Добавки в бетон: прогресс и проблемы. Научно-технический и производственный журнал «Строительный материалы». 2006, - С.8-12.

51. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. 2-ое издание. М.: Стройиздат. 1998. - 768 с.

52. Мишутин А.В. Розвиток наукових основ підвищення довговічності суднобудівних бетонів. Дисертація на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук: 05.23.05. 2009. - 258с.

53. Кровяков С.О. Експериментально-теоретичні основи підвищення довговічності легких бетонів для тонкостінних гідротехнічних споруд. Дисертація на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук: 05.23.05. 2018. - 386с.

54. Гапоненко Е.А., Кровяков С.А., Мишутин А.В. Учет изменения Ц/В смеси равной подвижности при оценке влияния состава фибробетона на его прочность. Моделирование и оптимизация композитов. МОК'47. Одесса: Астропринт. - С.64-68.

55. Мишутин А.В., Мишутин Н.В. Повышение долговечности бетонов тонкостенных плавучих и портовых гидротехнических сооружений. Одесса: Одесский центр научно-технической и экономической информации, 2003. - 192с.

56. Мишутин А.В., Мишутин Н.В. Повышение долговечности бетонов плавучих и стационарных сооружений. Одесса. Изд-во «Эвен», 2011. - 291с.

57. Гапоненко К.О. Мелкозернистые дисперсно-армированные бетоны повышенной водонепроницаемости, морозостойкости и трещиностойкости для гидротехнических сооружений. Дис. Канд. Техн. наук: 05.23.05. Одесса, 2009. - 144с.

58. Романов О.А. Бетони підвищеної водонепроникності і морозостійкості для гідромеліоративних споруд. Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук: 05.23.05. Одесса, 2007. - 153с.

59. Нетеса М.І. Наукові основи підвищення ефективності використання цементу в бетонах. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора

технічних наук. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2004. - 372с.

60. Ратинов В. Б., Розенберг Т. И. Добавки в бетон. М.: Стройиздат. 1989. - 188с.

61. Химические и минеральные добавки в бетон. Под ред. А.В. Ушерова-Маршака. Харьков: Колорит. 2005. - 280с.

62. Дворкин О. Л. Проектирование составов бетона (Основы теории и методологии). Ровно: УДУВНП, 2003. - 265 с.

63. Ушеров-Маршак А.В. Бетоноведение: лексикон. М.,: РИФ «Стройматериалы», 2009. - 112с.

64. Добролюбов Г., Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Прогнозирование долговечности бетона с добавками. М.: Стройиздат, 1983. - 213с.

65. Ушеров-Маршак А.В. Химические и минеральные добавки в бетон. Харьков. 2005. - 250с.

66. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. 2-е изд. М., Финансы и статистика, 1981. - 263 с.

67. Вознесенский В.А., Ковальчук А.Ф. Принятие решений по статистическим моделям. М., Статистика, 1978. - 192 с.

68. Вознесенский В.А., Выровой В.Н., Керш В.Я. Современные методы оптимизации композиционных материалов. К., Будивельник, 1983. - 144 с.

69. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. К., Вища школа, 1989. - 328с.

70. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Иванов Я.П., Николов И.И. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов. К., Будівельник, 1989. - 240 с.

71. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении. Одесса, Астропринт, 2006. - 116 с.

72. Ляшенко Т.В., Вознесенский В.А. Методология рецептурно-технологических полей в компьютерном строительном материаловедении. Одесса: Астропринт, 2017. - 168 с.

73. Применение судостроительных бетонов с добавкой нитрита натрия для производства работ по омоноличиванию стыковых соединений корпусов железобетонных судов и плавучих доков в зимнее время. Инструкция ЦНИИ технологии судостроения. Л-град, Типография НПО «Ритм», - 22с.

74. Отраслевой стандарт. ОСТ5.9935-83 «Бетон судостроительный песчаный. Типовой технологический процесс приготовления и применения». Л-град, Типография НПО «Ритм», - 21с.

75. Применение судостроительных песчаных бетонов для омоноличивания стыковых соединений корпусов железобетонных судов и плавучих доков. Инструкция 741-12-610-77. Л-град, Типография НПО «Ритм», - 32с.

76. Інформаційний ресурс. Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/296362425\\_Sand\\_concrete](https://www.researchgate.net/publication/296362425_Sand_concrete) (1988).

77. Калашников В.И., Калашников В.И., Володин В.М., Ерофеева И.В., Абрамов Д.А. Высокоэффективные самоуплотняющиеся порошково-активированные песчаные бетоны и фибробетоны. Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-2, с.22-28.

78. Житковський В.В, Л.И. Дворкин, Степасюк Ю.А., Механчук В.М., Паничевний В.В. Проектування складу реакційно-порошкового бетону, що містить золу-виносу в якості активної мінеральної добавки. Збірника наукових праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди», Національний університет водного господарства та природокористування, м.Рівне, 2020. №37, С.27-34.

79. Дворкін Л.Й., Бабич Є.М., Житковський В.В. Швидкотверднучі високоміцні бетони з полікарбосилатними суперпластифікаторами. «Будівельні матеріали та виробы», 2017. ISSN2413-9890. №3-4 (95), С.18-21.

80. Abdelouahed Kriker, Hima Abdelkader, Hima Abdelkader. Experimental characterization of a new sustainable sand concrete in an aggressive environment.. Fracture and Structural Integrity, Italian Group of Fracture. ISSN 1971-8993. № 55 (1): 50-64.

81. Кузьмин Е.Д. Бетоны с противоморозными добавками. Киев, «Будівельник», 1976. - 109с.
82. Кунцевич О.В. Бетоны высокой морозостойкости для крайнего севера. М.: Стройиздат, 1981. - 190 с.
83. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. М., Стройиздат, 1975. - 700с.
84. Невиль А.М. Свойства бетона. Сокращенный перевод с англ.яз. Парфенов В.Д., Якуб Т.Ю. Стройиздат. Москва. 1972. - 344с.
85. Горчаков Г.И., Капкин М.М., Скрамтаев Б.Г. Повышение морозостойкости бетона. М, Изд-во литературы по строительству, 1965. - 195с.
86. Дворкин Л.И. Практическая методология проектирования составов бетона. Москва, Вологда. Изд-во «Инфра-Инженерия». 2019. - 602 с.
87. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Проектирование оптимальных составов бетона с комплексными добавками. Материалы международной научно-практической конференции «Дни современного бетона» под общей редакцией проф. А.В. Ушерова-Маршака. Харьков: Изд-во «Колорит», 2005. С.129-139.
88. Дворкин Л.И. Оптимальное проектирование составов бетона. Львов: Вища школа, 1981. - 159с.
89. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Издательство ассоциации строительных вузов, 2002. - 500с.
90. Рекомендации по применению добавок суперпластификаторов в производстве сборного и монолитного железобетона, НИИЖБ. М., Типография ПЭМ ВНИИНТПИ Госстроя, 1987. - 95с.
91. В.В. Sabir. Mechanical properties and frost resistance of silica fume concrete *Cement and Concrete Composites*. Volume 19, Issue 4, 1997, P.285-294.
92. В.А. Фисенко. Микрокремнезем как активная минеральная добавка. Материалы VII Международной научно-практической конференции «Дни современного бетона». Харьков, 2005.
93. Bechtold R., Wagner, J.-P.: Verwendung von Silikatzusätzen im Beton – Erhöhung der Gebrauchsfähigkeit und Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken. - In: *Beton* 46 (1996), Heft 4, S. 216-221.



94. Марчук В.Н. Проблемы эффективного использования аморфного микрокремнезема в бетоне. Моделирование и оптимизация композитов. МОК'40. Одесса: Астропринт, - С.68.

95. Рамачандран В. Добавки в бетон: Справочное пособие. М., Стройиздат, 1988. - 565с.

96. Stark U. Fallstudienreihe: Granulometrische Charakterisierung feindisperser Schützgüter des Bauwesens. Silicastaub. Bauhaus Universität Weimar. 1996, p.124-130.

97. Sellevold E.J. et. Al. Silica fume – cement pastes: hydration and pore structure. Norwegian Institute of Technology, Trondheim. Report BML. 1982, p.19-60.

98. О.А. Кудёлко. Использование химических добавок в монолитных бетонных и железобетонных конструкциях. Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, 2010. №12, С.28-37.

99. Джастнес Г. Влияние нитрата кальция на связывающую способность цемента и скорость индуцированной коррозии при использовании в строительных растворах. Материалы международной конференции по проблемам коррозии и защиты стали в бетоне. Великобритания, Шеффилд. 1994. С.491-502.

100. Джастнес Г. Объяснение долгосрочного набора прочности бетона, обусловленного действием ускорителя сроков схватывания бетона – нитрата кальция. Научно-технический журнал «Экспозиция. Нефть. Газ». ISSN 2076-6785. 3/Н (64) 2008г. Раздел «Строительство». Изд.: ООО «Экспозиция». Казань С.26-29.

101. Каприелов С.С., Батраков В.Г., Шейнфельд А.В. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива. Бетон и железобетон. 1999. №6. С.6-10.

102. Каприелов С.С. «Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов». Бетон и железобетон №4, 1995 г., С.16-20.

103. Дорофеев В.С., Мишутин А.В., Выровой В.Н., Мишутин Н.В., Романов А.А., Гапоненко Е.А. Модифицированные бетоны в гидротехническом и транспортном строительстве. Вісник ОДАБА №32, 2008. С.124-136.
104. Коваль, С. В. Моделирование и оптимизация состава и свойств модифицированных бетонов. Одесса: Астропринт, 2012. - 424 с.
105. Нетесса Н.И., Паланчук Д.В. Оптимизация составов бетонов. Материалы к международному семинару «Моделирование и оптимизация композитов». Одесса: Астропринт, 2014. С.125-128.
106. Шейніч Л.О., Іонов Д.С., Сопов В.П. Особливості процесів структуроутворення цементного каменю, модифікованого комплексною органо-мінеральною добавкою. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 52. Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2013. С.308-314
107. Hammer T.A. Fiber Reinforced Mortar and Concrete. Raport FCB Cementand Concrete Research Institute. Trondheim, 1987.
108. Malhortra V.M., Garrette G.G., Bilodeau A. Mechanical Properties and Durability of Polopropylene Fibre – Reinfirced, High – Volume Fly Ash Concrete for Shortcrete Applications. Third CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, Nice, France. 1994.
109. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л. Бетони і будівельні розчини. Київ. «Основа», 2008. - 445с.
110. Рабинович Ф.Н. Дисперсно-армированные бетоны. М., Стройиздат, 1989. - 176 с.
111. Рабинович Ф.Н. Бетоны дисперсно-армированные волокнами: Обзор ВНИИЭСМ. М., 1976. С.73.
112. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология. М.: Издательство АСВ, 2004. - 560с.
113. Материалы, армированные волокном. НИИЖБ. М.: Стройиздат, 1982. - 180с.
114. Drdacky M., Michoinova D. Lime mortars with natural fibres. Proc. Int.

Symp. "Brittle Matrix Composites 7", A.M. Brandt, V.C. Li, and I.H. Marshall eds., ZTUREK RSI and Woodhead Publ., Warsaw, 2003. P.523-532.

115. Попов О.А. Оптимизация свойств цементных композитов с полимерной фиброй для ремонтных работ. Дис. канд. техн. наук: 05.23.05. Одесса, 2000. - 153с.

116. Попов О.А., Огарков Б.Л., Хлыцов Н.В., Рожнюк Е.В. Особенности технологии приготовления дисперсно-армированного композита. Материалы к международному семинару Моделирование и оптимизация композитов. МОК'44. Одесса: Астропринт, С.137.

117. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Дорофєєв В.С., Мішутін А.В. Гідротехнічні та дорожні бетони. Одеса, 2012. С.215.

118. 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, №61, 2020. С.154-166.

119. Файвусович А.С., Довгань И.В., Гудкова Е.А., Конев Д.А. Коррозия бетонов надземных портовых сооружений. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 20. Одеса: Місто майстрів, 2005. С. 368-377.

120. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. 2-е изд. М., Финансы и статистика, 1981. - 263 с.

121. Вознесенский В.А., Ковальчук А.Ф. Принятие решений по статистическим моделям. М., Статистика, 1978. - 192 с.

122. Вознесенский В.А., Выровой В.Н., Керш В.Я. Современные методы оптимизации композиционных материалов. К., Будивельник, 1983. - 144 с.

123. Ляшенко Т.В. Концепция полей свойств – методическая основа извлечения информации из ЭС-моделей в компьютерном материаловедении. Вісник ОДАБА. Одеса, Місто майстрів, 2003. Вип. 12. С.171-179.

124. Компьютерное материаловедение строительных композиционных материалов. Ю.М. Баженов, В.А. Воробьев, А.В. Ильяхин и др. М: Из-во Российской инженерной академии, 2006. - 256 с.

125. Вознесенский В.А., Кривяков С.А., Ляшенко Т.В. Элементы компьютерного материаловедения при исследовании бетонов. Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 50. - Київ: НДІБК, 1999 - С.310-318.

126. Саницький М.А., Соболев Х.С., Позняк О.Р. Бетони нового покоління та енергоощадні технології будівництва. Вісник Львівського терит. відня акад. будівництва України. 2010, № 5/10. С.164-171.

127. Коваль С.В. Развитие научной основы модификации бетонов полифункциональными добавками. Дис. докт. техн. наук: 05.23.05. 2004, Одесса. С.424.

128. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980. - 535 с.

129. Москвин В.М. Коррозия бетона в гидротехнических сооружениях. Коррозия бетона и меры борьбы с ней. М.: Изд-во АН СССР, 1954. С.10-22.

130. Выровой В.Н., Загорчменная Н.О., С.Фиц. Анализ механизмов морозного разрушения строительных композитов. Моделирование и оптимизация композитов. МОК'43. Одесса: Астропринт, С.84-85.

131. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. Одесса: ИМК Город мастеров, 1998. 168 с.

132. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Фиц С.Б. Бетон в условиях ударных воздействий. Одесса: Внешрекламсервис, 2004. - 270 с.

133. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. Композиционные строительные материалы и конструкции: структура, самоорганизация, свойства. Одесса: Изд-во «ТЭС», 2010. - 168с.

134. Мишутин А.В., Кривяков С.А. Оценка влияния состава модифицированного бетона на его прочность, водонепроницаемость и морозостойкость с учетом изменения Ц/В смеси. Збірник наукових праць луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. №71, 2007, С.348-356.

135. Альхименко А.И., Беляев Н.Д., Н.А. Воротков. Истираемость бетонных конструкции морских гидротехнических сооружений и их ремонт. Санкт-Петербург, 2017. - 55с.

136. Альхименко А. И. Гидротехнические сооружения морских портов: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2014. - 427 с.

137. Рогачко С.И. Ледовые нагрузки на гидротехнические сооружения. Типографія ОДАБА. Одесса, 2014. - 321с.

138. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат. 1981. - 464с.

139. Химические и минеральные добавки в бетон. Под ред. А.В. Ушерова-Маршака. Харьков: Колорит. 2005. - 280с.

140. Aïtcin P.C. High Performance Concrete. E&FN Spon, 2004. 140 p.

141. Технологическая карта на ремонтно-восстановительные работы конструкций свайных железобетонных эстакад / ООО «МАПЕЙ УКРАИНА». Одесса, Киев.: 2017, 55с. (Авторы: Рубцова Ю.А., Руденко Е.А., Богдан С.Н.)

142. «Експериментальні дослідження з відновлення пошкоджених залізобетонних конструкцій за технологією «МАПЕЙ»» / Звітна документація, Київ, 2018 (договір № 302-17 від 16 листопада 2017р. між ТОВ «МАПЕЙ» та ДП «НДІБВ»).

143. «Визначення міцності зчеплення нанесеного торкрет розчину на бетонну поверхню та визначення міцності на стиск зразків-кубів». Частина 2. Звітна документація, Київ, 2019 (договір №27-19 від 25 лютого 2019р. між ТОВ «МАПЕЙ» та ДП «НДІБВ»).

144. Рекомендации по проведению ремонтных работ подводной и надводной части причалов и подпорных стенок материалами ТМ «SIKA». Киев, 2016.

145. ТУ У В.2.7-24.6-35365973-001: 2008. Добавки комплексні для бетонів, будівельних розчинів та цементів «Coral» різних марок.

146. ДСТУ Б В.2.7-171: 2008. Будівельні матеріали. Настанова щодо застосування хімічних добавок у бетонах і будівельних розчинах. Київ. Мінрегіонбуд, 2010. 31с.

147. Офіційний сайт компанії Coral [Електрон. ресурс]. - Режим доступу: <http://coral.ua>.

148. BS EN 934-2:2009+A1:2012. Admixtures for concrete, mortar and grout Concrete admixtures. Definitions, requirements, conformity, marking and labelling. Admixtures for concrete, mortar and grout isclassified in these ICS categories: 01.040.91 Construction materials and building (Vocabularies); 91.100.30 Concrete and concrete products.

149. Justnes, H. and Nygaard, E.C., "Technical Nitrate as Set Accelerator for Cement at Low Temperatures", Cement and Concrete Research, Vol. 25, No. 8, 1995, pp. 1766-1774.

150. ТУ 2181-073-32496445-2013. Нітрат кальцію технічний (кальцієва селітра).

151. ТУ 5743-048-02495332-96 «Микрокремнезем конденсированный. Технические условия».

152. Большаков В.И., Дервянко В.Н. Дисперсно-армированные покрытия строительных конструкций и технологического оборудования. Днепропетровск: Gaudeamus, 2001 – 231 с.

153. АТ-15-4252/2006. Волокна поліпропіленові. Польща.

154. Камалова З.А. Композиционные цементы на основе минеральной бинарной добавки и суперпластификатора. Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 13. С.216-219.

155. Батраков В.Т. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: Технопроект. 1998. 768 с.

156. ДБН В.2.4-3:2010 «Гідротехнічні споруди. Основні положення». Київ, 2010. 37с.

157. ВСН 6/118-74/ (Минморфлот, Минтрансстрой) «Указания по обеспечению долговечности бетонных и железобетонных конструкций морских гидротехнических сооружений».

158. ТУ 5745-001-97474489-2007 (ТУ 5870-005-58042865-05). Суперпластифікатор «Поліпласт СП-1». 2005.

159. ДСТУ Б В. 2.7-273:2011 «Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови».
160. ДСТУ Б В.2.7-233:2010 «Суміші будівельні рідкі модифіковані. Загальні технічні умови».
161. ДСТУ Б В. 2.7-114-2002 «Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань».
162. ДСТУ Б В. 2.7-224:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності».
163. ДСТУ Б В. 2.7-49-96 «Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні».
164. ДСТУ Б В. 2.7-170:2008 «Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності». (ГОСТ 12730.5-84 «Бетони. Методи визначення водонепроникності»).
165. ДСТУ Б В. 2.7-212:2010 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення стираності».
166. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электроннооптический анализ. М.: МИСИС, 1994. - 328 с.
167. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. М.: Физ.-мат. лит, 1961. - 864 с.
168. Электронная картотека PCPDFWIN (JCPDS).
169. Шаркунов С.В. Исследование некоторых свойств гидротехнического бетона в зависимости от максимального размера крупного заполнителя. Труды координационных совещаний. Выпуск 60. С.141-144.
170. ДБН В. 2.7-64-99 «Правила застосування хімічних добавок у бетонах та будівельних розчинах».
171. РД 31.35.13-90 «Указания по ремонту гидротехнических сооружений на морском транспорте». Минморфлот, М., Типография «Мортехинформреклама», 1990. 347с.
172. Исследование и применение химических добавок в бетонах. Сборник научных трудов НИИЖБ. М., Типография ПЭМ ВНИИНТПИ Госстроя, 1989. 57с.

173. Годес Э. Г. Строительство в водной среде: Справочник – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1989. 527с.

174. Jun Liu, Kaifeng Tang, Qiwen Qiu, Dong Pan, Zongru Lei, Feng Xing. Experimental investigation on pore structure characterization of concrete exposed to water and chlorides . *Materials*, 2014, Vol. 7, Issue 9, PP. 6646-6659.

175. 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.

176. RIL 236-2006. Harbour Structures/Russian version. «Управление техническим состоянием портовых причалов». ISBN: 978-951-758-499-9. 250с.

177. Алексеев И. О. Ремонт портовых гидротехнических сооружений – СПб., 2001. - 176с.





**МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ**  
**ДП «ДЕРЖАВНИЙ ПРОЕКТНО-ВИШУКУВАЛЬНИЙ ТА**  
**НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ**  
**«ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ»**



65058, Одеса, проспект Шевченка, 12. Код ЄДРПОУ 01128110, web: <http://www.blasdar.com.ua>  
Тел: (0482) 63-94-13. Факс: (0482) 63-66-83. E-mail: [blasdari@optima.com.ua](mailto:blasdari@optima.com.ua)

*НГП-8/1250/1*  
*Віг 20.11.18р*

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заст. директора  
ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ»

Гусев Л.В.  
20 листопада 2018р.



**АКТ**

**щодо використання результатів досліджень**  
**Рубцової Юлії Олександрівни з питань розробки дефектних модулів при оцінюванні**  
**технічного та деформативного станів**  
**портових гідротехнічних споруд пального типу**

Здобувачем виконаний комплексний аналіз фактичного технічного та деформативного станів конструкцій паливних естакад у портах Чорноморськ, Одеса, Південний, Ізмаїл. В результаті розроблена «Модель пошкодженості паливних естакад» з визначенням елементів з різними ступенями пошкодженості. На підставі аналізу дефектних відомостей зафіксовані дефекти узагальнені та класифіковані за кількісними та якісними показниками. При цьому вперше введено поняття «дефектного модулю» з наступною градацією:

- ординарний – впливає на довговічність конструкцій;
- граничний – впливає на довговічність та несучу здатність;
- критичний – свідчить про те, що конструкція не ремонтно-придатна, тобто потрібна повна заміна, підсилення або реконструкція.

Кожен з модулів характеризується різною глибиною і площею дефектів.

В результаті уточнені 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».

Результати Здобувача впроваджені ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТОМ» при аналізі технічного та деформативного станів об'єктів в портах Чорноморськ, Одеса, Південний, Ізмаїл, а також при підготовці (згідно з договором №614А-185 від 30.12.2013р. і доп. угодою №1 від 23.12.2014р. з ДП «АМПУ») нової редакції «Правил технічної експлуатації портових гідротехнічних споруд» (НД 31.3.003:2005) – підрозділ 3.2 «Технічне обслуговування» (пп. 3.2.20, 3.2.28, 3.2.29).

Голова комісії:

Пойзнер М.Б.,  
д.т.н., проф.

Завідуючий Лабораторією  
дослідження конструкцій  
гідротехнічних споруд  
ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ»

Члени комісії:

Солодянкін О.А.

Заст. начальника відділу  
гідротехнічних споруд, завідуючий  
сектором

Драненко М.І. д.т.н.

ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ»  
Провідний інженер Лабораторії  
дослідження конструкцій  
гідротехнічних споруд  
ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ»



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА МОРСЬКОГО ТА РІЧКОВОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ  
Державне підприємство «Державний проектно-вишукувальний  
та науково-дослідний інститут морського транспорту  
«ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ»



проспект Шевченка, 12, м. Одеса, 65058, тел. (0482) 63-94-13, факс (0482) 63-66-83  
E-mail: blasdari@optima.com.ua Web: http://www.blasdari.com Код ЄДРПОУ 01128110

Н Н П 11-8/1344  
21.10.19р

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Директор  
ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ»  
Нікулій С.Г.

21 жовтня 2019р

АКТ

**щодо використання результатів досліджень  
Рубцової Юлії Олександрівни з питань розробки модифікованих бетонів  
при ремонтно-відновлювальних роботах  
портових гідротехнічних споруд**

Здобувачем розроблено універсальні склади модифікованих бетонів з підвищеними техніко-економічними характеристиками, що сприяють ефективному проведенню ремонтно-відновлювальних робіт несучих конструктивних елементів палових естакад портових гідротехнічних споруд.

На відміну від стандартних гідротехнічних бетонів, запропоновані модифіковані бетони, що включають у складі добавку полікарбоксилату Coral ExpertFix12 та полімерну фібру Ваусон, підвищують міцність на стиск, міцність на розтяг при згині, водонепроникність, морозостійкість та стиранність.

При цьому, виконані Здобувачем експериментально-теоретичні дослідження, що дозволяють призначити оптимальні компоненти при формуванні складів бетонних сумішей для ремонтно-відновлювальних робіт.

Розроблено практичні рекомендації стосовно підбору оптимальних складів модифікованих бетонів у залежності від категорії дефектного модуля несучих елементів естакади: ординарного, граничного та критичного.

Теоретичними та експериментальними дослідженнями показано, що практичне використання розроблених модифікованих бетонів при ремонтно-відновлювальних роботах конструктивних елементів естакад, а саме: нижні поверхні ростверків, бортові балки, палі у зоні змінного горизонту, фасадні грані тилкових сполучень, - дозволяє якісно підвищити довговічність палових естакад у цілому та забезпечити їх безпечну експлуатацію.

Розроблені рекомендації використовуються ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ» при складанні проектно-кошторисної документації на капітальний ремонт об'єктів в портах Південний, Одеса, Чорноморськ, Ізмаїл.

**Підстава:**

1. 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».



Бр. арх.№92020. (Особистий внесок Здобувача: аналіз дефектів бетону та рекомендації з ремонтно-відновлювальних робіт) // ДП «ЧОРНОМОРНДПРОЕКТ», Одеса, 2019.

2. Контрольне вибіркоче обстеження конструкцій причалів №№1-3 з оцінкою їх сучасного технічного стану. ТОВ «Чорноморський рибний порт». Бр. арх.№92030. (Особистий внесок Здобувача: аналіз дефектів бетону та рекомендації з ремонтно-відновлювальних робіт) // ДП «ЧОРНОМОРНДПРОЕКТ», Одеса, 2019.

3. Проектно-вишукувальні роботи «Нагляд за деформативним станом причалу 7 (інв.№061510) в процесі експлуатації Одеської філії ДП «АМПУ» (проведення «восьмого» циклу спостережень). Бр. арх.№92027. (Особистий внесок Здобувача: аналіз дефектів бетону та рекомендації з ремонтно-відновлювальних робіт) // ДП «ЧОРНОМОРНДПРОЕКТ», Одеса, 2019.

Голова комісії:

Пойзнер М.Б.  
д.т.н., проф.



Завідуючий Лабораторією  
дослідження конструкцій  
гідротехнічних споруд  
ДП «ЧОРНОМОРНДПРОЕКТ»

Члени комісії:

Солодянкін О.А.



Заступник начальника відділу  
Гідротехнічних споруд,  
завідуючий сектором  
ДП «ЧОРНОМОРНДПРОЕКТ»

Давидов Ю.Г.



Головний конструктор Архітектурно-  
будівельного відділу  
ДП «ЧОРНОМОРНДПРОЕКТ»



КЛЕЇ • ГЕРМЕТИКИ • ПРОДУКЦІЯ БУДІВЕЛЬНОЇ ХІМІЇ

ТОВ «МАПЕІ УКРАЇНА»  
02002, Україна, м. Київ  
вул. М. Раскової, 13, 5-й поверх  
Тел. +38 (044) 221-15-01/02/03  
Факс +38 (044) 221-15-05

www.mapei.ua – mapei@mapei.ua

Вих. № 275

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Комерційний директор  
ТОВ «МАПЕІ УКРАЇНА»



Верчук Л.І.

«19» листопада 2019р.

**Акт впровадження результатів досліджень  
Рубцової Юлії Олександрівни  
з питань використання сухих будівельних сумішей та технології  
ТМ «МАПЕІ» для ремонтно-відновлювальних робіт  
конструкцій пальових залізобетонних естакад**

1. Для можливості практичного використання матеріалів та технології «МАПЕІ» при відновленні пошкоджених залізобетонних конструкцій морських портових гідротехнічних споруд естакадного типу Рубцовою Ю.О. розроблена Технологічна карта на ремонтно-відновлювальні роботи конструкцій такого типу.

При цьому на основі комплексного аналізу технічного стану причалу №23 порту Чорноморськ та причалу №8 порту Ізмаїл виявлено характерні пошкодження, що знижують несучу здатність конструкції причалів уцілому. До найбільш пошкоджених конструктивних елементів відносяться: залізобетонні палі та наголовники, верхня надбудова, бортова балка, фасадна поверхня тилового сполучення. В результаті розроблені рекомендації щодо виконання ремонтно-відновлювальних робіт, а саме:

- обґрунтування та вибір як готових ремонтних сумішей «МАПЕІ», так і модифікованих бетонів з добавками гіперпластифікаторів, прискорювачів твердіння, водоредукуючих та покращуючих перекачування бетонної суміші (та інш.);
- підготовка поверхонь кожного з конструктивних елементів естакади для нанесення ремонтних матеріалів;
- ремонт конструктивних елементів пальової естакади, в т.ч. нижньої поверхні верхньої надбудови.

Практичне використання розроблених Рубцовою Ю.О. рекомендацій сприяє забезпеченню надійності та довговічності роботи морських портових гідротехнічних споруд естакадного типу, що експлуатуються у складних природних умовах.

2. Для можливості відновлення залізобетонних конструкцій за допомогою бетонної суміші з використанням матеріалів ТМ «МАПЕІ», з



урахуванням специфіки конструкцій морських портових гідротехнічних споруд естакадного типу, ДП «НДІБВ» виконані дві серії експериментальних лабораторних досліджень – визначення міцності зчеплення при використанні з'ємної опалубки та без з'ємної опалубки, а також при нанесенні торкрет розчину безпосередньо на бетонну поверхню. При цьому Рубцовою Ю.О.:

- сформульовано задачу та розроблено методику проведення досліджень;
- підготовлено вихідні данні щодо технічних характеристик бетонів, що використовуються в конструкціях морських портових гідротехнічних споруд естакадного типу;
- проаналізовано отримані результати стосовно до специфіки конструкцій морських портових гідротехнічних споруд естакадного типу.

Практичне використання результатів цих досліджень міцності зчеплення відновлених конструкцій дозволив Рубцовій Ю.О. розробити практичні рекомендації та технологічні карти щодо ремонту нижніх поверхонь верхньої надбудови – з використанням опалубки чи торкрет розчину в залежності від відстані між рівнем води та фактичним положенням нижньої поверхні ростверку, що підлягає ремонту (при гарантованій міцності самого зчеплення).

Основні результати викладені у роботах:

1. Технологическая карта на ремонтно-восстановительные работы конструкций свайных железобетонных эстакад / ООО «МАПЕИ УКРАИНА». Одесса, Киев.: 2017, 55с. (Авторы: Рубцова Ю.А., Руденко Е.А., Богдан С.Н.)
2. «Експериментальні дослідження з відновлення пошкоджених залізобетонних конструкцій за технологією ТМ «МАПЕІ» / Звітна документація, Київ, 2018 (договір № 302-17 від 16 листопада 2017р. між ТОВ «МАПЕІ Україна» та ДП «НДІБВ»).
3. «Визначення міцності зчеплення нанесеного торкрет розчину на бетонну поверхню та визначення міцності на стиск зразків-кубів». Частина 2. Звітна документація, Київ, 2019 (договір №27-19 від 25 лютого 2019р. між ТОВ «МАПЕІ Україна» та ДП «НДІБВ»).

Від ТОВ «МАПЕІ УКРАЇНА»:

Менеджер будівельної лінії

Руденко Є.А.

Керівник об'єктного відділу

Богдан С.М.



МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ  
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
 «АДМІНІСТРАЦІЯ МОРСЬКИХ ПОРТІВ УКРАЇНИ»

СКАДОВСЬКА ФІЛІЯ ДЕРЖАВНОГО ПІДПРИЄМСТВА  
 «АДМІНІСТРАЦІЯ МОРСЬКИХ ПОРТІВ УКРАЇНИ»  
 (АДМІНІСТРАЦІЯ СКАДОВСЬКОГО МОРСЬКОГО ПОРТУ)

75700, м. Херсонська обл., Скадовськ, вул. Пролетарська, 2 ☎ +38 (05537) 5-31-20  
 ✉ skad-uspa-info@ukr.net 🌐 www.uspa.gov.ua Код ЄДРПОУ 38728486

25.11.18 № 23-03-02  
 на № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_.20\_\_р


**Акт впровадження результатів досліджень  
 Рубцової Юлії Олександрівни по підбору складу модифікованого  
 бетону з використанням спеціальних добавок**

Цим підтверджуємо, що при виконанні ремонтних робіт по відновленню лицьової стінки причалу №2 у Скадовському морському порту, виконаних у 2017р. компанією ТОВ «Індастріал сервіс ЛТД», на ділянці розмірами 30x1,2м були використані модифіковані бетонні суміші, що включали добавку полікарбоксилата CoralExpertFix12 в розрахунковому дозуванні - 1% від маси сульфатостійкого цементу.

Застосування такого модифікованого складу при торкретуванні дозволило прискорити твердіння, підвищити характеристики міцності бетону і в найкоротші терміни підготувати споруду до експлуатації.

Склади використаного модифікованого бетону отримані в результаті експериментально-теоретичних досліджень, виконаних інж. Рубцовою Ю.О.

Головний інженер  
 Скадовської філії ДП «АМПУ»

  
 Мавриді П. Ю.

Інженер-гідротехнік

Миронюк О. Г.

**Акт впровадження результатів досліджень  
Рубцової Юлії Олександрівни  
при виконанні ремонту залізобетонних паль причалу  
ПрАТ «УКРГІДРОЕНЕРГО» (Київська ГЕС, м.Вишгород)**

При виконанні ремонту залізобетонних паль причалу ПрАТ «УКРГІДРОЕНЕРГО» (Київська ГЕС, м.Вишгород) під водою та в змінному горизонті води Рубцовою Ю.О. розроблені принципи щодо складання технологічної карти на ремонтно-відновлювальні роботи, що передбачає проведення робіт без використання кесонів та відкачування води.

При цьому розроблені рекомендації щодо застосування готової ремонтної суміші з урахування фактичних пошкоджень паль (руйнування захистного шару 20-30мм та 50-70мм), які з точки зору виконання ремонтних робіт відносяться до різних типів дефектних модулів (категорії дефектних модулів – у даному разі ординарний та граничний – розроблені за пропозицією Рубцової Ю.О.). Освідотство виконаних ремонтно-відновлювальних робіт показало їх високу ефективність.

Рекомендації, розроблені Рубцовою Ю.О., можуть бути розповсюджені на виконання ремонтно-відновлювальних робіт паль під водою та в змінному горизонті води.

**Додаток.**

Акт освидетельствования ответственных конструкций свай причала Киевской ГЭС (вих.№18/07/18-1) – 1 стор.

Директор ТОВ «УК-Інжинірінг»

«28» Листопада 2019р.



В. Мовчан

**Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про  
апробацію результатів дисертації**

**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.

*Статті у наукових періодичних виданнях інших держав*

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 полікарбоната 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. Позастадійно. Том 1. Пояснювальна записка. ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ», Одеса, 2019. 103с.

**Відомості про апробацію результатів дисертації:**

- науково-технічні конференції професорсько-викладацького складу кафедри «Морські та річкові порти, водні шляхи та їх технічна експлуатація» Одеського національного морського університету, (м. Одеса, 2013-2014рр. – очна участь);
- міжнародна транспортна конференція «Інтертранспорт» секції «Будівництво, реконструкція, проектування та технічна експлуатація портових та берегозахисних гідротехнічних споруд» (Одеса, 2014р. – очна участь);
- XVI засідання профільного комітету Асоціації портів України «З проектування, будівництва, реконструкції та технічної експлуатації гідротехнічних, берегових та інженерних портових споруд (Одеса, 2017 р. – очна участь);
- міжнародний транспортний форум, виїзне засідання профільного комітету Асоціації портів України «З проектування, будівництва, реконструкції та технічної експлуатації гідротехнічних, берегових та інженерних портових споруд» (Одеса, 2017 р. – очна участь);
- III Міжнародна науково-практична конференція «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд» (Україна, Одеса, 2019 р. – очна участь);
- міжнародний семінар «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (Одеса, 2019 р. – очна участь);
- міжнародна наукова конференція «Гідротехнічного та транспортного будівництва» (Одеса, 2020 р.– очна участь).

**СТАНДАРТ ОРГАНІЗАЦІЇ УКРАЇНИ**

---

**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**

**Київ  
ТОВ «Мареї Україна»  
201X**

## ПЕРЕДМОВА

1 РОЗРОБЛЕНО: Товариство з обмеженою відповідальністю «Енерго Інжиніринг»

РОЗРОБНИКИ: Л. Терещеню, (науковий керівник), Ю. Ячменьова,

ЗА УЧАСТЮ:

Товариство з обмеженою відповідальністю "Матей Україна"

С. Богдан

ДП «ЧОРНОМОРНДПРОЕКТ» (інженер) – Ю.Рубцова.

ПОГОДЖЕНО: Технічний комітет стандартизації ТК 311  
«Ціноутворення та кошторисне нормування у будівництві»  
(лист від № )

2 ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ: Наказ ТОВ «Матей Україна»  
від №

3 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ

## ЗМІСТ

1	Сфера застосування .....	4
2	Нормативні посилання .....	5
3	Технічна частина .....	5
	Ресурсні елементні кошторисні норми	
	Група 1 Структурне відновлення горизонтальних бетонних та залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд ремонтними розчинами .....	8
	Група 2 Структурне відновлення вертикальних бетонних та залізобетонних поверхонь конструкцій гідротехнічних споруд з використанням ремонтного розчину Maregrout Tissotropico .....	10
	Група 3 Структурне відновлення стельових бетонних та залізобетонних поверхонь конструкцій гідротехнічних споруд з використанням ремонтного розчину Maregrout Tissotropico .....	12
	Група 4 Ремонт тріщин в бетонних та залізобетонних конструкціях гідротехнічних споруд .....	13
	Група 5 Ремонт прижикань деформаційних швів гідротехнічних споруд .....	14
	Група 6 Анкерне кріплення конструктивних елементів на горизонтальних бетонних та залізобетонних поверхнях конструкцій гідротехнічних споруд .....	15
	Група 7 Кріплення конструктивних елементів до бетонних та залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд за допомогою хімічних анкерів .....	16
	Група 8 Антикорозійний захист оголених арматурних стержнів конструкцій гідротехнічних споруд антикорозійним цементним розчином Marefer 1K .....	17
	Група 9 Захист відновлених бетонних та залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд захисним розчином .....	18
	Група 10 Обмазувальна гідроізоляція вертикальних поверхонь гідротехнічних споруд осмотичним цементним розчином Planeseal 88 .....	19

СОУД.2+33740357-002:201X

Група 11 Відновлення нижньої будови покриття причалу методом заливки СЦЦ розчину.....	20
Група 12 Торкретування бетонних поверхонь гідротехнічних споруд бетонними сумішами з добавками Марей.....	21
Група 13 Відновлення бетонної поверхні палей гідротехнічних споруд діаметром 600 мм.....	22
Додаток А Бібліографія.....	23

## **МАТЕРІАЛИ ОБСТЕЖЕНЬ КОНСТРУКЦІЙ ПОРТОВИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД**

**(назви наведено мовою оригіналу)**

1. Белгород-Днестровский морской торговый порт. Инженерное обследование причала портопункта «Бугаз». ООО «СПТР» Одесса, 2007г.

2. Белгород-Днестровский морской торговый порт. Паспортизация причалов на основе их инженерного обследования. Часть 1. Инженерное обследование причала 9 порта и причала 1 (п/п Бугаз)/ ЧерноморНИИпроект. Бр. инв. №83824. Одесса, 2003.

3. Белгород-Днестровский морской торговый порт. Инженерное обследование и паспортизация причалов 1-8 и волнолома. Часть 2. Инженерное обследование причалов 5-8 и волнолома/ ЧерноморНИИпроект. Бр. инв. №84853. Одесса, 2004.

4. Бердянский филиал ГП «АМПУ». Работы по контрольно-инспекторскому обследованию причалов №№ 1,2,4,5,6-8 и корректировка паспортов/ ЧерноморНИИпроект. Бр. инв. №90056. Одесса, 2013.

5. Бердянский филиал ГП «АМПУ». Работы по контрольно-инспекторскому обследованию причалов №№ 1,2,4,5,6,7,8 и корректировка паспортов/ ЧерноморНИИпроект. Бр. инв. №91259. Одесса, 2016.

6. Измаильский филиал ГП «АМПУ». Контрольно-инспекторское обследование причалов №№ 0-8 с корректировкой паспортов/ ЧерноморНИИпроект. Бр. инв. №91408. Одесса, 2016.

7. Измаильский филиал ГП «АМПУ». Контрольно-инспекторское обследование причалов №№ 12-14,16-18,23-26, портофлота и ГТС базы отдыха «Портовик» с корректировкой паспортов/ ЧерноморНИИпроект. Бр. инв. №91465. Одесса, 2016.

8. ГП «Мариупольский морской торговый порт». Технический отчет. Контрольно-инспекторские обследования технического состояния причалов I грузовой района №№2, 3, 4, 9 /МАГ ВТ. Бр. арх. №1671. Одесса, 2006.



9. Мариупольский филиал ГП «АМПУ». Разработка проектно – сметной документации на строительство объекта «Реконструкция гидротехнической части причала №4 морского порта Мариуполь (МФ ГП «АМПУ»)). 1-й этап. Работы по контрольно-инспекторскому обследованию причала №4/ЧерноморНИИпроект. Бр. инв. №90879. Одесса, 2015.

10. Мариупольский филиал ГП «АМПУ». Проектные и изыскательские работы по разработке проектно – сметной документации на строительство объекта «Капитальный ремонт гидротехнической части причала №14 Мариупольского морского торгового порта (МФ ГП «АМПУ»)). 1-й этап. Работы по контрольно-инспекторскому обследованию причала №14/ЧерноморНИИпроект. Бр. инв. №90878. Одесса, 2015.

11. ГП «Николаевский морской торговый порт». Технический отчет. Материалы обследования причала №9. РД-6/2000-09-18-1./ООО НПП Гидротехника. г. Николаев, 2000 г.

12. ГП «Николаевский морской торговый порт». Паспорт причала №9/ООО НПП Гидротехника. Бр. арх. №0175. Николаев, 2007.

13. ГП «Николаевский морской торговый порт». Технический отчет. Материалы обследования причала №10. РД-6/2000-09-18-3./ООО НПП Гидротехника. г. Николаев, 2000 г.

14. ГП «Николаевский морской торговый порт». Паспорт причала №10/ООО НПП Гидротехника. Бр. арх. №0185. Николаев, 2008.

15. ГП «Николаевский морской торговый порт». Технический отчет. Материалы обследования причала №11. РД-9/2000-07-03./ООО НПП Гидротехника. г. Николаев, 2001 г.

16. ГП «Николаевский морской торговый порт». Паспорт причала №11/ООО НПП Гидротехника. Бр. арх. №0183. Николаев, 2008.

17. ГП «Николаевский морской торговый порт». Технический отчет. Материалы обследования причала №12. РД-9/2000-12-07-1./ООО НПП Гидротехника. г. Николаев, 2001 г.

18. ГП «Николаевский морской торговый порт». Паспорт причала №12/ООО НПП Гидротехника. Бр. арх. №0181. Николаев, 2008.

19. ГП «Николаевский морской торговый порт». Технический отчет инженерно-технического обследования причала №13/ ООО «СКОРПИО». Бр. арх. №008. Николаев, 2010.

20. ГП «Николаевский морской торговый порт». Паспорт причала №13/ ООО «СКОРПИО». Бр. арх. №009. Николаев, 2010.

21. ГП «Николаевский морской торговый порт». Паспорт причала №14/ ООО «СКОРПИО». Бр. арх. №005. Николаев, 2010.

22. ГП «Одесский морской торговый порт». Паспорт причала №1Н /ДП «ГТ Проект-Украина». Бр. арх. № б/н. Одесса, 2004.

23. ГП «Одесский морской торговый порт». Паспорт причала № 24 / ДП «ГТ Проект-Украина». Бр. инв. № 117. Одесса, 2005.

24. ГП «Одесский морской торговый порт». Паспорт причала №25 / ДП «ГТ Проект-Украина». Бр. инв. № б/н. Одесса, 2003.

25. ГП «Одесский морской торговый порт». Паспорт причала №26 / ДП «ГТ Проект-Украина». Бр. инв. № б/н. Одесса, 2003.

26. ГП «Одесский морской торговый порт». Паспорт пирса №3 (причалы №37, 38)/ ДП «ГТ Проект-Украина». Бр. инв. № 110. Одесса, 2005.

27. ГП «Одесский морской торговый порт». Паспорт причала 12з / ДП «ГТ Проект-Украина». Бр. арх. № 104. Одесса, 2005.

28. Одесский филиал ГП «АМПУ». Отчет по контрольно-инспекторскому обследованию причала №13-з (инв. №101979)/ ООО «Мортехинвест». Бр. арх. № 31/29-03-1, Одесса, 2016

29. Одесский филиал ГП «АМПУ». Отчет по контрольно-инспекторскому обследованию причала №14-з (инв. №102138)/ ООО «Мортехинвест». Бр. арх. № 31/29-03-2, Одесса, 2016

30. Одеська філія ДП «АМПУ». Проектно-вишукувальні роботи з корегування паспорту технічного стану причалу №15з докового пірсу (інв. №102097), Одеської філії ДП «АМПУ», за кордом ДК 021:2015 – 45000000-7 «Будівельні роботи та поточний ремонт. Частина 1. Звіт з контрольно-інспекторського обстеження причалу №15з Докового пірсу, (інв. №102097)/ ООО «МОРТЕХИНВЕСТ». Бр. арх. №24/22-18, Одесса, 2018

31. Одесский филиал ГП «АМПУ». Проектно-изыскательские работы по корректировке паспорта технического состояния причала №16з докового пирса с корректировкой паспорта (инв. №102097)/ ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ». Бр. арх. №91623, Одесса, 2017

32. ГП «Одесский морской торговый порт». Паспорт причала №43 / ДП «ГТ Проект-Украина». Бр. инв. № б/п. Одесса, 2003.

33. ГП «Одесский морской торговый порт». Паспорт элеваторного пирса (причалы 44, 45) / ДП «ГТ Проект-Украина», бр. инв. № б/н, Одесса, 2004.

34. ГП «Одесский морской торговый порт». Паспорт пирса сахара-сырца (причалы №46, 47) / ДП «ГТ Проект-Украина», бр. инв. № б/н, Одесса, 2004.

35. ГП «Одесский морской торговый порт». Паспорт причала 1 /ДП «ГТ Проект-Украина». Бр. арх. № 108. Одесса, 2005.

36. ГП «Одесский морской торговый порт». Паспорт причала 9 /ДП «ГТ Проект-Украина». Бр. арх. № 102. Одесса, 2005.

37. ГП «Одесский морской торговый порт». Паспорт причала 10 /ДП «ГТ Проект-Украина». Бр. арх. № 108. Одесса, 2005.

38. ГП «Одесский морской торговый порт». Паспорт причала 11 /ДП «ГТ Проект-Украина». Бр. арх. № 108. Одесса, 2005.

39. ГП «Одесский морской торговый порт». Проектно-изыскательские работы по контрольно-инспекторскому обследованию, выпуску отчетной документации и корректировки паспорта причала №14 (инв. №102138)/ЧерноморНИИпроект. Бр. инв. № 87339. Одесса, 2010.

40. ГП «Одесский морской торговый порт». Паспорт причала 20 /ДП «ГП Проект-Украина». Бр. арх. № 108. Одесса, 2005.

41. Одеська філія ДП «АМПУ». Проектно-вишукувальні роботи з корегування паспорту технічного стану причалу №18 (інв.. №102097) Одеської філії ДП «АМПУ», за кордом ДК 021:2015 – 45000000-7 «Будівельні роботи та поточний ремонт. Частина 1. Звіт з контрольно-інспекторського обстеження причалу №18, (інв. №073035000) ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ». Бр. арх. №91957, Одесса, 2018

42. Херсонский морской торговый порт. Паспорт причала 2/ ООО Научно-производственное предприятие «Гидротехника». Бр. арх. №0163. Николаев, 2007.

43. Херсонский морской торговый порт. Работы по корректировке паспортов причалов №№5,6,7 на основе контрольно-инспекторского обследования / ЧерноморНИИпроект. Бр. инв. №86819. Одесса, 2008.

44. Херсонский морской торговый порт. Контрольно-инспекторское обследование причала №3/ ООО «ЛАКОСА». Бр. арх. №106-11. Одесса, 2011.

45. Херсонский морской торговый порт. Паспорт причала 3/ ООО «ЛАКОСА». Бр. арх. №109-11. Одесса, 2011.

46. Херсонский морской торговый порт. Паспорт причала 4/ ООО Научно-производственное предприятие «Гидротехника». Бр. арх. №0163. Николаев, 2007.

47. ГП «Ильичевский морской торговый порт». Работы по контрольно-инспекторскому обследованию причалов №№1,2,12,14-17, корректировка причалов. Часть 1. Контрольно-инспекторское обследование причалов №№1,2,12,14/ ГП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ». Бр. арх. №87607. Одесса, 2010.

48. Ильичевский филиал ГП «АМПУ». Внеочередное обследование технического и деформативного состояний причалов №№8,9/ ГП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ». Бр. арх. №89562. Одесса, 2013.

49. ГП «Ильичевский морской торговый порт». Контрольно-инспекторское обследование причалов №№5,6,10,28,29, корректировка паспортов/ ГП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ». Бр. арх. №87063. Одесса, 2009.

50. ГП «Ильичевский морской торговый порт». Работы по контрольно-инспекторскому обследованию причалов №№11, 18-24, 26, 27, южной шпоры, южного берегоукрепления, северной шпоры, северного берегоукрепления, пассажирского пирса на базе отдыха «Радужный» и гидротехнических сооружений яхт-клуба (Пирсы 1-4, слипы 1-16). Часть 1. Контрольно-инспекторское обследование причалов №№11, 18-20/ ГП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ». Бр. арх. №88212. Одесса, 2011.

51. ГП «Ильичевский морской торговый порт». Работы по контрольно-инспекторскому обследованию причалов №№1,2,12,14-17, корректировка причалов. Часть 2. Контрольно-инспекторское обследование причалов №№15-17/ ГП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ». Бр. арх. №87661. Одесса, 2011.

52. ГП «Ильичевский морской торговый порт». Работы по контрольно-инспекторскому обследованию причалов №№11, 18-24, 26, 27, южной шпоры, южного берегоукрепления, северной шпоры, северного берегоукрепления, пассажирского пирса на базе отдыха «Радужный» и гидротехнических сооружений яхт-клуба (Пирсы 1-4, слипы 1-16). Часть 2. Контрольно-инспекторское обследование причалов №№21-24, 26, 27/ ГП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ». Бр. арх. №88212. Одесса, 2011.

53. ГП «Морской торговый порт Южный». Работа по контрольно-инспекторскому обследованию причалов №№ 1,2 ГП «МТП Южный» /ООО «СПТР». Бр. инв. № СД/ТХ-360/1. Одесса, 2011.

54. ГП «Морской торговый порт Южный». Контрольно-инспекторское обследование причалов №№3, 5, 6 с внесением изменений в паспорта /ЧерноморНИИпроект. Бр. инв. № 87269. Одесса, 2010.

55. ГП «Морской торговый порт Южный». Контрольное обследование причала 4 и разработка паспортной документации /ЧерноморНИИпроект. Бр. инв. № 86791. Одесса, 2008.

56. ГП «Морской торговый порт Южный». Контрольно-инспекторское обследование ГТ сооружений порта. Причал №39 / ООО «СПТР». Одеса, 2011/.

**Фотофіксація пошкоджень бетону конструкцій морських портових  
гідротехнічних споруд**

ДП «ІЛІЧІВСЬКИЙ МОРСЬКИЙ ТОРГОВИЙ ПОРТ».

ПРИЧАЛ 2.

а) Стан бортової балки в районі ПК15 - ПК16



б) Стан бортової балки в районі ПК23 - ПК25



Рис. 1.



ІЗМАЇЛЬСЬКА ФІЛІЯ ДП «АМПУ».  
ПРИЧАЛ №14

а) Стан нижньої поверхні плити ростверку в районі пальових рядів №№49-50.



б) Пальова основа. Тилове сполучення в районі пальових рядів №№49-50.



Рис.2.

МАРІУПОЛЬСЬКА ФІЛІЯ ДП «АМПУ»  
ПРИЧАЛ №4

а) Фасад. Загальний вид з ПК9



б) Фасад. Стан бортової балки в районі ПК11



Рис.3.



МАРІУПОЛЬСЬКА ФІЛІЯ ДП «АМПУ»  
ПРИЧАЛ №4

а) Стан палі. Пальовий ряд 34 'Д



б) Стан палі і нижньої поверхні верхньої будови. Свайний ряд 38Д



Рис. 4

МАРІУПОЛЬСЬКА ФІЛІЯ ДП «АМПУ»  
ПРИЧАЛ №4

а) Стан палі. Пальовий ряд 60Д



б) Стан палі і нижньої поверхні верхньої будови. Пальовий ряд 74 'Д



Рис.5.



МАРІУПОЛЬСЬКА ФІЛІЯ ДП «АМПУ»  
ПРИЧАЛ №14

а) Стан наголівника. Пальовий ряд 8Д



б) Стан наголівника. Пальовий ряд 12Д



Рис. 6.

МАРІУПОЛЬСЬКА ФІЛІЯ ДП «АМПУ»  
ПРИЧАЛ №14

а) Зламана паля. Пальовий ряд 26А



б) Стан палі та наголівника Пальовий ряд 59А



Рис. 7.



ОДЕСЬКА ФІЛІЯ ДП «АМПУ».  
ПРИЧАЛ №18

а) Стан залізобетонних рігелів



б) Стан наголівників в районі ПК2+5,0м



Рис. 8.

ІЛЛІЧІВСЬКА ФІЛІЯ ДП «АМПУ»  
ПРИЧАЛ 9

а) Фасад. Загальний вигляд



б) Стан бортової балки. Ділянка в районі ПК14-ПК15



Рис. 9.



ІЛЛІЧІВСЬКА ФІЛІЯ ДП «АМПУ»  
ПРИЧАЛ 9

а) Стан нижньої поверхні плити ростверка в районі палі ряду 4-5



б) Стан захисного залізобетонного кожуха. Пальовий ряд 17С



Рис. 10.

ІЛЛІЧІВСЬКА ФІЛІЯ ДП «АМПУ»  
ПРИЧАЛ 9

а) Стан палі. Пальовий ряд 21А'



б) Стан палі. Пальовий ряд 22А'



Рис. 11.



ІЛЛІЧІВСЬКА ФІЛІЯ ДП «АМПУ»  
ПРИЧАЛ 9

а) Стан палі. Пальовий ряд 33А'



б) Стан палі. Пальовий ряд 41А'



Рис. 12.

ДП «ІЛЛІЧІВСЬКИЙ МОРСЬКИЙ ТОРГОВИЙ ПОРТ».  
ПРИЧАЛ 10

а) Стан бортової балки в районі ПК19



б) Пошкоджений відбійний пристрій в районі ПК14+5,0м



Рис. 13.



ДП «ІЛЛІЧІВСЬКИЙ МОРСЬКИЙ ТОРГОВИЙ ПОРТ».  
ПРИЧАЛ 10

а) Стан нижньої поверхні плити ростверку в районі ПК8



б) Стан пальової основи в районі ПК11



Рис. 14.

ДП «ІЛЛІЧІВСЬКИЙ МОРСЬКИЙ ТОРГОВИЙ ПОРТ».  
ПРИЧАЛ 18

а) Стан нижньої поверхні плити ростверку в районі пальового ряду 19-20.



б) Стан палі. Ряд 34Е



Рис. 15.



ДП «ІЛЛІЧІВСЬКИЙ МОРСЬКИЙ ТОРГОВИЙ ПОРТ».  
ПРИЧАЛ 19

а) Стан бортової балки в районі ПК8 - ПК8+5,0м



б) Стан палі. Ряд 1В



Рис. 16.

ДП «ІЛЛІЧІВСЬКИЙ МОРСЬКИЙ ТОРГОВИЙ ПОРТ».  
ПРИЧАЛ 20

а) Стан бортової балки в районі ПК11 - ПК12



б) Стан бортової балки в районі ПК16+5,0м - ПК17



Рис. 17.



ДП «ІЛЛІЧІВСЬКИЙ МОРСЬКИЙ ТОРГОВИЙ ПОРТ».  
ПРИЧАЛ 20

а) Додаткова паля. Пальовий ряд 11D



б) Пальова основа. Загальний вигляд з ряду 17



Рис. 18.

ДП «ІЛЛІЧІВСЬКИЙ МОРСЬКИЙ ТОРГОВИЙ ПОРТ».  
ПРИЧАЛ 20

а) Стан нижньої поверхні плити ростверку в районі пальового ряду 41-42



б) Стан нижньої поверхні плити ростверку в районі пальового ряду 42-43



Рис. 19.



ДП «ІЛЛІЧІВСЬКИЙ МОРСЬКИЙ ТОРГОВИЙ ПОРТ».  
ПРИЧАЛ 15

а) Стан нижньої поверхні плити ростверку в районі ПК2



б) Стан нижньої поверхні плити ростверку в районі ПК2+4,0м



Рис. 20.

ДП «ІЛЛІЧІВСЬКИЙ МОРСЬКИЙ ТОРГОВИЙ ПОРТ».  
ПРИЧАЛ 15

а) Стан нижньої поверхні плити ростверку в районі ПК12+7,0м



б) Стан нижньої поверхні плити ростверку в районі ПК12+9,0м



Рис. 21.